



## Cantidad de rayos X

Intensidad de los rayos X

Factores que afectan a la cantidad de rayos X

## Calidad de los rayos X

Penetrabilidad

Capa hemirreductora

Factores que afectan a la calidad de los rayos X

Tipos de filtración



**L**OS RAYOS X se emiten a través de una ventana en la cobertura de cristal o metal para formar un haz de varias energías. El haz de rayos X se caracteriza por la **cantidad (el número de rayos X del haz)** y **la calidad (la penetrabilidad del haz)**. En este capítulo se tratan los numerosos factores que afectan a la cantidad y la calidad del haz de rayos X.



## Intensidad de los rayos X

La intensidad del haz de rayos X de un sistema de imágenes de rayos X se mide en roentgens (**R o mGya**) o miliroentgens (mR) y se habla de ***cantidad de rayos X***.

Otro término, **exposición de radiación**, se suele usar frecuentemente en lugar de intensidad de rayos X o cantidad de rayos X.



## Intensidad de los rayos X

El roentgen (mGya) es una medida del número de pares de iones producidos en el aire por una cantidad de rayos X.

El ritmo de exposición expresado en  $mR/s$ ,  $mR/min$  o  $mR/mAs$  también se puede usar para expresar la intensidad de los rayos X.



La cantidad de rayos X es el número de rayos X del haz útil.



## Intensidad de los rayos X

Podemos asumir que el número de rayos X en el haz útil es la cantidad de radiación.

La mayoría de los tubos de radiografía con fines generales, cuando se opera a **70 kVp** aproximadamente, producen una intensidad de los rayos X de **5 mR/mAs** aproximadamente (**50 mGya**) a una distancia de la fuente a la imagen (*SID, source-to-image receptor distance*) de **100 cm**.



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

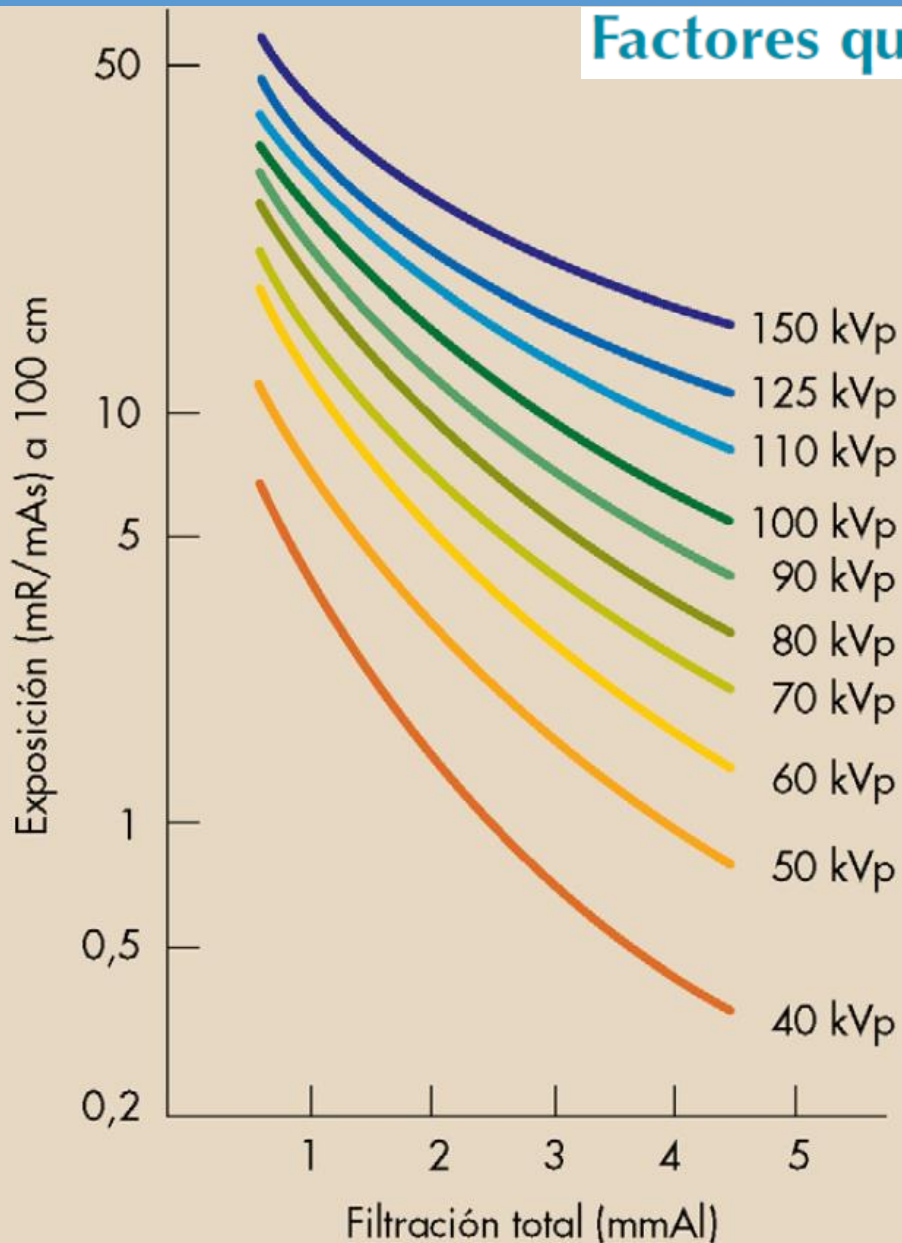
**TABLA 9-1**

Factores que afectan a la cantidad de los rayos X y a la densidad óptica radiográfica

Efecto de aumentar	Cantidad de rayos X	Exposición del receptor de imagen
mAs	Aumenta proporcionalmente	Aumenta
kVp	Aumenta por $\left(\frac{kVp_2}{kVp_1}\right)^2$	Aumenta
Distancia	Disminuye por $\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$	Disminuye
Filtración	Disminuye	Disminuye



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X



**Figura 9-1**

Nomograma para estimar la intensidad del haz de rayos X. Desde la posición del eje x correspondiente a la filtración del sistema de imagen, trace una línea vertical hasta que cruce con el voltaje apropiado (kVp). Desde este punto, una línea horizontal cruzará el eje y a la intensidad de los rayos X aproximada para el sistema de imágenes.



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

*Miliamperios-segundo (mAs).*

La cantidad de rayos X es directamente proporcional a los mAs. Cuando se duplican los mAs, el número de electrones que golpean el blanco del tubo se dobla y, por consiguiente, también el número de rayos X emitidos.



### CANTIDAD DE RAYOS X Y AMPERAJE

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{mAs_1}{mAs_2}$$

Nuevos

Antiguos

donde  $I_1$  e  $I_2$  son las intensidades de rayos X a  $mAs_1$  y  $mAs_2$ , respectivamente.





## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{mAs_1}{mAs_2}$$

Una técnica de tórax lateral requiere 110 kVp, 10 mAs, produciendo una intensidad de los rayos X de 32 mR (0,32 mGy<sub>a</sub>) en la posición del paciente. Si los mAs se aumentan a 20 mAs, ¿cuál será la intensidad de los rayos X?

$$\frac{x}{32 \text{ mR}} = \frac{20 \text{ mAs}}{10 \text{ mAs}}$$

$$x = \frac{(32 \text{ mAs})(20 \text{ mR})}{10 \text{ mAs}} = 64 \text{ mR}$$



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{mAs_1}{mAs_2}$$

La técnica radiográfica para un examen de riñón, uretra y vejiga (KUV, *kidneys, ureters and bladder*) es de 74 kVp/60 mAs. El resultado es una exposición del paciente de 250 mR (2,5 mGy<sub>a</sub>). ¿Cuál será la exposición si se pueden reducir los mAs a 45 mAs?

$$\frac{x}{250 \text{ mR}} = \frac{45 \text{ mAs}}{60 \text{ mAs}}$$

$$x = \frac{(250 \text{ mR})(45 \text{ mAs})}{60 \text{ mAs}} = 187,5 \text{ mR}$$



## EJERCICIOS

3. Una radiografía abdominal obtenida a 84 kVp y 150 mAs provoca una exposición de 650 mR. La imagen es demasiado débil y se repite a 84 kVp y 250 mAs. ¿Cuál es la exposición?

