CÁLCULO DE BLINDAJES

Septiembre 2 de 2025

UNIDAD DE SALUD DE IBAGUE EMPRESA SOCIAL DEL ESTADO
SEDE JORDAN - IBAGUE - TOLIMA

EQUIPO EMISOR DE RAYOS X ODONTOLOGICO PERIAPICAL

PARA VERIFICAR LA AUTENTICIDAD DE ESTE INFORME PUEDE INGRESAR A WWW.QAPOSITRON.COM PESTAÑA CERTIFICACIONES, ESCOGIENDO LA OPCIÓN DE NIT Y DIGITANDO EL NUMERO NIT INDICADO EN ESTE INFORME PARA MÁS INFORMACIÓN LLAMAR AL 301 449 5401 - 304 338 6581 O AL CORREO COMERCIAL@QAPOSITRON.COM

INTRODUCCIÓN

A pesar de que el hombre ha estado expuesto a la radiación natural desde su origen, la necesidad de conocer sus efectos sobre los seres vivos y la de establecer mecanismos para protegerse, se originó cuando se observaron las primeras lesiones en los pioneros de la radiología e investigadores de la radiactividad. La protección radiológica nace como una consecuencia del desarrollo de las aplicaciones de las radiaciones en la industria, medicina e investigación. Teniendo en cuenta que los efectos producidos por la radiación ionizante son una consecuencia de las dosis impartidas, es necesario establecer programas de vigilancia radiológica de acuerdo con cada aplicación, de tal forma que se controlen y minimicen las dosis recibidas por el personal ocupacionalmente expuesto.

Teniendo en cuenta, que los niveles de radiación en una área de trabajo son producidas por las fuentes radiactivas y/o equipos emisores de radiaciones ionizantes, todas las instalaciones que utilizan equipos generadores de radiaciones ionizantes empleados en la práctica médica deben cumplir con las normas y reglamentaciones específicas de protección radiológica con el fin de prevenir los efectos biológicos nocivos que pueden causar sobre el hombre, como también de otros seres y el medio ambiente en general.

Todos los aspectos relacionados con la protección radiológica del personal ocupacionalmente expuesto, de los pacientes, del público y la conservación del medio ambiente, están contenidos en el marco jurídico colombiano mediante resoluciones, decretos y leyes, entre los cuales se citan los que atañen la evaluación de la instalación objeto del presente documento, la Resolución 482 de 2018 del ministerio de salud, por el cual se dictan normas y se establecen procedimientos relacionados con el funcionamiento y operación de equipos de rayos X y otros emisores de radiaciones ionizantes y se indican otras disposiciones.

1. OBJETIVO

Evaluar las condiciones de trabajo al equipo emisor de Rayos X. debidas al uso del equipo generador de radiaciones ionizantes, midiendo los niveles de radiación para establecer si se cumplen los aspectos de protección radiológica estipulados en las normas vigentes.

2. DOSIS NORMALES

2.1 LA EXPOSICION AL PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTO NO DEBERÁ SOBREPASAR LOS SIGUIENTES LÍMITES

• Una dosis efectiva de 20 mSv por año, como promedio en un periodo de cinco años.
• Una dosis efectiva de 50 mSv en un solo año.
• La instalación debe contar con chalecos plomados para reducir los niveles en los TOE.

2.2 LA EXPOSICION A LOS MIEMBROS DEL PUBLICO NO DEBERÁ SOBREPASAR LOS SIGUIENTES LÍMITES

• Una dosis efectiva de 1 mSv en un año.
• Una dosis de hasta 5 mSv en un solo año, a condición de que la dosis media en cinco años consecutivos no exceda de 1 mSv por año.

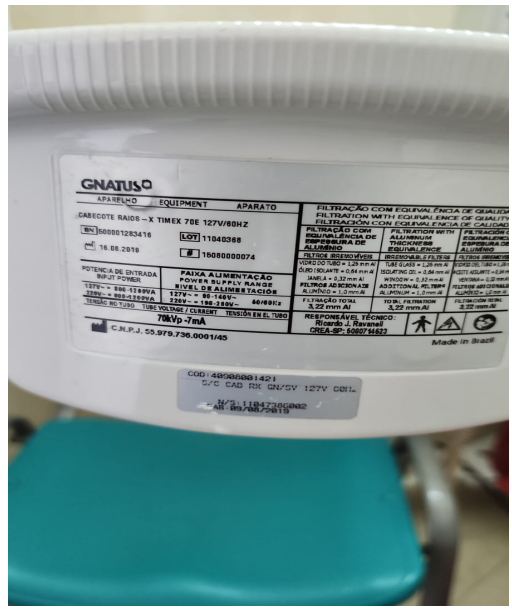
3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

