

# RADIACIÓN X

Biofísica 2015

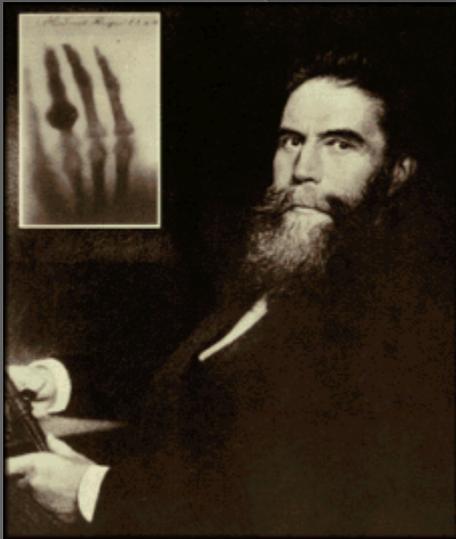
*Prof. Bioq. Liliana C. Fasoli*

# ¿Por qué estudiar los Rayos X?

## Objetivos:

1. Comprender cómo se generan los rayos X.
2. Interpretar la interacción de los rayos X con la materia.
3. Comprender su utilidad en la Odontología

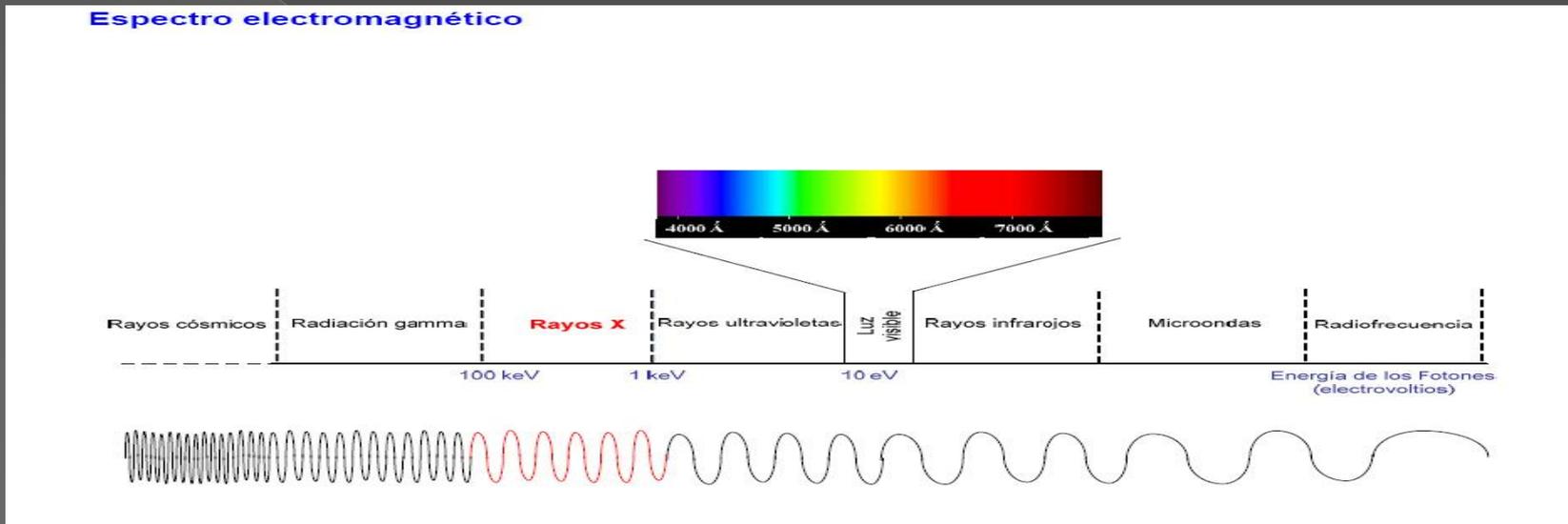
# ¿Qué es una radiación X?



**WILHELM CONRAD ROETGEN** 1895

- Radiación electromagnética (EM) de alta energía.
- Longitud de ondas: entre ultravioleta y rayos gamma
- Rango de longitudes de onda: 0,1 nanómetros ( $10^{-8}$  metros) y 10 picómetros ( $10^{-11}$  metros).
- Rango de frecuencias: 30 petahertz (PHz ó  $10^{15}$  hertz) hasta 30 exahertz (EHz ó  $10^{18}$  hertz).
- Tipos: rayos X duros y blandos. La división entre los dos tipos es a una longitud de onda aproximada de 100 picómetros, o nivel de energía de 10 keV por fotón. Los rayos X duros: energía entre 10 keV y cientos de keV .

# Espectro electromagnético



- Fotones X: de energía entre 1 y 100 keV
- $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$   $1 \text{ KeV} = 10^3 \text{ eV}$
- $1 \text{ KeV} = 1.6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$

# Propiedades de los Rayos X

- **Se propagan en el vacío** a la velocidad de la luz, en línea recta y en cualquier dirección del espacio.
- Pertenecen al **espectro invisible**
- No poseen **masa ni carga** y no son desviados por campos magnéticos.
- Producen **efecto fotoquímico** en la materia, promoviendo reacciones de reducción de átomos, por ej. del Br, de la Ag de las placas radiográficas.
- Su **penetrabilidad** en la materia depende del **Z** del elemento bombardeado para producir fotones X
- Cuanto mayor es la **densidad** del material que atraviesan, hay mayor probabilidad de que los rayos X choquen contra la materia y transfieran a ella su energía.
- Poseen alto **poder ionizante**. Generan ionizaciones en las moléculas y átomos con los que interactúen, siendo éste el efecto biológico de mayor relevancia.

# Revisión de conceptos y unidades

$$\Delta V = E \cdot l \quad (\text{diferencia de voltaje: energía x distancia})$$

( Volt = Joule x metro)

$$\text{Para } \Delta V = 1 \text{ V, } E = 1 \text{ J} = 1 \text{ N} / \text{C} \text{ y } l = 1 \text{ m}$$

$$1 \text{ V} = 1 \text{ N} / \text{C} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J} / \text{C}$$

Cuando una partícula cargada "q" se desplaza desde un punto de potencial  $V_a$  hacia un punto de potencial  $V_b$ , el cambio de energía potencial  $E$  es:

$$\Delta E = q \cdot (V_b - V_a) = q \cdot \Delta V$$

$$\text{Si } q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C y } \Delta V = 1 \text{ V} \Rightarrow \Delta E = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ J} / \text{C}$$
$$= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