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{mAs_1}{mAs_2}$$



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

Recuerde que mAs es sólo una medida del número total de electrones que viajan del cátodo al ánodo para producir rayos X.



$$\begin{aligned} \text{mAs} &= \text{mA} \times \text{s} \\ &= \text{mC/s} \times \text{s} \\ &= \text{mC} \end{aligned}$$

donde C (culombio) es una medida de la carga electrostática y  $1 \text{ C} = 6,25 \times 10^{18}$  electrones.



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

**Pregunta:** Se obtiene una radiografía a 74kVp/100 m As.  
¿Cuántos electrones interaccionan con el blanco?

**Respuesta:**  $100 \text{ mAs} = 100 \text{ mC}$   
 $= 6,25 \times 10^{17} \text{ electrones}$

**Pregunta:** Si la intensidad radiográfica de salida es de 6,2 mR/mAs ( $62 \mu\text{Gy}_a/\text{mAs}$ ), ¿cuántos electrones se necesitan para producir 1,0 mR?



## EJERCICIOS

9. La exposición radiográfica es de 80 kVp a 50 mAs.  
¿Cuántos electrones interaccionarán con el blanco?

Recuerde que mAs es sólo una medida del número total de electrones que viajan del cátodo al ánodo para producir rayos X.




$$\begin{aligned} \text{mAs} &= \text{mA} \times \text{s} \\ &= \text{mC/s} \times \text{s} \\ &= \text{mC} \end{aligned}$$

donde C (culombio) es una medida de la carga electrostática y  $1 \text{ C} = 6,25 \times 10^{18}$  electrones.



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

Pico de kilovoltios (kVp). La cantidad de rayos X varía rápidamente con los cambios en kVp. **El cambio en la cantidad de rayos X es proporcional al cuadrado de la proporción de los kVp;** en otras palabras, **si kVp se duplica, la intensidad de rayos X aumentaría en un factor de cuatro.** Matemáticamente, esto se expresa de la siguiente manera:



### CANTIDAD DE RAYOS X Y kVp

$$\frac{I_1}{I_2} = \left( \frac{kVp_1}{kVp_2} \right)^2$$

Antiguos

Nuevos

donde  $I_1$  e  $I_2$  son las intensidades de rayos X a  $kVp_1$  y  $kVp_2$ , respectivamente.





## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

**Pregunta:** Una técnica de tórax lateral requiere 110 kVp y 10 mAs y produce una intensidad de rayos X de 32 mR (0,32 mGy<sub>a</sub>). ¿Cuál será la intensidad si los kVp aumentan a 125 kVp y los mAs permanecen fijos?

**Respuesta:**

$$\frac{32\text{mR}}{I_2} = \left( \frac{110\text{kVp}}{125\text{kVp}} \right)^2$$

$$I_2 = (32\text{ mR}) \left( \frac{125\text{kVp}}{110\text{kVp}} \right)^2$$

$$= (32\text{ mR})(1,14)^2$$

$$= (32\text{ mR})(1,29) = 41,3\text{mR}$$





## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

**Pregunta:** Se examina una extremidad con una técnica de 58 kVp/8 mAs, obteniendo una exposición superficial en piel (ESE, *entrance skin exposure*) de 24 mR. Si la técnica se cambia a 54 kVp/8 mAs para mejorar el contraste, ¿cuál será la cantidad de rayos X?

**Respuesta:**

$$\frac{1}{24 \text{ mR}} = \left( \frac{54 \text{ kVp}}{58 \text{ kVp}} \right)^2$$

$$\begin{aligned} I &= (24 \text{ mR}) \left( \frac{54 \text{ kVp}}{58 \text{ kVp}} \right)^2 \\ &= (24 \text{ mR})(0,93)^2 \\ &= (24 \text{ mR})(0,867) = 20,8 \text{ mR} \end{aligned}$$



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

(ESE, *entrance skin exposure*)

**Pregunta:** Se examina una extremidad con una técnica de 58 kVp/8 mAs, obteniendo una exposición superficial en piel (ESE, *entrance skin exposure*) de 24 mR. Si la técnica se cambia a 54 kVp/8 mAs para mejorar el contraste, ¿cuál será la cantidad de rayos X?

**Respuesta:**

$$\frac{1}{24 \text{ mR}} = \left( \frac{54 \text{ kVp}}{58 \text{ kVp}} \right)^2$$

$$I = (24 \text{ mR}) \left( \frac{54 \text{ kVp}}{58 \text{ kVp}} \right)^2$$

$$= (24 \text{ mR})(0,93)^2$$

$$= (24 \text{ mR})(0,867) = 20,8 \text{ mR}$$



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

(ESE, *entrance skin exposure*)

**Pregunta:** Una técnica radiográfica requiere 80 kVp/30 mAs y resulta en 135 mR (1,4 mGy<sub>a</sub>). ¿Cuál es la ESE esperada si los kVp se aumentan a 92 kVp (+15%) y los mAs se reducen a la mitad (15 mAs)?



## EJERCICIOS

4. Una imagen del cráneo lateral obtenida a 68 kVp y 20 mAs tiene suficiente densidad óptica pero demasiado contraste. Si aumentamos los kVp a 78 kVp, ¿cuál sería el nuevo valor de mAs?
13. El kVp se reduce de 78 a 68 kVp. ¿Qué se debe hacer con los mAs, si se ha de hacer algo, para mantener la exposición del receptor de imagen constante?

## CANTIDAD DE RAYOS X Y kVp



$$\frac{I_1}{I_2} = \left( \frac{kVp_1}{kVp_2} \right)^2$$

Antiguos

Nuevos

donde  $I_1$  e  $I_2$  son las intensidades de rayos X a  $kVp_1$  y  $kVp_2$ , respectivamente.



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X



### CANTIDAD DE RAYOS X Y DISTANCIA

$$\frac{I_1}{I_2} = \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2$$

Nuevos

Antiguos

donde  $I_1$  e  $I_2$  son las intensidades de rayos X a las distancias  $d_1$  y  $d_2$ , respectivamente.



La cantidad de rayos X es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente.



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

**Pregunta:** Un radiógrafo portátil funciona a 100 cm SID y provoca una exposición de 12,5 mR (0,13 mGy<sub>a</sub>) en el receptor de imagen. Si la distancia SID máxima que se puede obtener para una situación concreta es de 91 cm, ¿cuál será la exposición del receptor de imagen?

**Respuesta:**

$$\frac{1,25 \text{ mR}}{I_2} = \left( \frac{91 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} \right)^2$$

$$I_2 = (1,25 \text{ mR}) \left( \frac{100 \text{ cm}}{91 \text{ cm}} \right)^2$$

$$= (12,5 \text{ mR})(1,1)^2$$

$$= (12,5 \text{ mR})(1,1) = 13,8 \text{ mR}$$





## Factores que afectan a la cantidad de rayos X



Cuando se aumenta la SID, se deben aumentar los mAs un factor  $SID^2$  para mantener constante la exposición del receptor de imagen.