DATOS DE LA INSTITUCIÓN	
Fecha de evaluación:	Septiembre 2 de 2025
Nombre de la institución:	UNIDAD DE SALUD DE IBAGUE EMPRESA SOCIAL DEL ESTADO
NIT:	8090035902
Dirección:	AVENIDA GUABINAL MANZANA 20, 8 ETAPA - SEDE JORDAN - IBAGUE - TOLIMA
Ubicación del equipo dentro de la instalación:	RAYOS X

4. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO EMISOR DE RAYOS X

EQUIPO DE RAYOS X ODONTOLOGICO PERIAPICAL	Marca Equipo: GNATUS Modelo Equipo: TIMEX 70 E Serie Equipo: 500001283416	Tensión máxima del tubo	70	kV
		Corriente máxima del tubo	7	mA
		Energía fotones	0	MeV
		Energía Electrones	0	MeV
	Marca Tubo: GNATUS Modelo Tubo: TIMEX 70 E Serie Tubo: 500001283416	Tiempo de exposición promedio	0.5	seg
		Carga de trabajo	0.2	mA.min/ sem
		Número de imágenes	4	img/sem





Datos suministrados por la Institución.

5. CONCEPTOS PREVIOS

Para el cálculo de los blindajes se recomienda tomar en cuenta las condiciones reales de carga de trabajo y factores de ocupación de locales adyacentes, y basarse en la normativa internacional que exista al respecto.

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

5.1 CARGA DE TRABAJO (W):

Sumatoria de los productos de la corriente por el tiempo (mAs) utilizados en la semana. Aproximadamente, es el producto del número de radiografías semanales por el mAs promedio utilizado.

Se define por el cociente:

$$W = \frac{\sum_i (I \times t)_i}{t_a}$$

donde:

I × t es el producto de la intensidad de corriente por el tiempo en mAs utilizado para cada examen i. Por simplicidad se expresa esta suma en mA × min. ta es el intervalo de tiempo considerado en la suma de los estudios (generalmente ta=1 semana).

OBSERVACIONES IMPORTANTES:

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

Una carga de trabajo doble que lo real puede requerir únicamente unas décimas de plomo más. Por ejemplo: a 100 kVp una duplicación de la carga de trabajo requiere sólo 0.25 mm de Pb. Por tanto, resulta más práctico asumir valores normalizados o redondeados por exceso para las cargas de trabajo, que hacer un balance detallado de todas las exploraciones, que además tendrán muchas incertidumbres de todos modos.

No es necesario considerar en el cálculo las cargas de trabajo a todas las tensiones, como se deduce de los siguientes ejemplos.

• Al atravesar una barrera de 1,5 mm Pb la radiación de 75 kVp se atenúa 25 veces mAs que la de 100 kVp. Si la barrera es de 2 mm de Pb, en lugar de 25 será 75 veces más. Por tanto, en general, las cargas de trabajo a 75 kVp se pueden despreciar frente a las de 100 kVp, a efectos de cálculo de blindaje.

• La radiación de 100 kVp se atenúa 2.5 veces más que a 150 kVp, es decir, si se utilizan los dos valores kVp, la W de 100 kVp contribuye como W/2,5 frente a la de 150 kVp.

• Todo lo indicado anteriormente sirve para simplificar fuertemente los cálculos, y permite en la práctica tomar únicamente las tensiones más altas que se utilicen, redondeando por exceso para tener en cuenta las pequeñas contribuciones de las cargas de trabajo de otras tensiones inferiores.

5.2 FACTOR DE USO (U).

Es la fracción de la carga de trabajo para la cual el haz útil está dirigido hacia el lugar considerado a proteger. El factor de uso para barreras primarias en instalaciones de radiodiagnóstico sería:

Suelo: U = 1
Paredes: U = 1/4
Techo: U = el requerido para barreras secundarias.

El factor de uso para barreras secundarias es normalmente 1, En general, los blindajes para el techo están determinados por los requerimientos para barreras secundarias, ya que el factor de uso es generalmente bajo.