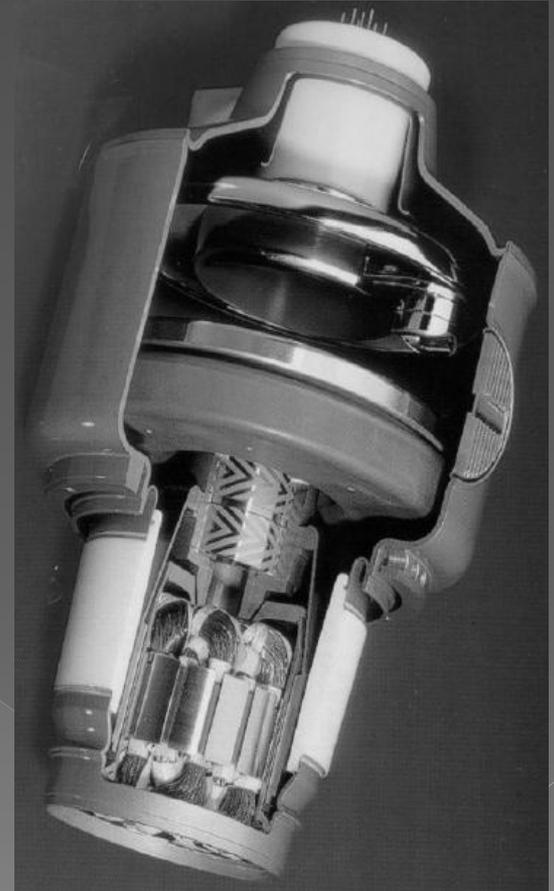
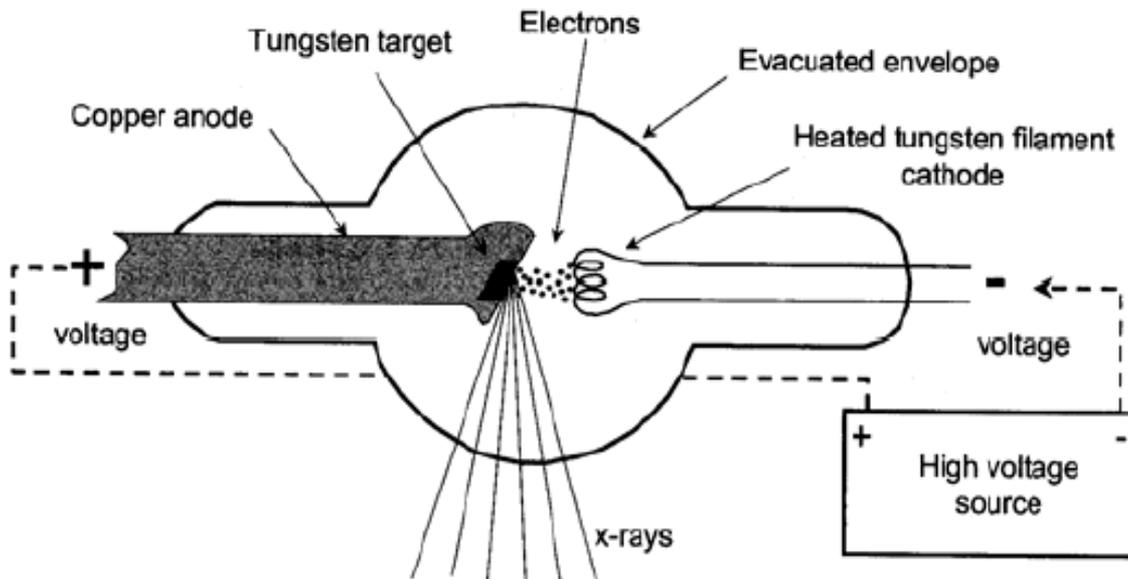
Esta cantidad de energía se denomina **electrón-volt (eV)**

$$\text{Energía de 1 fotón: } E \cdot f = h \cdot f$$

$$\textit{siendo } h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4.135 \cdot 10^{-15} \text{ eV}$$

# Componentes del tubo de Rayos X

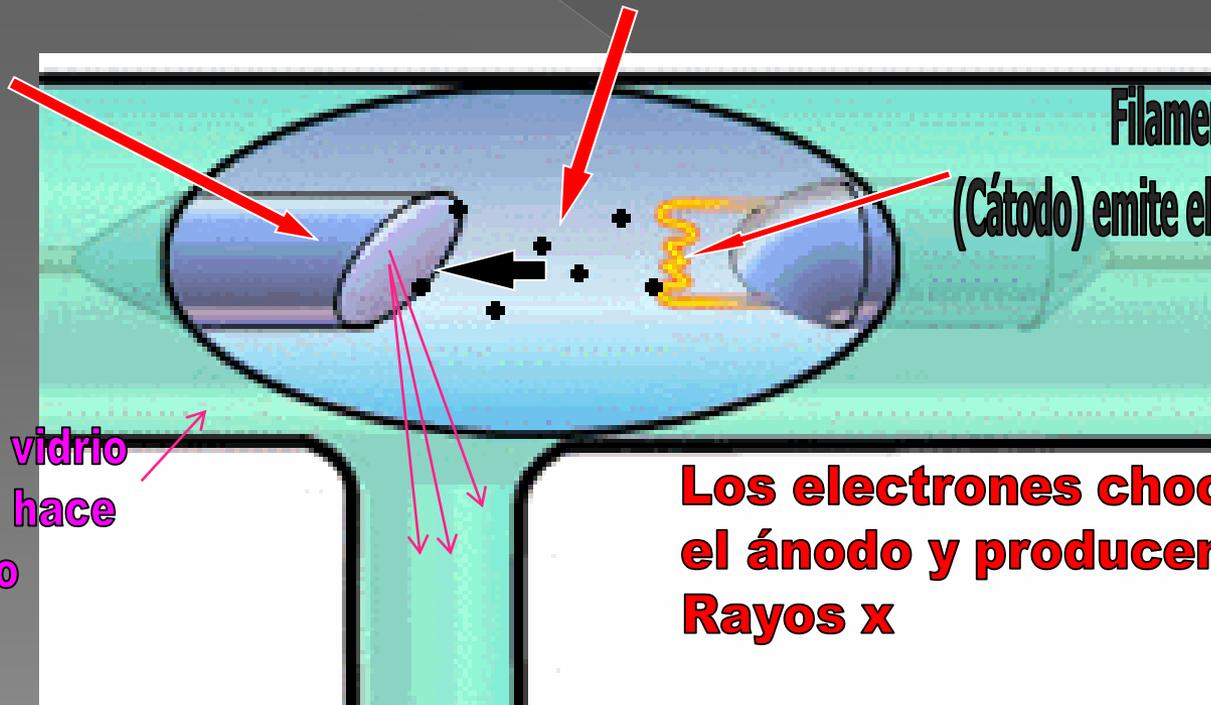
- ▶ Generador
- ▶ Filamento/cátodo
- ▶ Ánodo o anticátodo
- ▶ Vacío
- ▶ Blindaje
- ▶ Filtros