La compensación por un cambio en SID variando los mAs un factor  $SID^2$  se conoce como **ley del cuadrado**, un corolario a la **ley de la inversa del cuadrado**.



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

### LEY DEL CUADRADO



$$\frac{mAs_1}{mAs_2} = \frac{SID_1^2}{SID_2^2}$$

Antiguos

Nuevos

donde  $mAs_1$  es la técnica en  $SID_1$ , y  $mAs_2$  es la técnica en  $SID_2$ .

$$\frac{mA \text{ antiguo}}{mA \text{ nuevo}} = \frac{\text{distancia al cuadrado antigua}}{\text{distancia al cuadrado nueva}}$$





## EJERCICIOS

5. Una radiografía de tórax obtenida a 180 cm SID provoca una exposición de 12 mR. ¿Cuál sería la exposición si se utilizaran los mismos factores radiográficos a 100 cm SID?

## LEY DEL CUADRADO



$$\frac{mAs_1}{mAs_2} = \frac{SID_1^2}{SID_2^2}$$

Antiguos

Nuevos

donde  $mAs_1$  es la técnica en  $SID_1$ , y  $mAs_2$  es la técnica en  $SID_2$ .



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

**Filtración.** Los sistemas de imágenes de rayos X llevan filtros metálicos, normalmente de 1-5 mm de aluminio (Al), colocados en el haz útil. La finalidad de estos filtros es la de reducir el número de rayos X de baja energía:

Los rayos X de baja energía no contribuyen en nada a la imagen, sólo aumentan la dosis del paciente innecesariamente porque se absorben en los tejidos superficiales y no penetran para alcanzar el receptor de imagen.



Al añadir filtración al haz útil de rayos X, se reduce la dosis del paciente.



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

Cuando se añade filtración al haz de rayos X, la dosis al paciente se ve reducida porque hay menos rayos X de baja energía en el haz útil.

El cálculo de la reducción en la exposición requiere conocimientos de capas hemirreductoras (*HVL, halfvalue layer*), que se comentan en la siguiente sección.

no penetrantes.



## Factores que afectan a la cantidad de rayos X

La desventaja de la filtración del haz de rayos X es la reducción en el contraste de la imagen debida al endurecimiento del haz. El endurecimiento del haz aumenta el número de rayos X de alta energía del haz, al suprimir los rayos X de baja energía no penetrantes.



## Penetrabilidad

Al aumentar la energía de los rayos X la penetrabilidad también aumenta. La **penetrabilidad** se refiere al potencial de los rayos X para penetrar en los tejidos.

Los rayos X de alta energía son capaces de penetrar en el tejido más profundamente que los rayos X de baja energía.



## Penetrabilidad

La penetrabilidad de un haz de rayos X se denomina **calidad de los rayos X**.

Los rayos X de alta penetrabilidad se denominan *rayos X de alta calidad*.

Los que tienen baja penetrabilidad son *rayos X de baja calidad*.



## Penetrabilidad



La penetrabilidad es una descripción de la habilidad de un haz de rayos X para atravesar un tejido.

Los factores que afectan a la calidad del haz también influyen en el contraste de las radiografías. La distancia y los mAs no afectan a la calidad de la radiación, pero sí a la cantidad de radiación.



## Capa hemirreductora



La atenuación es la reducción de la intensidad de los rayos X como consecuencia de la absorción y la dispersión.

En radiología, la calidad de los rayos X se mide en **HVL** (*capa de valor medio*, *half value layer*).. Por consiguiente, HVL es una característica del haz útil de rayos X. Un haz de rayos X de diagnóstico suele tener una HVL comprendida entre 3 y 5 mm de Al o entre 3 y 6 cm de tejido blando.

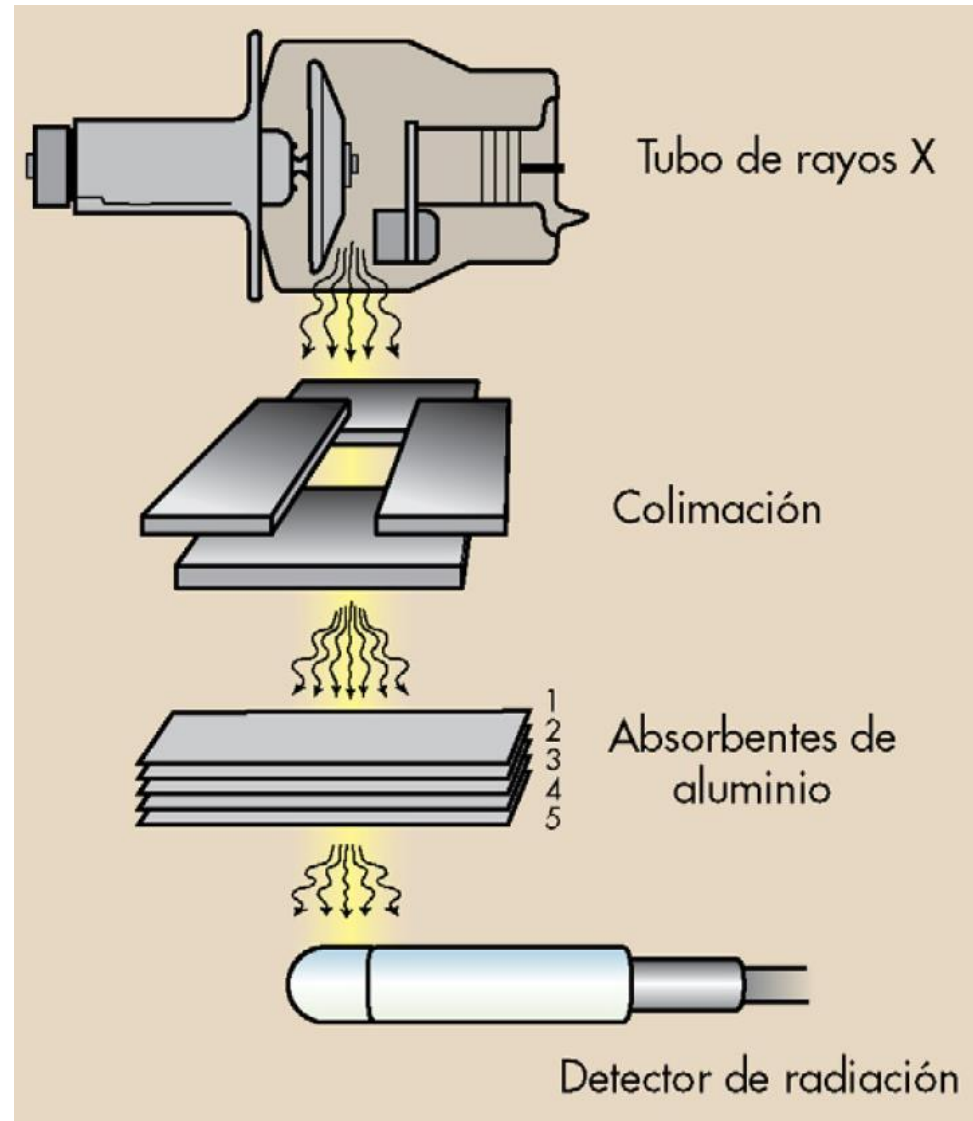




## Capa hemirreductora

### Figura 9-2

Sistema experimental característico para la determinación de la capa hemirreductora..





## Capa hemirreductora



La HVL de un haz de rayos X es el grosor de material absorbente necesario para reducir la intensidad de los rayos X a la mitad de su valor original.