5.3 FACTOR DE OCUPACIÓN (T).

Es el factor por el cual hay que multiplicar la carga de trabajo para tener en cuenta el grado de ocupación relativo del área considerada a proteger (de la persona mas expuesta).

Las áreas se clasifican en:

• Áreas de ocupación total: T = 1
• Áreas de ocupación parcial: T = 1/4
• Áreas de ocupación ocasional: T = 1/16
• Áreas de ocupación esporádicas: T = 1/32

5.4 EL RENDIMIENTO (R).

Utilizado en esta guía es el Kerma en aire (mGy) que produce un haz a 1 m de distancia, por cada mA x min de carga. Se expresa por tanto en:

$$R = \frac{mGy \times m^2}{mA \times min}$$

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

Para cada caso concreto el “término fuente” podemos definirlo como **R×W×U** y representa el Kerma en aire que se recibiría a 1 m en las condiciones de trabajo (W y U) de dicho caso concreto.

6. CÁLCULO DE BARRERAS PRIMARIAS.

Los pasos de cálculo lógicos son:

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

$$H^*(10) = \frac{R \times W \times U \times T \times f}{d^2} \left[\frac{mSv}{sem}\right]$$

Donde d es la distancia entre el foco del tubo y la zona a proteger. Aquí se puede considerar f = 1 mSv/mGy, o los valores del ICRP 74.

• Fijar la restricción de dosis semanal al otro lado del blindaje: H^* (10) en mSv/sem.
• Determinar el factor de atenuación (A) que debe proporcionar la barrera. Este factor se define como el cociente entre la dosis H y H_R, es decir entre las que habría sin blindaje y con éste. La inversa del factor de atenuación es el de transmisión (T).

El factor de atenuación se calcula como:

$$A_p = \frac{H^*(10)}{H_R^*} = \frac{R \times W \times U \times T}{d^2 \times H_R^*}$$

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

7. CÁLCULO DE BARRERAS SECUNDARIAS.

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

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

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

Se explica a continuación un procedimiento aceptable para calcular los dos espesores frente a radiación dispersa y de fuga.

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE BARRERAS FRENTE A RADIACIÓN DISPERSA.

El método de cálculo es conceptualmente igual que el de radiación directa, considerando el factor de uso U = 1. Por lo tanto, el equivalente de dosis se expresa:

$$H^*(10) = \frac{R \times W \times T \times \alpha \times S}{d_p^2 \times d_s^2 \times 400} \left[\frac{mSv}{sem}\right]$$

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

El factor de atenuación para radiación dispersa resulta ser:

$$A_s = \frac{H^*(10)}{H_R^*} = \frac{R \times W \times T \times \alpha \times S}{d_p^2 \times d_s^2 \times 400 \times H_R^*}$$

Las curvas de atenuación a utilizar son las mismas que para el haz directo, lo cual representa un criterio conservador ya que en realidad la energía de los fotones dispersados es inferior a la de los fotones del haz directo. Pero, por causa de la gran absorción de los rayos blandos, esta diferencia es pequeña para haces de radiodiagnóstico

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE BARRERAS FRENTE A RADIACIÓN DE FUGA A TRAVÉS DE LA CORAZA.

La base de partida es la siguiente:

1. El blindaje de la coraza cumple la condición de que no se sobrepase el valor 1 mGy en una hora a 1 m de distancia en ninguna dirección fuera del haz útil, trabajando con la máxima carga (Qh) que soporte el tubo en ese tiempo. Para el caso de equipos dentales este valor es 0,25.

2. Esta carga máxima Qh, que corresponde a 1 mGy a 1 m, puede conocerse de dos formas:

• La proporciona el fabricante en los documentos de acompañamiento, dándola en mAs/h ó mA.min/h para distintos valores de kVp.
• Se toman valores orientativos que en la práctica nunca se superan. Ejemplos para estos valores se exponen en la Tabla 1.

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

Tabla 1. Intensidad máxima si se mantuviese durante una hora de forma continua (mA).

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

Observación: Dado que el blindaje de la coraza está diseñado para no sobrepasar 1 mGy en las condiciones más desfavorables, es decir con la máxima tensión de diseño (kVp máximos), si la carga Qh está referida a una tensión menor la dosis absorbida que resulta será interior al mGy, por lo cual es válido aplicar un factor de corrección de fuga (f) que se puede obtener de las curvas de la Figura 3. La dosis máxima a 1 m sería entonces (f×W)/Qh [mGy/semana].