# Generación de los rayos X

Anodo (+) alto voltaje refrigerado

*Los electrones son acelerados mediante alta tensión*



Filamento incandescente

(Cátodo) emite electrones efecto termoiónico

Envoltura de vidrio en la que se hace el vacío

**Los electrones chocan con el ánodo y producen Rayos x**

# Generador

- ▶ El generador toma la energía eléctrica de la red y la modifica para adaptarla a las necesidades del tubo de RX:
  - **1º**: arrancar electrones del filamento (bajo voltaje). Para el circuito del filamento existe un transformador de bajo voltaje
  - **2º**: acelerar estos electrones del cátodo al ánodo (alto voltaje). Existe un transformador de alto voltaje y un conjunto de rectificadores (convierten la corriente alterna de la red en corriente continua) para este circuito de alto voltaje. Transformador y rectificadores están inmersos en aceite, que hace de aislante.

# Generador

Resumiendo, el generador **adapta** la energía de la red, que se necesita para dos cosas:

Arrancar electrones del filamento (**corriente mA**)

Acelerar los electrones del cátodo al ánodo (**voltaje kV**)

Estos dos parámetros se pueden seleccionar desde la CONSOLA del generador, en el puesto de control.

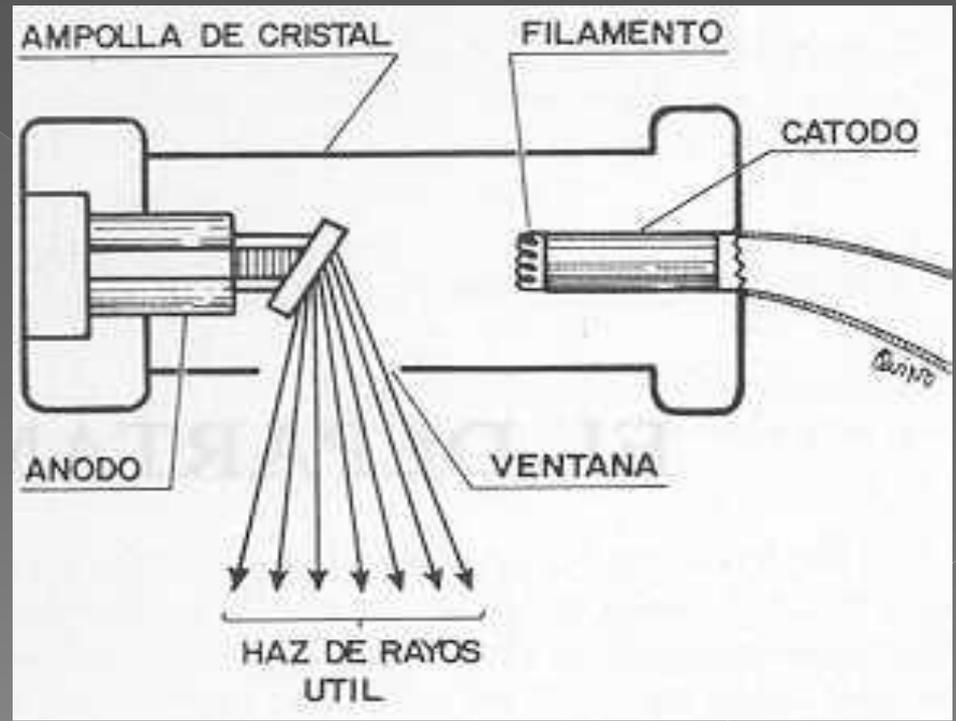


# Filamento del cátodo

El cátodo es un **filamento** que produce electrones por **EFEECTO TERMOIÓNICO**:

Cuando un metal se calienta algunos de los  $e^-$  más externos consiguen escapar.

Cuanto mayor es la corriente que pasa por el filamento, mayor será la temperatura y el nº de  $e^-$  que se emiten.



# ¿Con qué material se construye el cátodo?

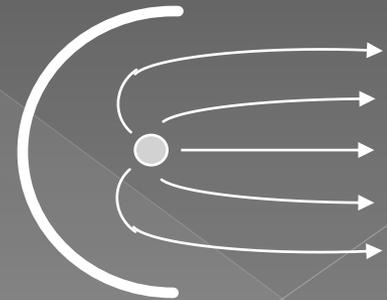
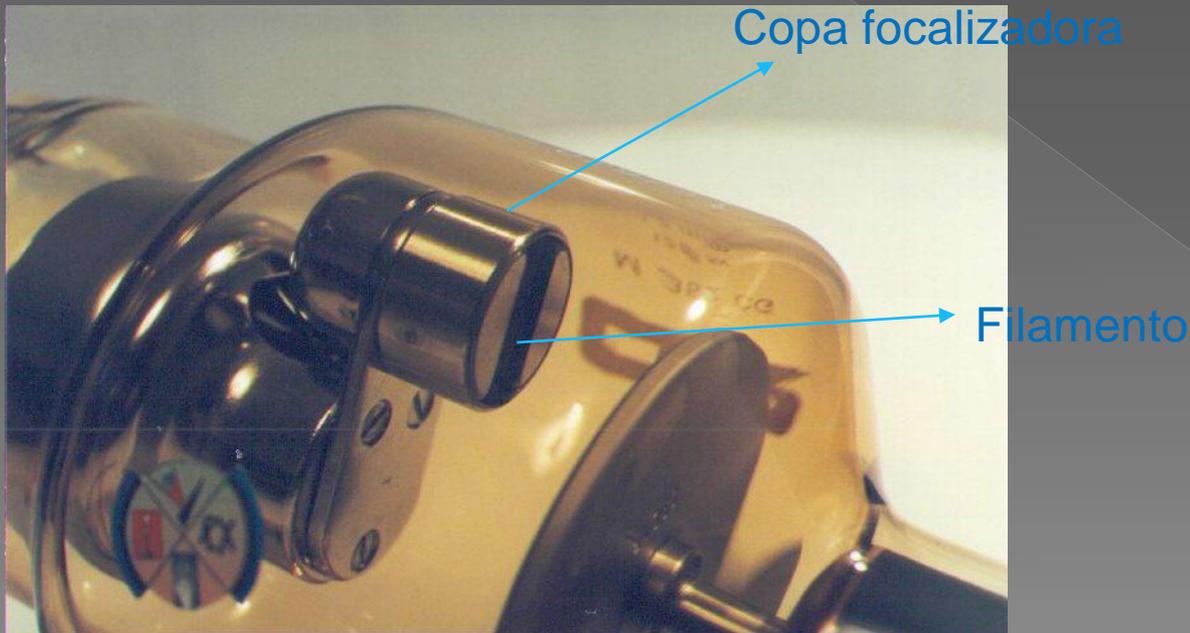
Está hecho de WOLFRAMIO (W), porque:

- Facilidad para formar hilos delgados y fuertes
- Alto punto de fusión
- Baja tendencia a evaporarse
- Esperanza de vida razonablemente alta
- Una pequeña cantidad de wolframio se evapora y se deposita en la superficie interna de la pared del tubo, dándole un color amarillento. Tiende a filtrar el haz de RX que sale del tubo

# Filamento del cátodo

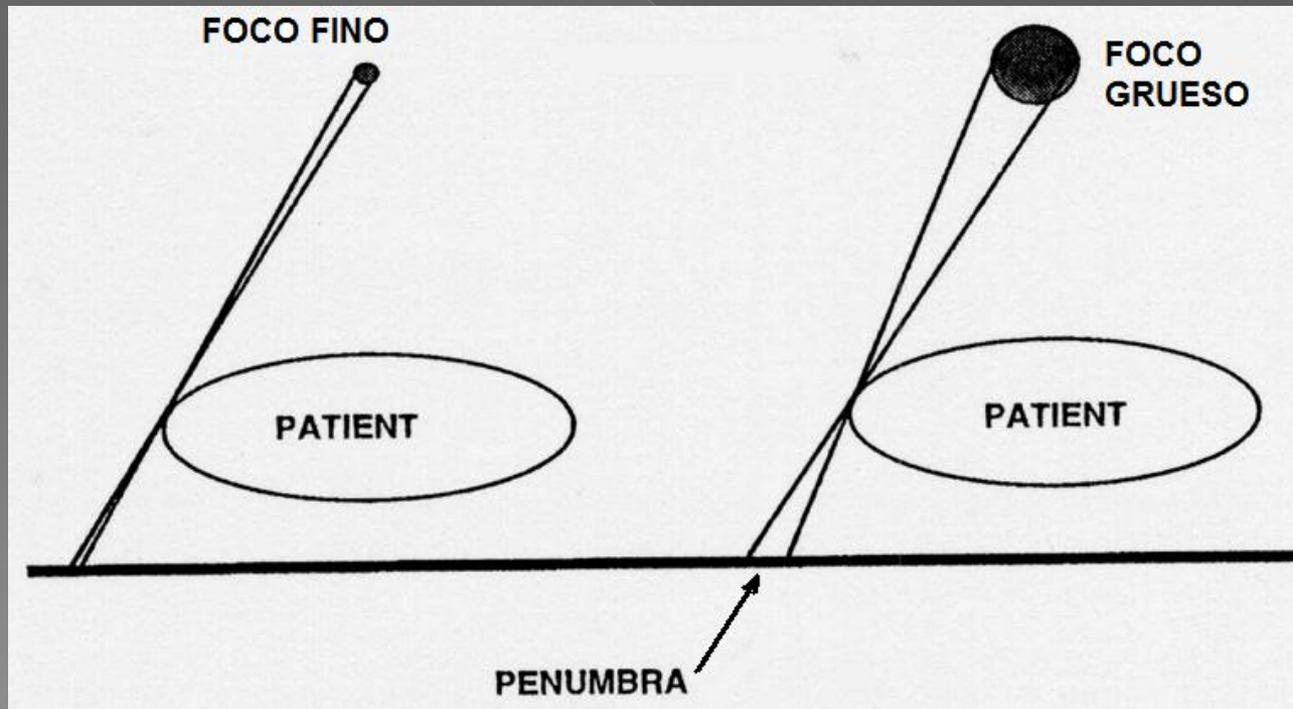
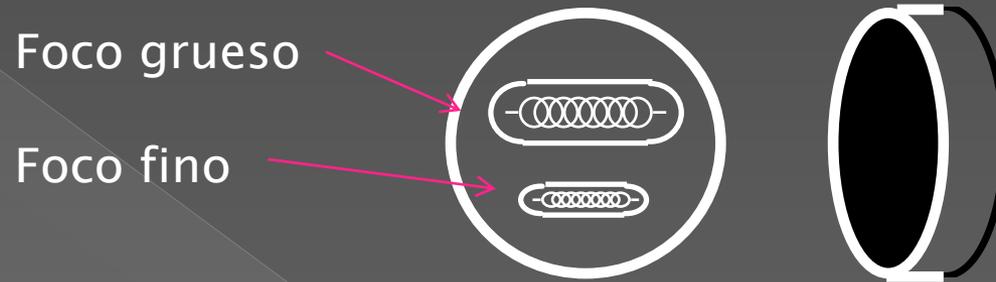
Copa focalizadora: evita que la nube de electrones se extienda demasiado.

se mantiene al mismo potencial negativo que el filamento



# Filamento y cátodo

Los tubos de RX tienen habitualmente un doble filamento



# Foco grueso y fino: ventajas y desventajas

**Focos**: el tamaño del foco afecta a la calidad de imagen

## **Foco fino**

- Mejor calidad de imagen (menos penumbra geométrica)
- Pero llegan menos e<sup>-</sup> al blanco la exposición debe ser más larga con mayor riesgo de movimiento del paciente

## **Foco grueso**

- Peor calidad de imagen
- Menor tiempo de disparo
- Mayor disipación de potencia (menor aumento de temperatura)

# Anodo

- ▶ El ánodo es el material contra el que chocan los  $e^-$  para producir rayos X
- ▶ La mancha focal es el área del ánodo en la que impactan los electrones
- ▶ El material del que está fabricado es también WOLFRAMIO, porque:
  - Alto número atómico (Z): se produce mayor cantidad de radiación de frenado (rayos X generales).
  - Alto punto de fusión: para soportar las altas temperaturas alcanzadas.
  - Baja evaporación: para no perder el vacío.
  - Alta conductividad térmica: para eliminar rápidamente el calor producido (99% de la energía).