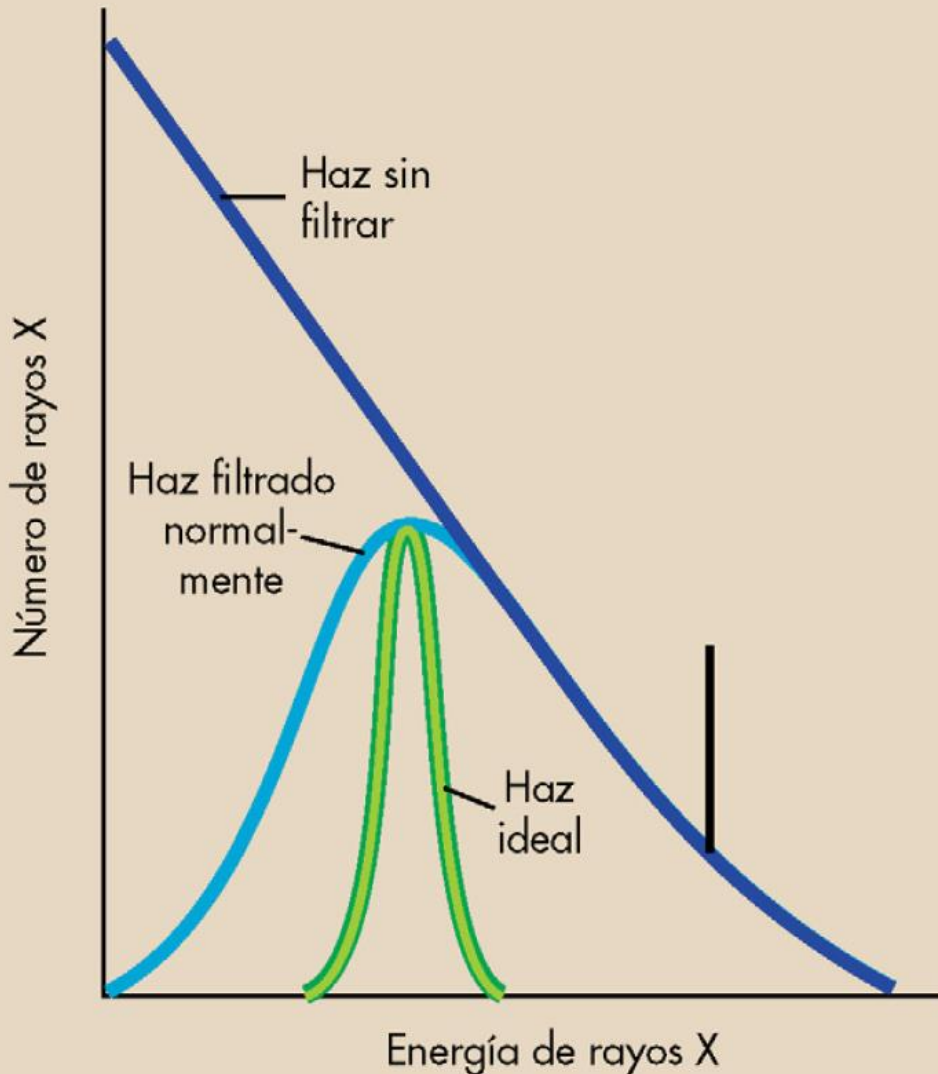
**Filtración.** La principal finalidad de la filtración añadida a un haz de rayos X es la de rechazar selectivamente los rayos X de baja energía que tienen poca probabilidad de llegar al receptor de imagen.



Al aumentar la filtración se aumenta la calidad del haz de rayos X.



## Capa hemirreductora



**Figura 9-4**

La filtración se usa para eliminar selectivamente los rayos X de baja energía del haz útil. Una filtración añadida ideal eliminaría todos los rayos X de baja energía.



## Capa hemirreductora

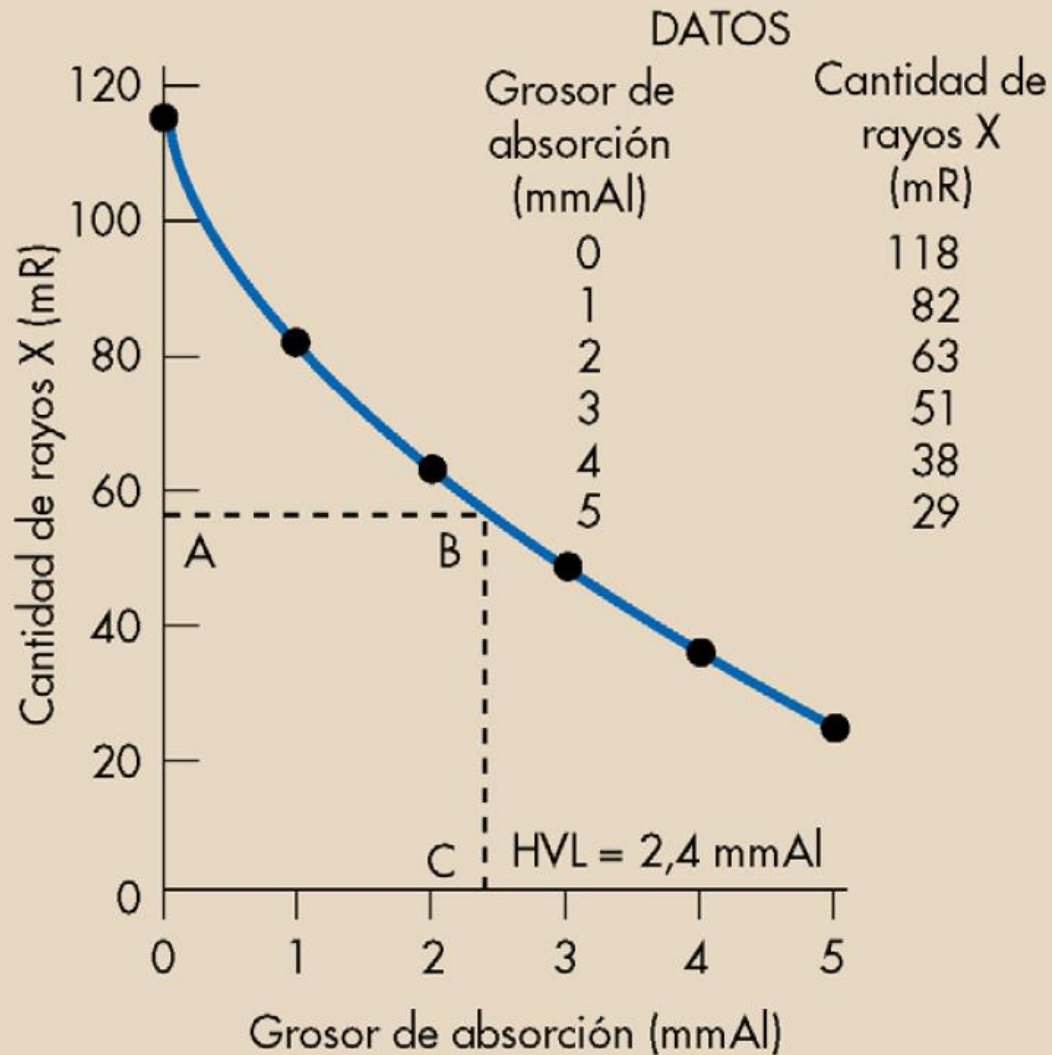
**Pregunta:** Los siguientes datos se obtuvieron mediante un tubo de radiografía a 70 kVp, mientras el detector se colocaba a 100 cm del blanco con filtros de 1,0 mm de Al atravesados entre el blanco y el detector. Estime la HVL a partir de una simple observación de estos datos. Luego, represente los datos para ver cuánto se ha acercado.

mm de Al	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
mR	118	82	63	51	38	29

**Respuesta:** La mitad de 118 es 59; por tanto, la HVL debe encontrarse entre 2 y 3 mm de Al. Un gráfico de los datos muestra que la HVL es de 2,4 mm de Al.