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

$$A_f = \frac{f \times W \times T}{Q_h \times d_f^2 \times H_R^*}$$

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

5. Para calcular la barrera necesaria a partir del factor de atenuación Af, se tiene en cuenta que la radiación de fuga está fuertemente filtrada, y que el valor de 1 mGy transmitido, está formado sólo por los fotones más penetrantes del espectro. Partiendo de este hecho se puede suponer que la atenuación de la radiación de fuga es exponencial y es aceptable calcular las barreras en base a las capas hemirreductoras (CHR) o décimorreductoras (CDR). Si A es la atenuación, el número de capas hemirreductoras necesario (n) es:

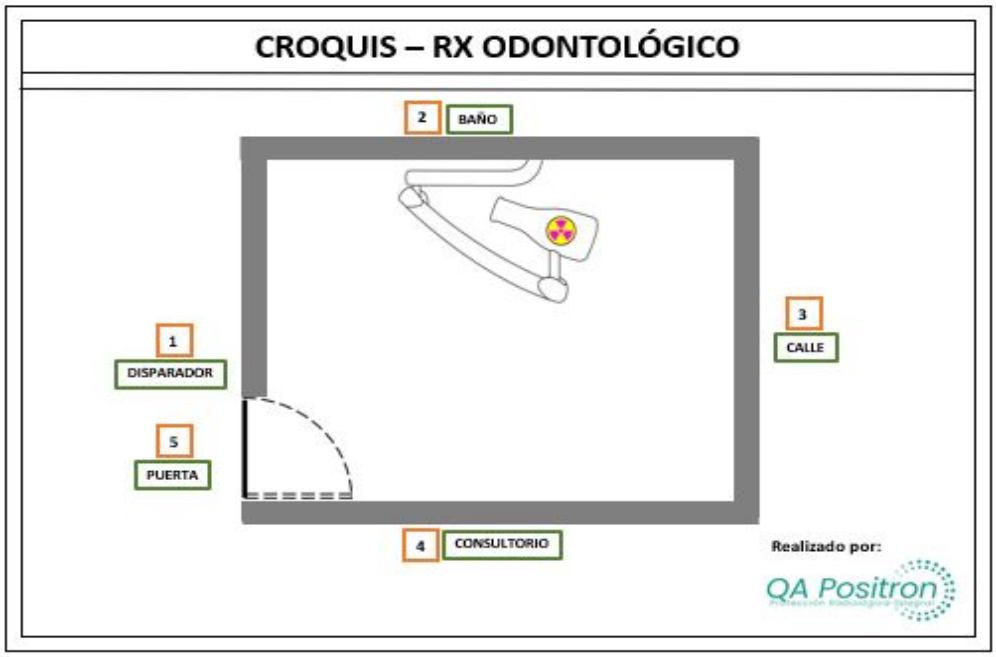
$$2^n = A_f \quad ; \quad n = \frac{\ln A_f}{0{,}693}$$

El espesor necesario sería n × CHR (mm). De la misma forma, en función de la capa decimorreductora:

$$10^n = A \quad ; \quad n = \log A$$

El espesor necesario seria n × CDR (mm). El espesor necesario se puede determinar también usando la Figura 2 y teniendo en cuenta las equivalencias de plomo a otros materiales dados en la Tabla 3 anexo 2. En la Tabla 4 del Anexo 4 se proporcionan los valores de CHR y CDR para distintas tensiones (kVp) y para hormigón y plomo.

CALCULO DE ESPESOR DE MATERIALES PARA EL BLINDAJE



PUNTO DE MEDIDA		LÍMITE Hw (mSv/sem)	d (m)	dp (m)	ds (m)	U	T	Pb DIN 6812 (mm)	Hormigón 2,3 g/cm3 (cm)	Ladrillo macizo 1,8 g/cm3 (cm)
1	PUNTO 1	0.4	0.44	0.3	0.44	0.25	1	0.5	8	10
2	PUNTO 2	0.02	0.6	0.3	0.6	0.25	0.25	0.5	8	10
3	PUNTO 3	0.02	0.7	0.3	0.7	0.25	0.125	0.5	8	10
4	PUNTO 4	0.02	1.26	0.3	1.26	0.25	1	0.5	8	10
5	PUERTA	0.02	0.74	0.3	0.74	0.25	0.25	0.5	---	---

DIEGO FERNANDO APONTE CASTAÑEDA
FÍSICO MÉDICO - DIRECTOR TÉCNICO
QA POSITRON S.A.S
comercial@qapositron.com

ANEXOS.