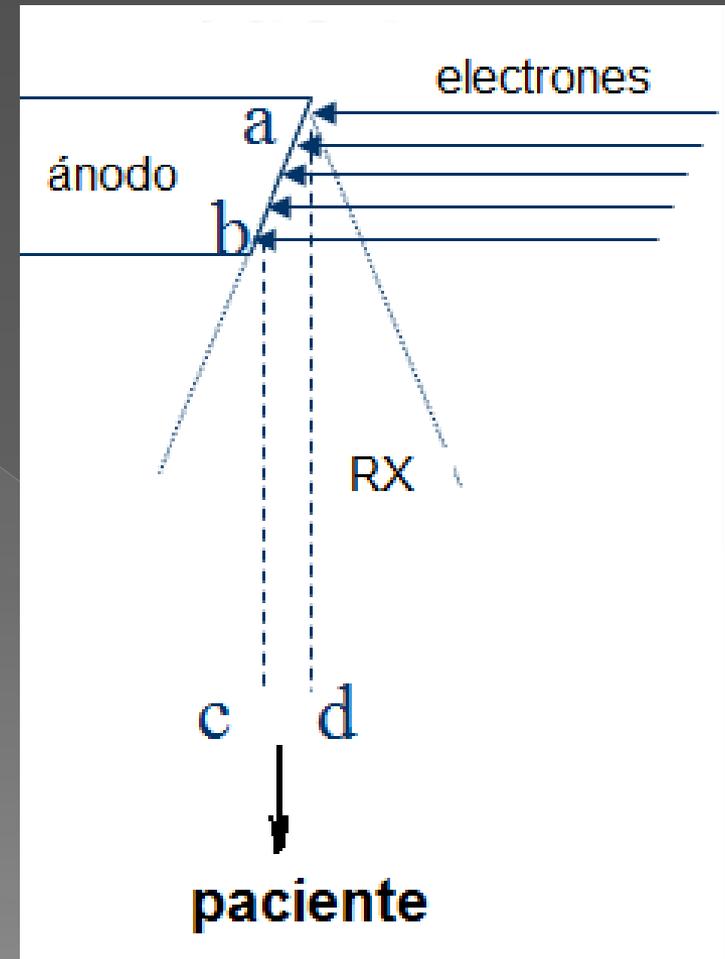
# Problemas del ánodo

- ▶ Dos problemas en la construcción del ánodo:
- ▶ **1º**: cuanto mayor es la mancha focal, mayor será la disipación del calor, sin embargo mayor será el área del foco y mayor por tanto la penumbra geométrica (peor calidad de imagen) **SOLUCIÓN: ÁNODO INCLINADO**
- ▶ **2º**: a pesar de sus buenas propiedades térmicas, el wolframio no es capaz de soportar el calor producido por exposiciones repetidas **SOLUCIÓN: ÁNODO ROTATORIO**

# Anodo inclinado

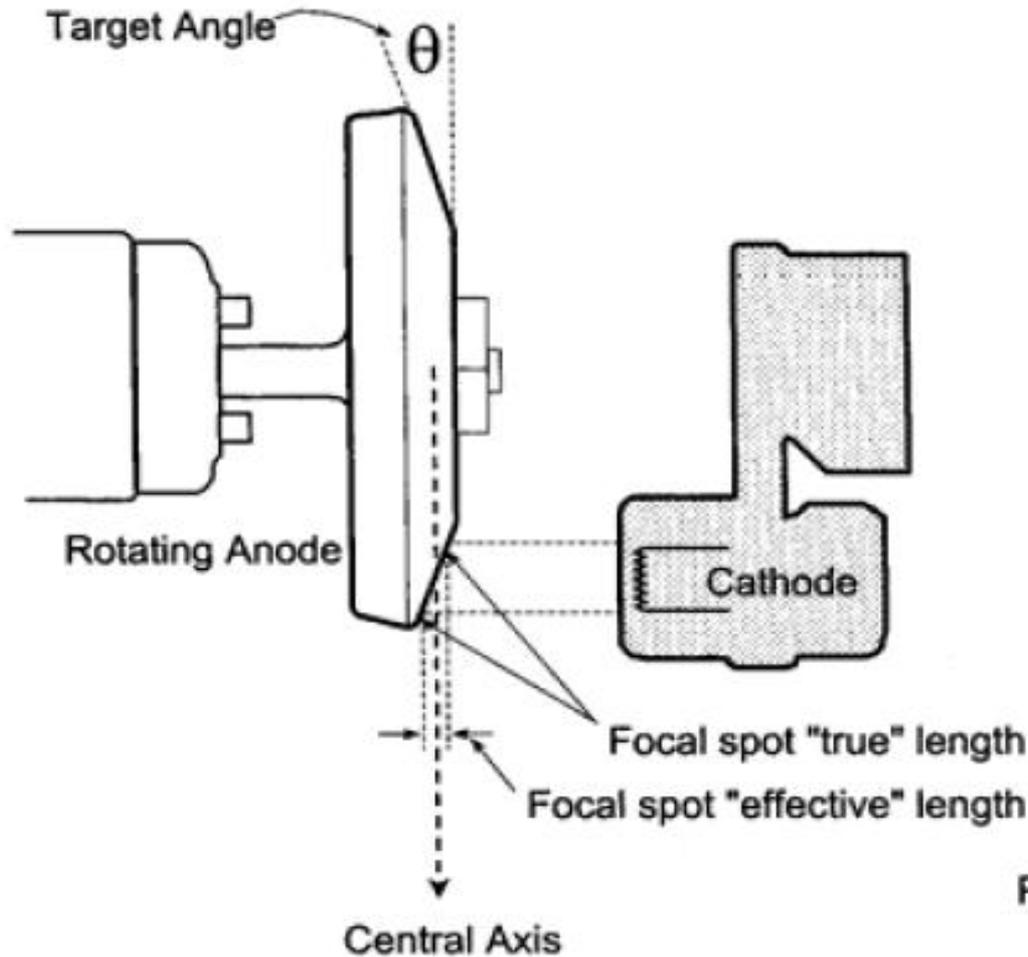
Visto desde el paciente, el tamaño de la mancha focal (c-d) es menor que su tamaño real (a-b).

Así aumentamos el área sometida al impacto de los electrones manteniendo un tamaño de foco aparente pequeño