## Capa hemirreductora



### Figura 9-3

Los datos de la tabla son característicos para la determinación de la capa hemirreductora (HVL). La representación de esos datos muestra una HVL de 2,4 mm de Al.



## Capa hemirreductora



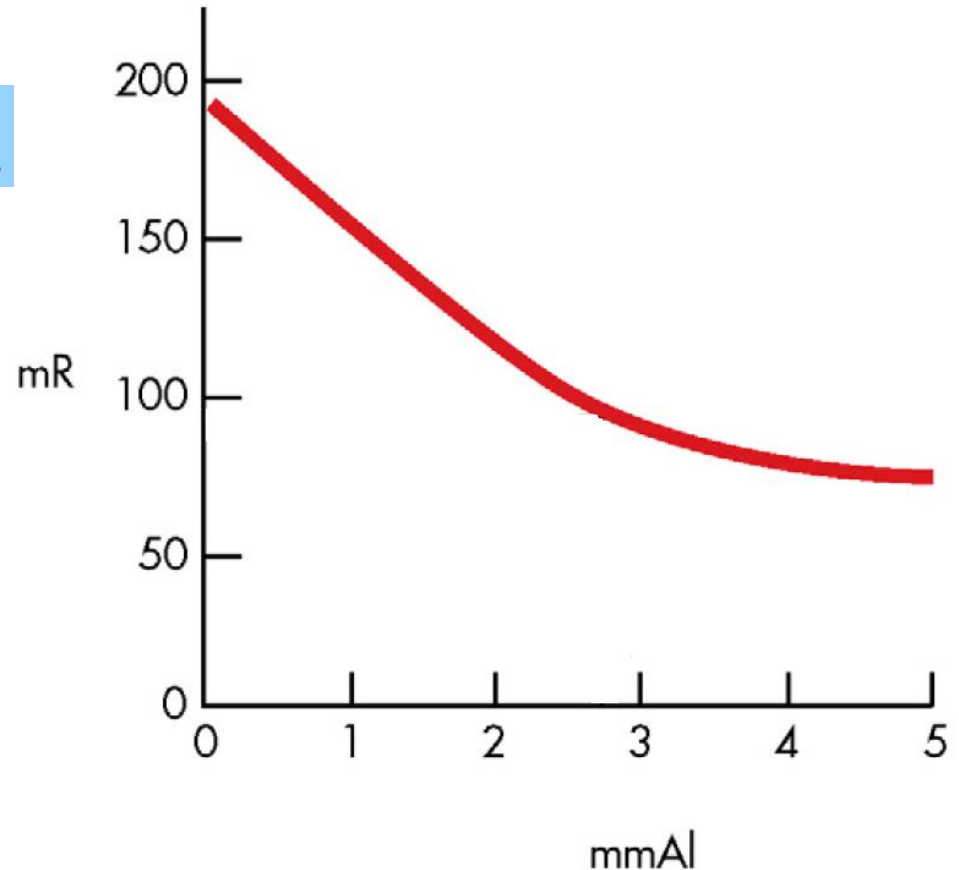
La HVL es el mejor método de describir la calidad de los rayos X.



## Capa hemirreductora

**Pregunta:** El siguiente gráfico se ha dibujado a partir de medidas diseñadas para estimar la HVL. ¿Qué HVL sugiere este gráfico?

Con filtración nula, la cantidad de rayos X parece ser de 190 mR aproximadamente.



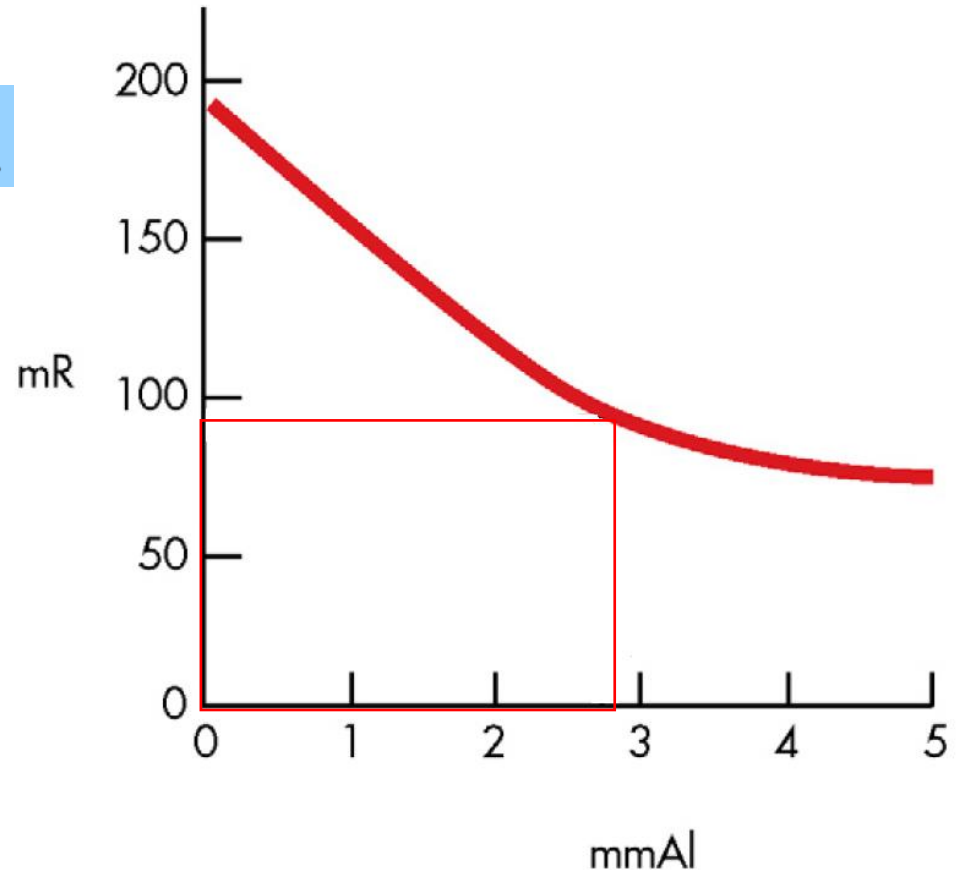




## Capa hemirreductora

**Pregunta:** El siguiente gráfico se ha dibujado a partir de medidas diseñadas para estimar la HVL. ¿Qué HVL sugiere este gráfico?

Con filtración nula, la cantidad de rayos X parece ser de 190 mR aproximadamente.







## Capa hemirreductora



La calidad del haz de rayos X puede identificarse mediante el voltaje o la filtración, aunque la HVL es más apropiada.



## Factores que afectan a la calidad de los rayos X

**TABLA 9-2**

Factores que afectan a la calidad y la cantidad de rayos X

### AFECTA A

#### Aumento en

#### Calidad de los rayos X

#### Cantidad de rayos X

mAs

No afecta

Aumenta

kVp

Aumenta

Aumenta

Distancia

No afecta

Reduce

Filtración

Aumenta

Reduce



## Tipos de filtración

La filtración de haces de rayos X para diagnóstico tiene dos componentes: la filtración inherente y la filtración añadida.