ANEXO 1. CARGAS DE TRABAJO SEMANALES PARA CÁLCULO DE BARRERAS EN RADIODIAGNÓSTICO (TOMADAS DE DIN-6812).

Los siguientes valores son orientativos y superiores a los que generalmente se encuentran en la práctica y suponen hipótesis de cálculo conservadoras, por lo que se requiere que estos se estimen lo más realista posible. (Sin embargo, el blindaje que requieren aumenta en mucha menor proporción que el aumento de carga de trabajo)

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

Tabla 2. Carga de trabajo W semanal

ANEXO 2. EQUIVALENCIA EN PLOMO DE VARIOS MATERIALES PARA RAYOS X DE BAJA ENERGÍA.

Material	Densidad del material(Kg.m3)	Espesor del material(mm)	Equivalencia en mm de plomo según los kV aplicados			
			50	75	100	150
Ladrillo de arcilla	1.600	100 200 300 400 500	0,6 1,4 2,2	0,8 1,7 2,7 3,8	0,9 1,9 3,1 4,5	0,8 1,7 2,6 3,7 4,8
Hormigón o yeso baritado	3.200	10 20 25 50 75 100 125	0,9 1,8 2,3 --	1,5 2,7 3,3 --	1,8 3,3 4,0	0,9 1,8 2,2 4,3 5,9

Material	Densidad del material(Kg.m3)	Espesor del material(mm)	Equivalencia en mm de plomo según los kV aplicados			
			50	75	100	150
Acero	7.800	1		0,1	0,2	0,1
		2	--	0,3	0,3	0,2
		3		0,5	0,5	0,3
		4	--	0,7	0,7	0,4
		5		0,9	0,9	0,5
		10				0,9
		20				1,7
		30				2,5
		40				3,3
		50	--			4,0

Tabla 3. Equivalencia en plomo de varios materiales para rayos X de baja energía.

ANEXO 3. VALORES APROXIMADOS DE CAPA HEMIRREDUCTORA Y DECIRREDUCTORAS PARA HACES DE RAYOS X FUERTEMENTE FILTRADOS (COMO ES EL CASO DE LA RADIACIÓN DE FUGA A TRAVÉS DE LA CARCASA).

Tensión kVp	CHR (mm)		CDR (mm)	
	Plomo	Hormigón	Plomo	Hormigón
50	0,5	4	0,18	13
75	0,15	11	0,50	40
100	0,25	16	0,84	55
125	0,27	19	0,27	64
150	0,29	22	0,96	70

Tabla 4. Valores capa hemireductora y decimoreductora

ANEXO 4. RENDIMIENTO (COEFICIENTE DE KERMA EN AIRE, SEGÚN DIN-6812)

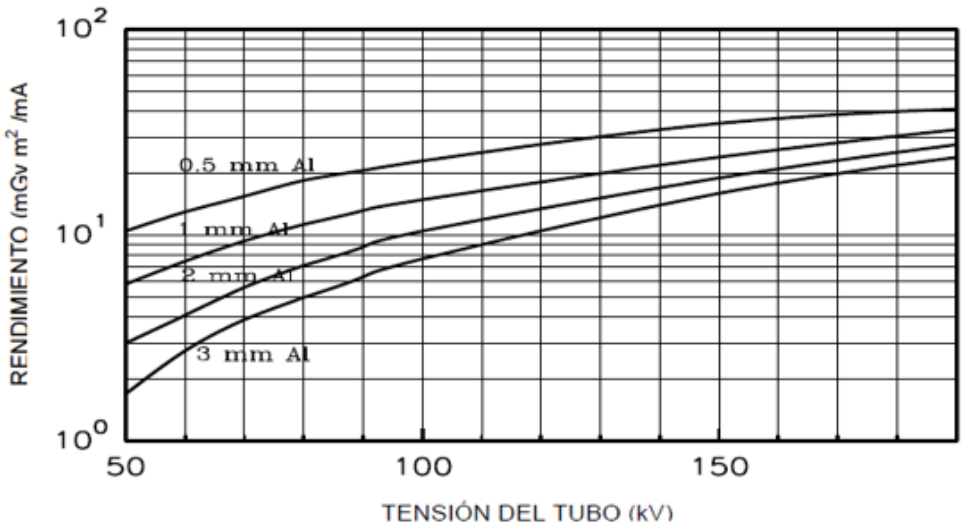


Figura 1. Rendimiento (coeficiente de Kerma en aire, según DIN-6812)