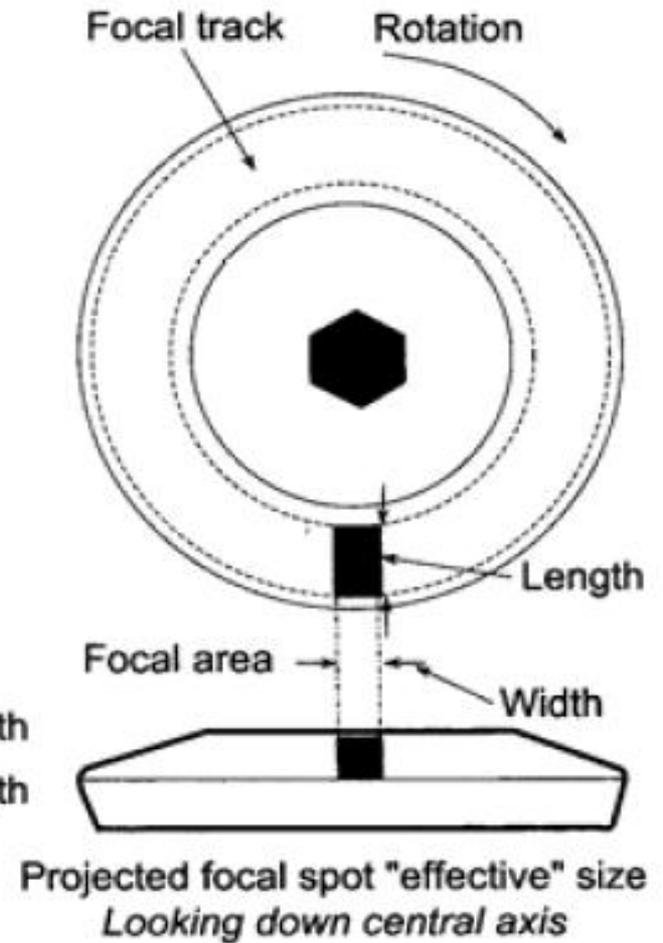


# Anodo rotatorio

Side view of cathode - anode



Front view of anode



# Ampolla de vacío

Todos los componentes del tubo están encerrados en una ampolla de vidrio en la que se ha hecho el vacío.

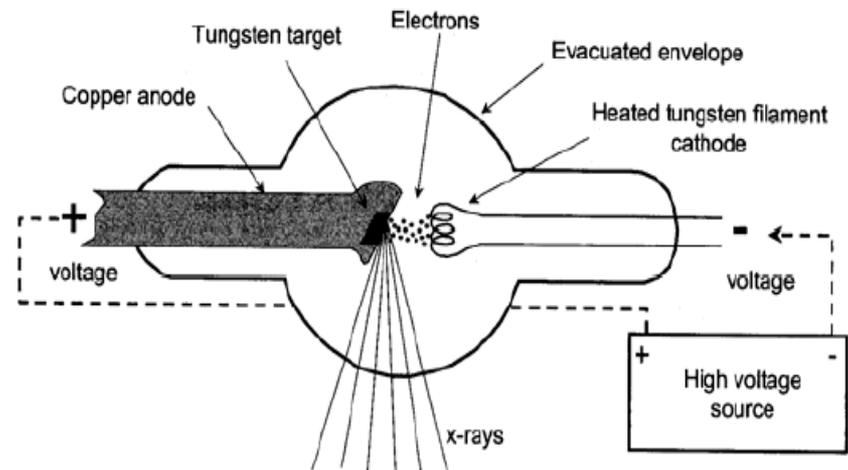
Si no fuera así, los  $e^-$  chocarían con los átomos del gas:

- Se frenarían
- Los iones resultantes acabarían destruyendo el filamento
- **El nº y la velocidad de los  $e^-$  que llegan ánodo variarían de forma incontrolada**



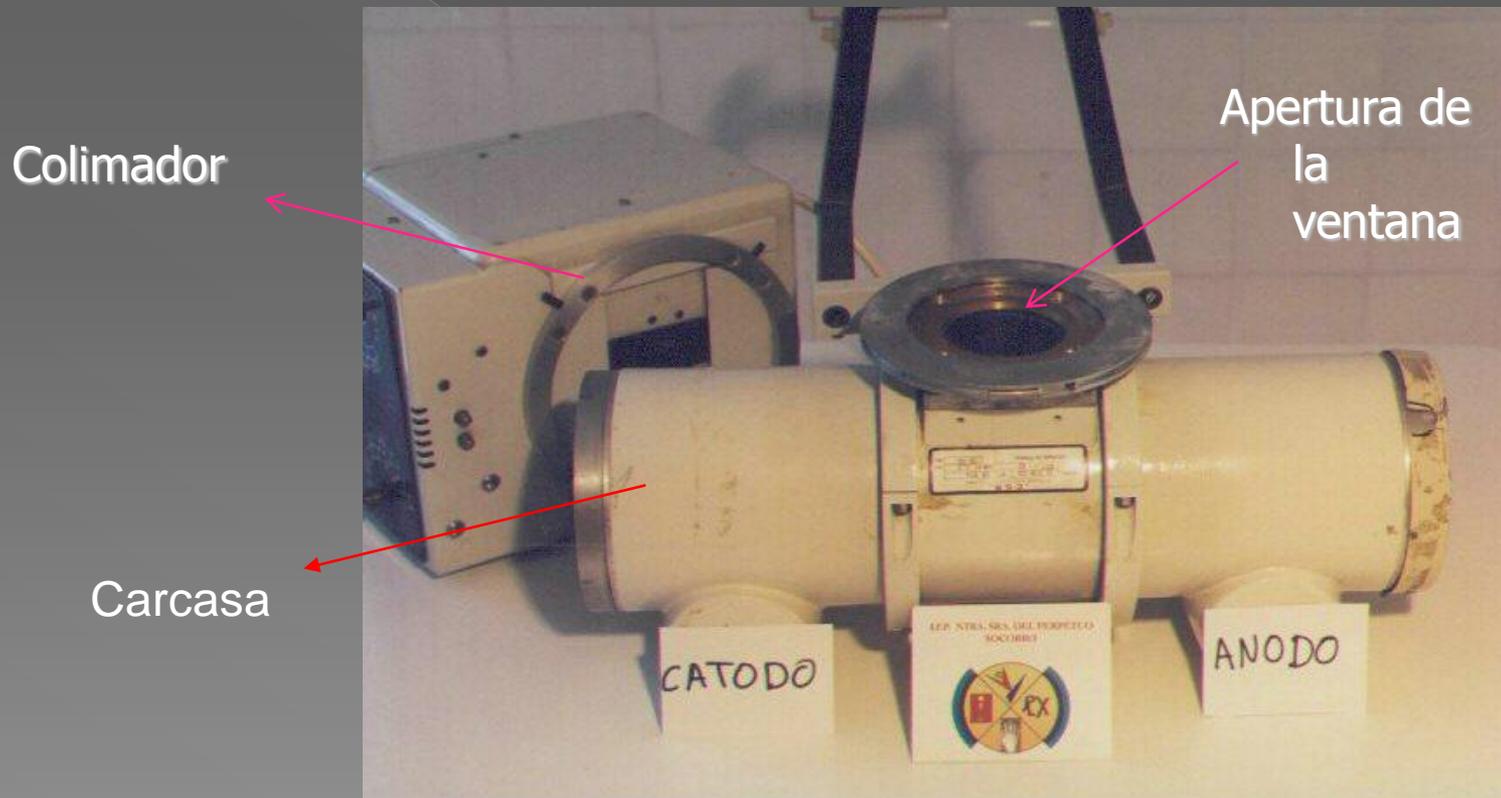
# Blindaje

- ▶ Los rayos X se emiten desde el blanco en todas las direcciones
- ▶ Se dispersan en todas direcciones al colisionar con las distintas estructuras dentro y alrededor del tubo
- ▶ Si el tubo no estuviera rodeado de un blindaje de plomo, la intensidad de radiación a su alrededor daría lugar a:
  - Una exposición innecesaria tanto de pacientes como de profesionales
  - Una peor calidad de imagen