**Filtración inherente.** La cobertura de cristal o el metal de los tubos de rayos X filtra el haz de rayos X emitido. Este tipo de filtración se denomina **filtración inherente**.



## Tipos de filtración

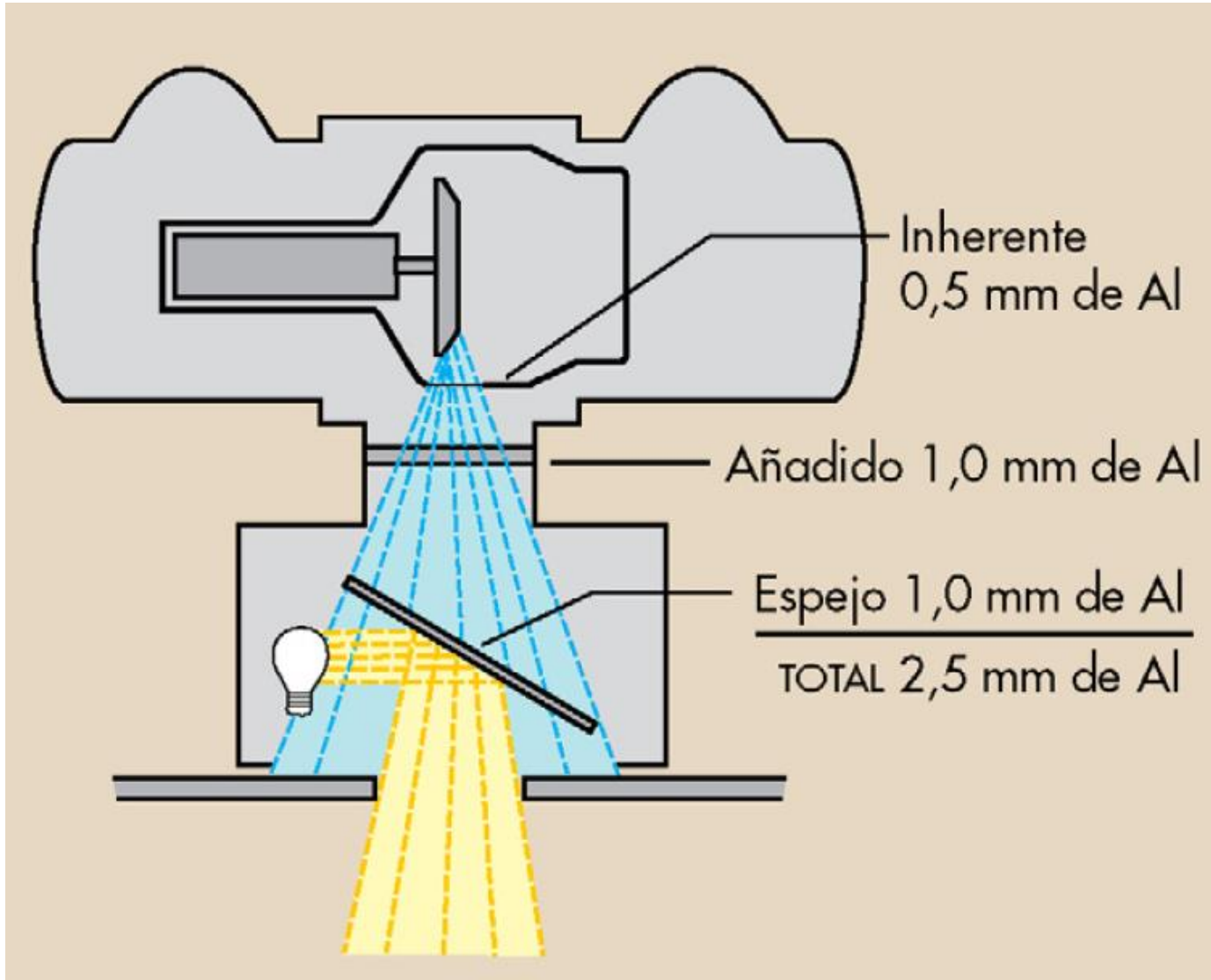
La *Filtración añadida*. Una fina lámina de aluminio colocada entre la cobertura protectora del tubo de rayos X y el colimador del haz de rayos X es la forma usual de filtración añadida.



La filtración añadida provoca un aumento de la HVL.



## Tipos de filtración





## Tipos de filtración

**Pregunta:** Un sistema de imágenes de rayos X tiene una HVL de 2,2 mm de Al. La exposición es de 2 mR/mAs ( $20 \mu\text{Gy}_a/\text{mAs}$ ) a 100 cm SID. Si se añaden 2,2 mm de Al al haz, ¿cuál será la exposición de rayos X?

**Respuesta:** Ésta es una adición de una HVL; por consiguiente, la exposición de rayos X será de 1 mR/mAs ( $10 \mu\text{Gy}_a/\text{mAs}$ ).



## Tipos de filtración

**EL filtro de compensación** es aquel diseñado para compensar las diferencias en la radioopacidad del sujeto para obtener una DO (Densidad Óptica) uniforme.

Los filtros de compensación son útiles para mantener la calidad de la imagen. No son dispositivos para proteger de la radiación.