ANEXO 5. FACTORES DE ATENUACIÓN FRENTE A RAYOS X DIRECTOS Y DISPERSOS

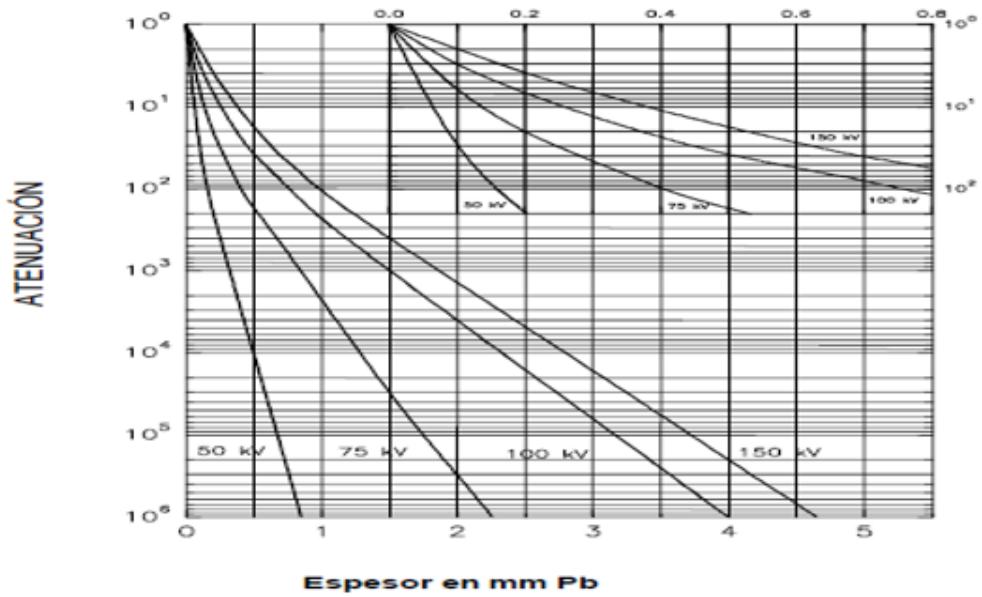


Figura 2. Factores de atenuación frente a Rayos X directos y dispersos. (Las curvas están obtenidas con tensión constante y 2 mm Al de filtración total). Tomadas de la norma DIN 6812

ANEXO 6. VARIACIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN

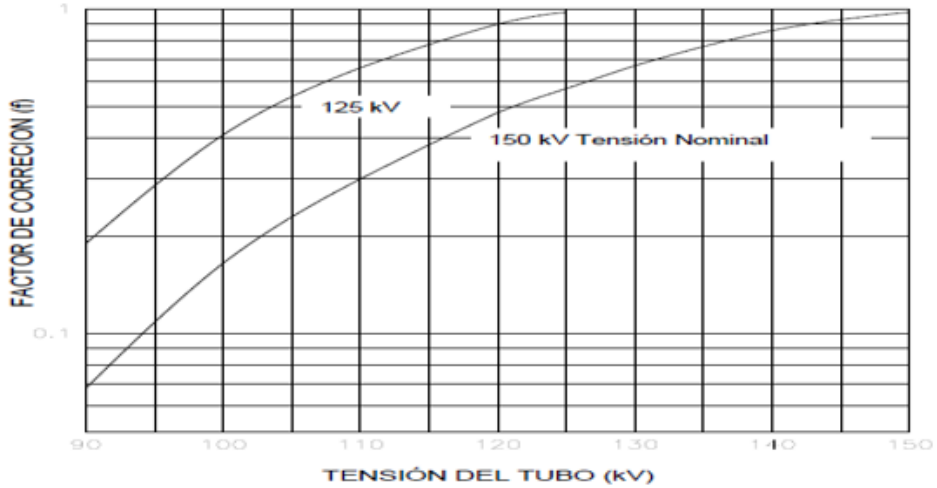


FIGURA 3: Variación del factor de corrección 1 para radiación de fuga en función de la tensión de utilización, para corazas diseñadas en bases a las tensiones nominales de 125 ó 150 kVp, todas ellas a igualdad de potencia.