# Blindaje

Radiación de fuga: la que se escapa a través de la coraza.  
ICPR establece un límite máximo de 1 mGy/h a 1 m del foco y fuera del haz directo trabajando a máxima potencia



# Filtración

Sirve para absorber fotones de menor energía

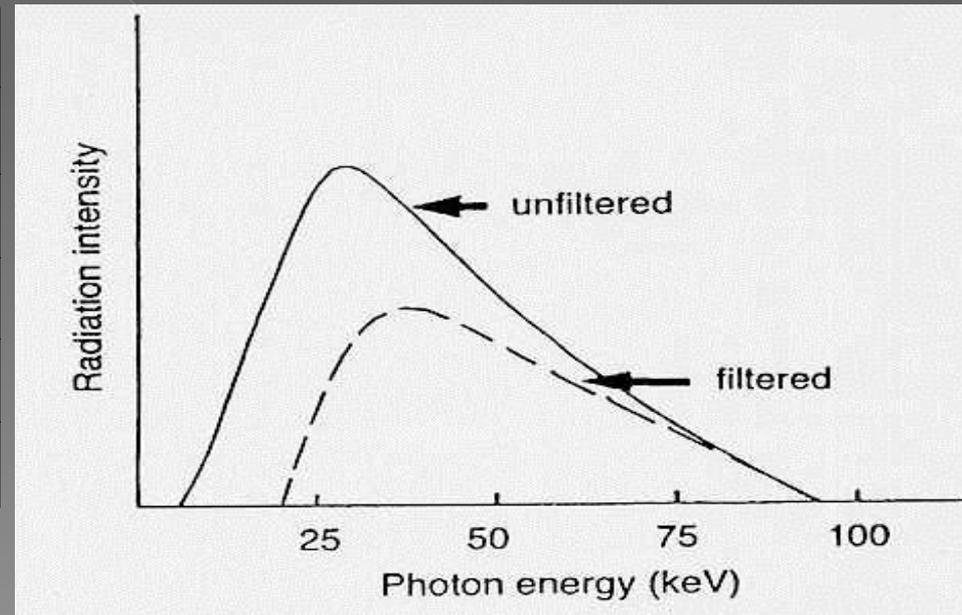
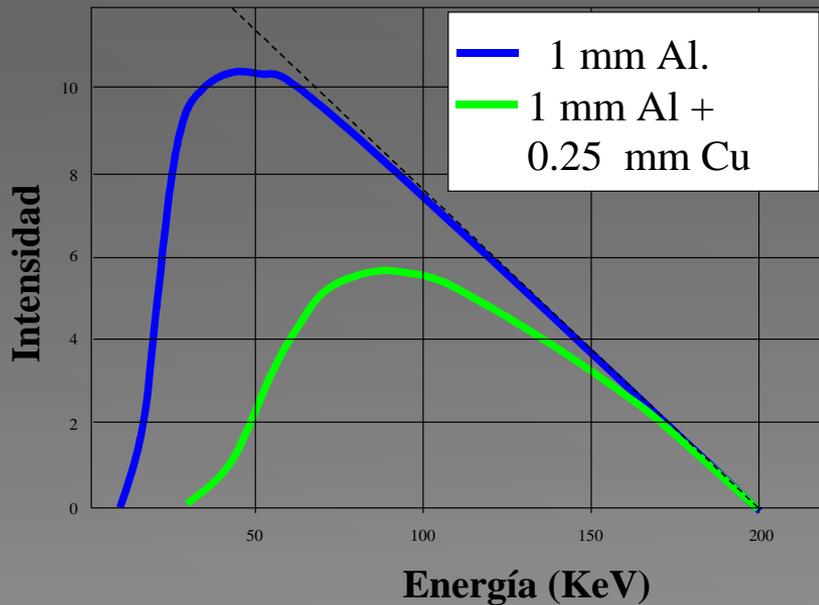
Efectos: Endurecimiento del haz

Baja la intensidad global de radiación.

Sube la energía media del haz.

Menor dosis en piel al paciente.

Mejor contraste de la imagen.



# Filtración

- Filtración total:

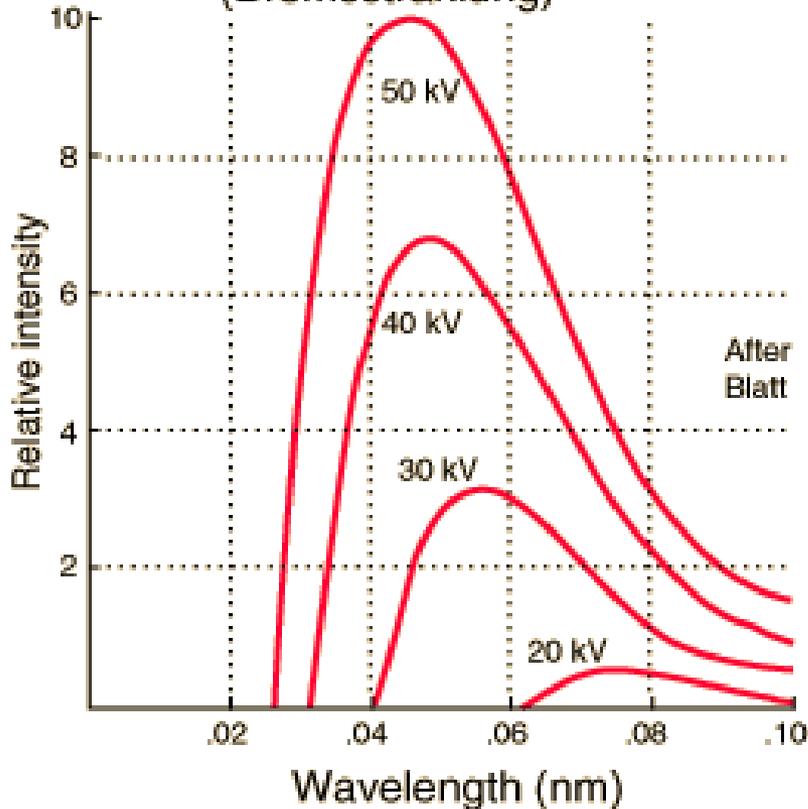
**Filtración inherente + Filtración añadida**  
(mm equivalentes de Al)

- Filtración total mínima:

- > > 1,5 mm de Al para tensiones entre 50 y 70 kV
- > > 2,5 mm de Al para tensiones superiores a 70 kV