## Tipos de filtración



**FIGURA 9-7** Uso de un filtro de cuña para examen del pie.

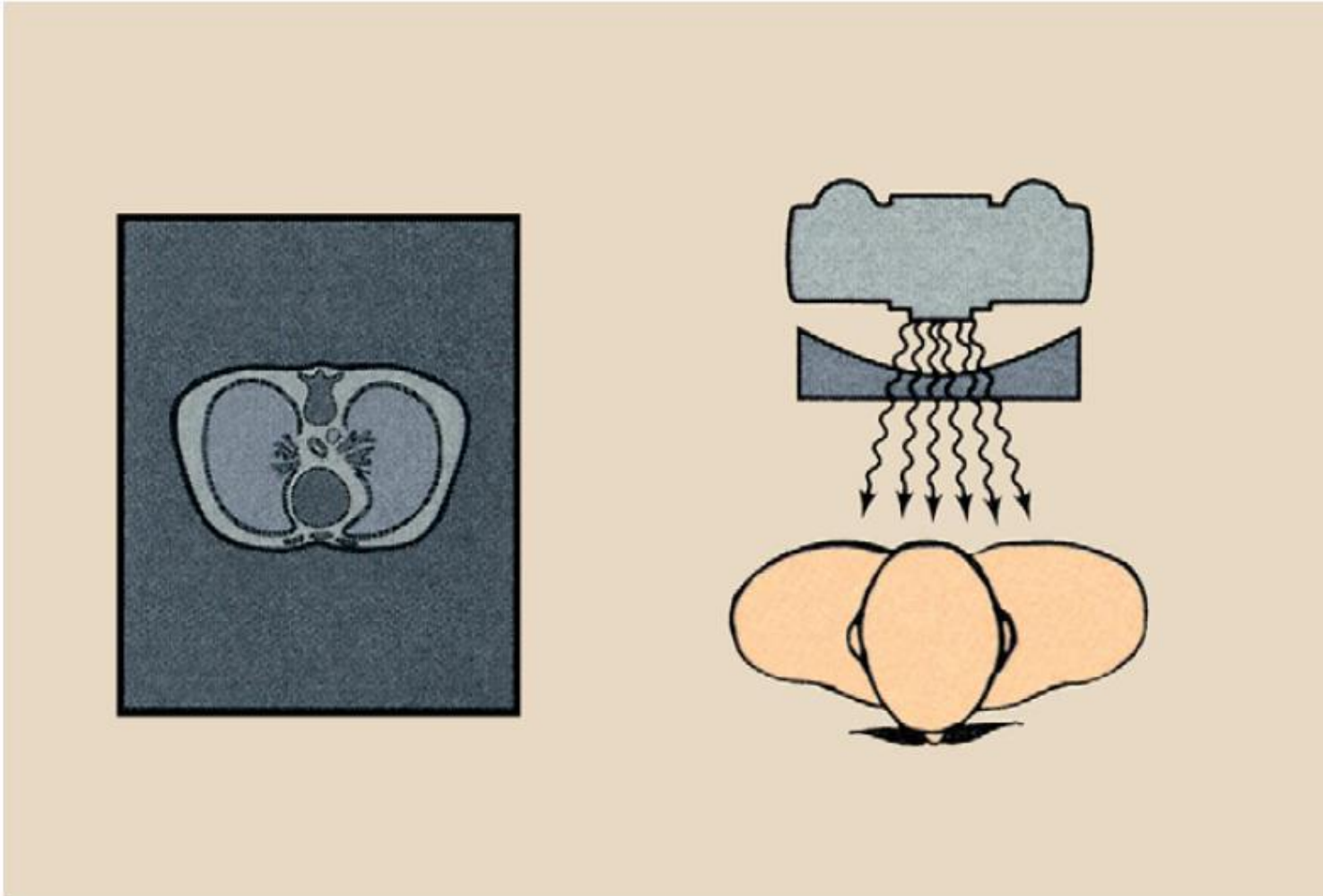


## Tipos de filtración

La El filtro de cuña se usa principalmente cuando se toma una radiografía de una parte del cuerpo, como el pie, que varía considerablemente de grosor, Durante una proyección AP del pie, la cuña debería colocarse con su parte más gruesa sombreando los dedos del pie y con la porción más delgada hacia el talón.



## Tipos de filtración



**FIGURA 9-8** Uso de un filtro de canal para examen de tórax.

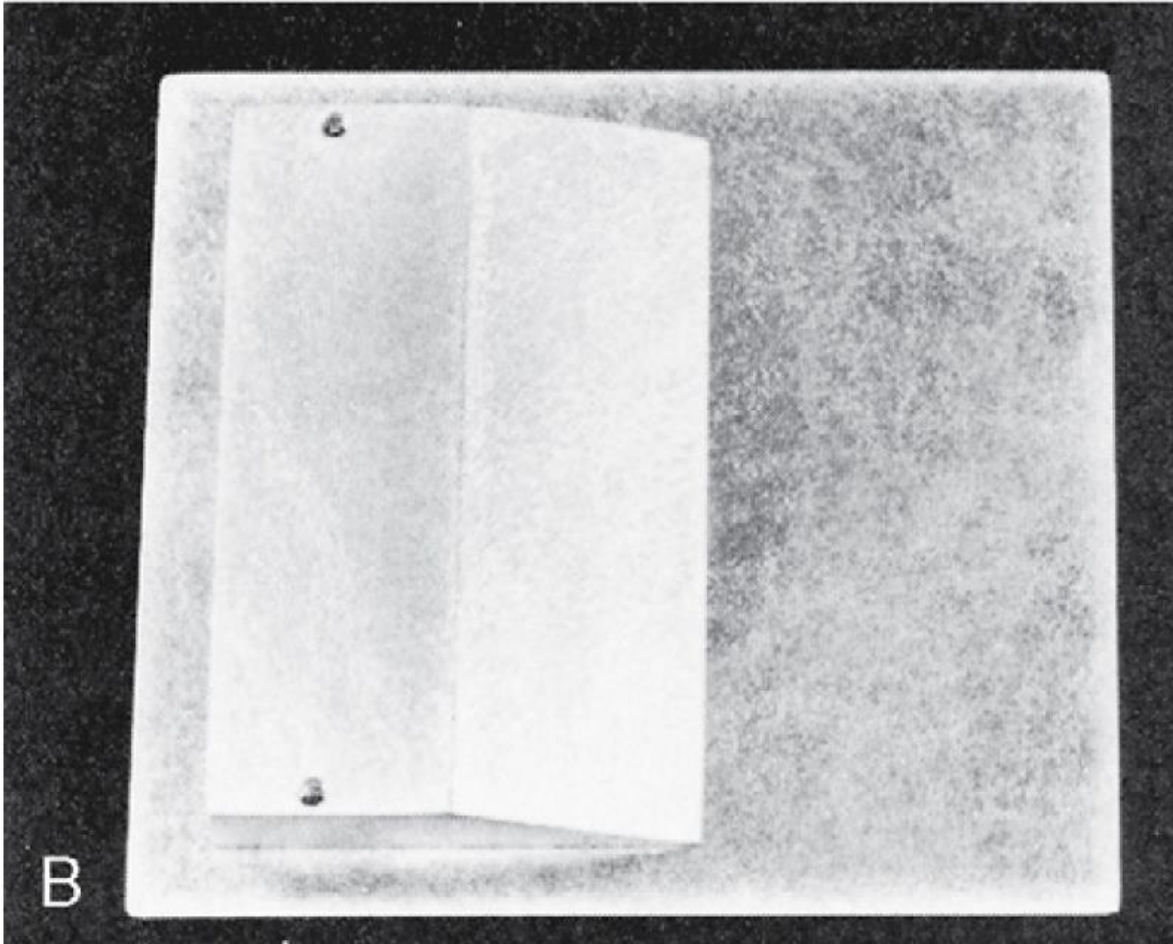


## Tipos de filtración

Un filtro de cuña bilateral, o filtro de canal, se usa a veces en radiografías de tórax (fig. 9-8). La región central delgada de la cuña se coloca sobre el mediastino, mientras que las gruesas porciones laterales sombrean las regiones de los pulmones. El resultado es una radiografía con una DO o intensidad de señal más uniforme



## Tipos de filtración



**B**, Filtro de «pajarita» usado en tomografía



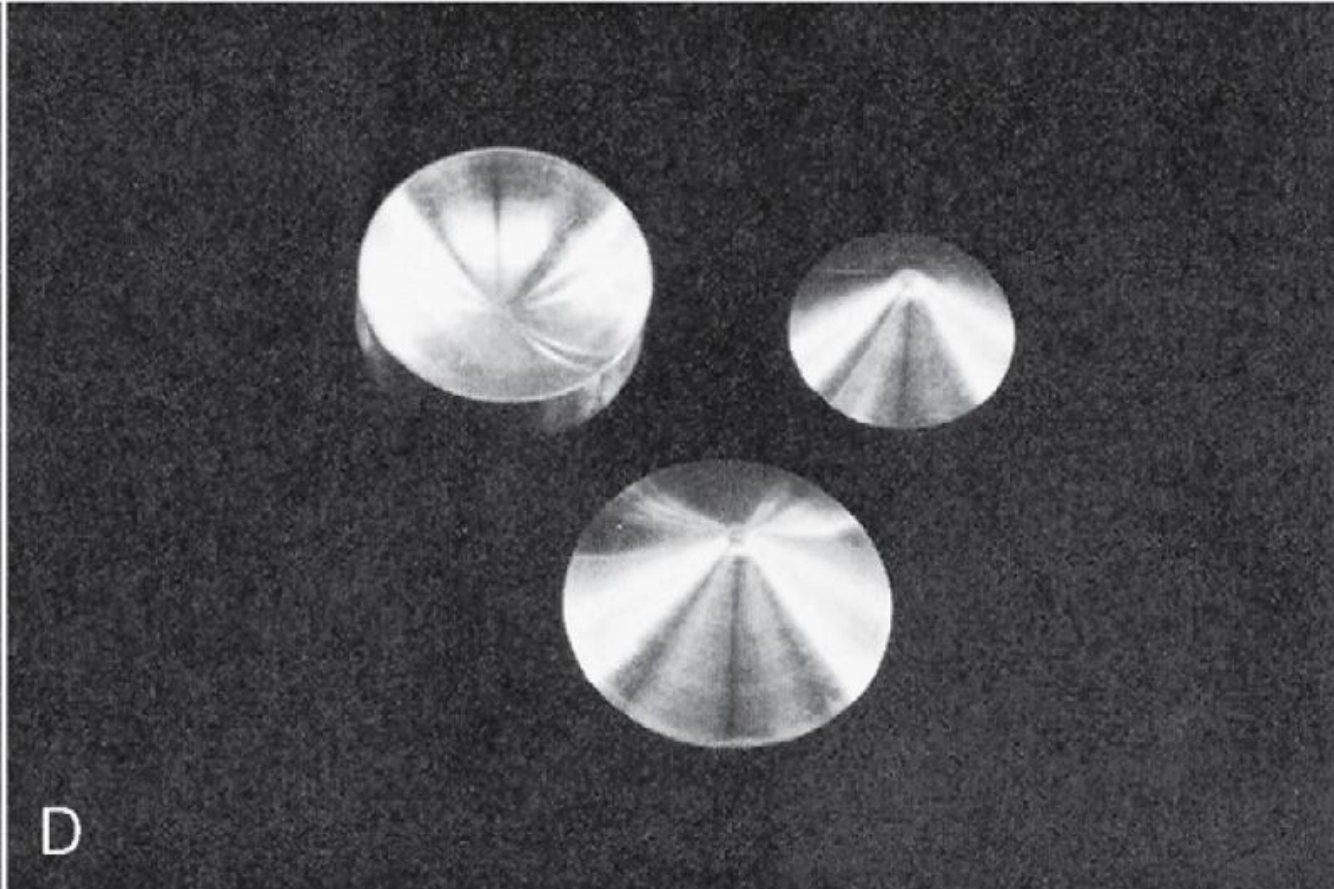
## Tipos de filtración

Los filtros especiales en forma de «pajarita» se utilizan con sistemas de imágenes de tomografía computarizada para compensar la forma de la cabeza o del cuerpo.





## Tipos de filtración



D, Filtros cónicos usados en fluoroscopia digital.



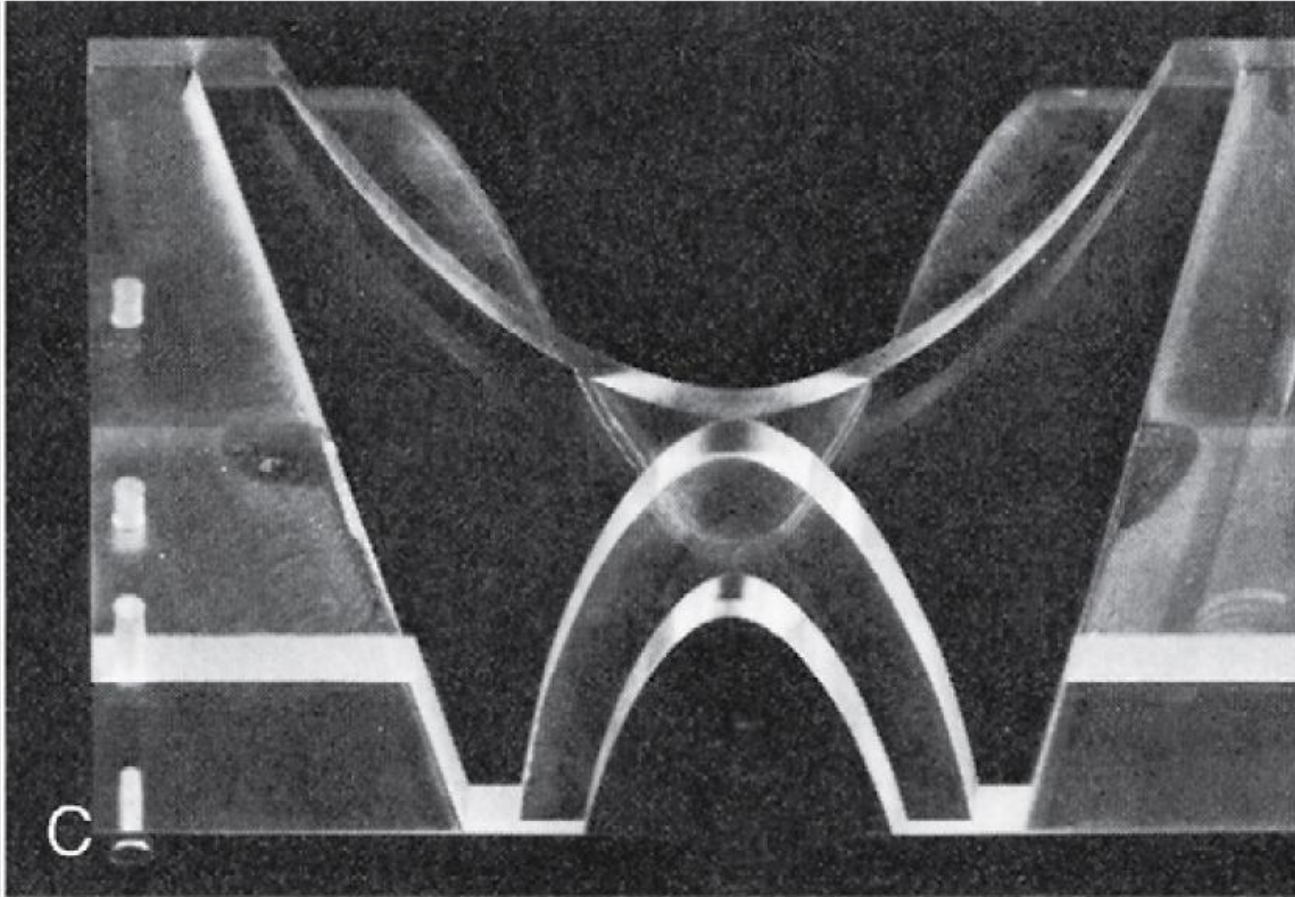


## Tipos de filtración

Los filtros cónicos, ya sean **cóncavos** o **convexos**, encuentran su aplicación en fluoroscopia digital, donde el receptor de imagen, el tubo intensificador de imagen, es circular.



## Tipos de filtración



C, Filtro de cuña



## Tipos de filtración

Un filtro de cuña escalonada es una adaptación del filtro de cuña (fig. 9-9). Se usa en algunos procedimientos especiales, normalmente donde se obtienen imágenes de secciones largas de la anatomía con dos o tres receptores de imagen separados.



## Tipos de filtración

Resumiendo estos son los tres tipos de filtración:

- 1) filtración inherente del cristal o metal de la cobertura,
- 2) Filtración añadida en forma de láminas de aluminio
- 3) filtros de compensación



## Tipos de filtración

6. Los siguientes datos se obtuvieron con un tubo de rayos X de fluoroscopia a 80 kVp. Los niveles de exposición se midieron a 50 cm por encima de la mesa con absorbentes de aluminio colocados en su superficie. Estimar la HVL mediante inspección visual de los datos; después, representar los datos y determinar el valor preciso de la HVL.

mm de Al añadido	mR
Ninguno	65
1	48
3	30
5	21
7	16
9	13,0