# Rayos X generales

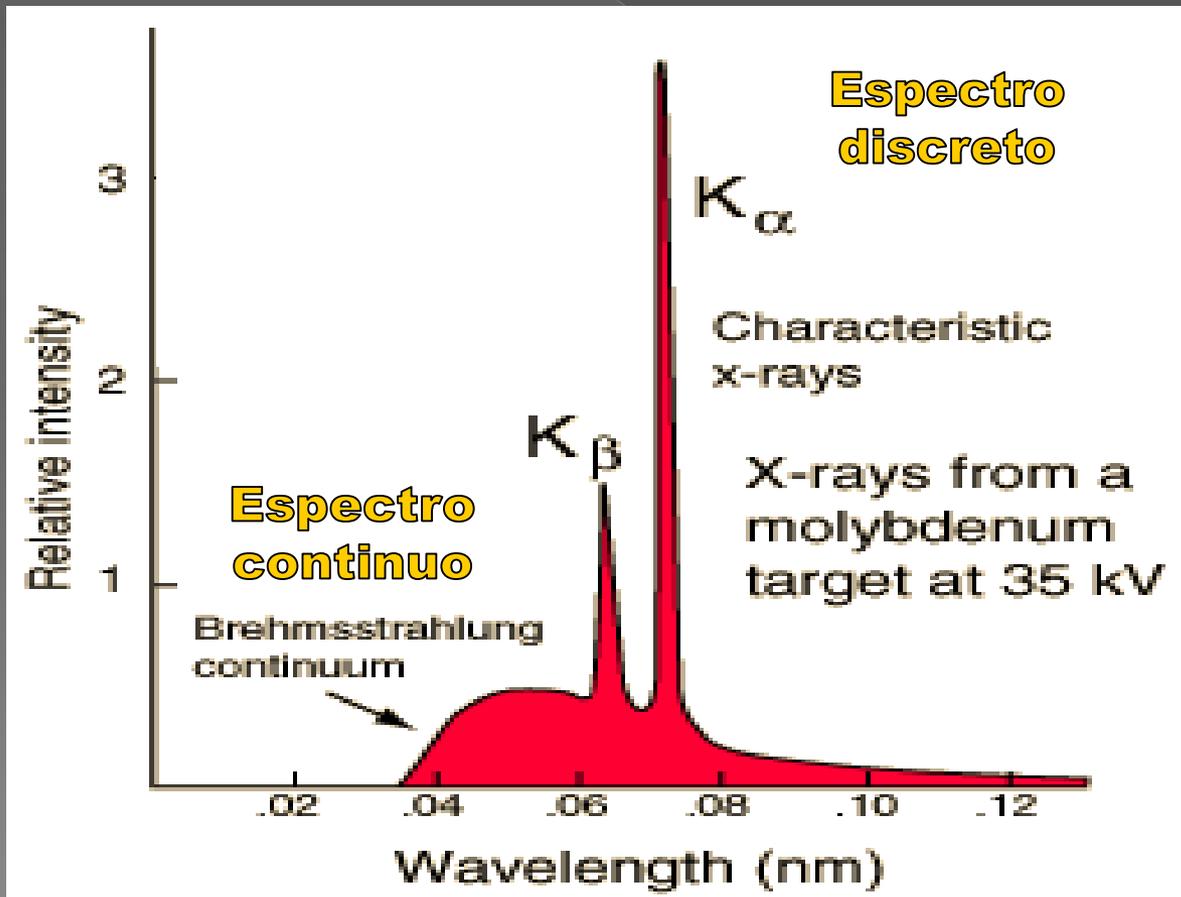
X-ray Continuum Radiation  
(Bremsstrahlung)



Características:

- Se generan por frenamiento ante el campo electromagnético del núcleo del W (ánodo)
- Mayor voltaje, mayor energía (intensidad relativa)
- Mayor voltaje, menor  $\lambda$
- Dan un espectro **continuo** de frecuencias

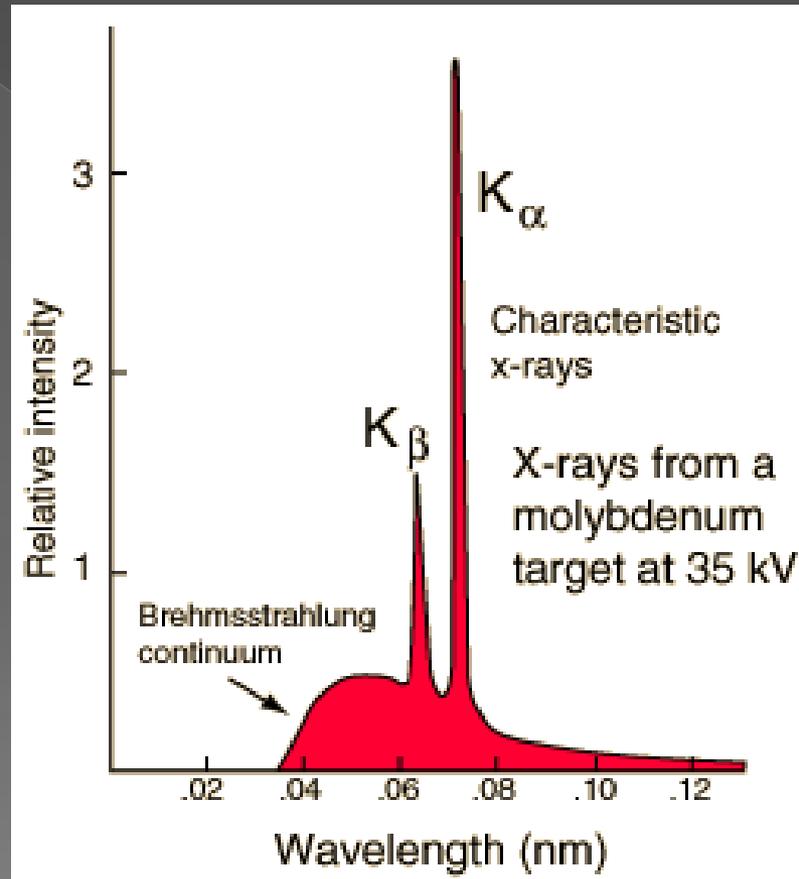
# Rayos X característicos



Características:

- Se forman por choque del electrón del cátodo contra electrón de átomos anódicos (W). Se produce la transición a un nivel superior y al estabilizarse, disipa un fotón X.
- Muestra un espectro **discreto** ( $K_{\beta}$ ;  $K_{\alpha}$ )
- Tiene  $\lambda$  definida
- Poseen alta E o intensidad relativa

# ESPECTRO CARACTERISTICO

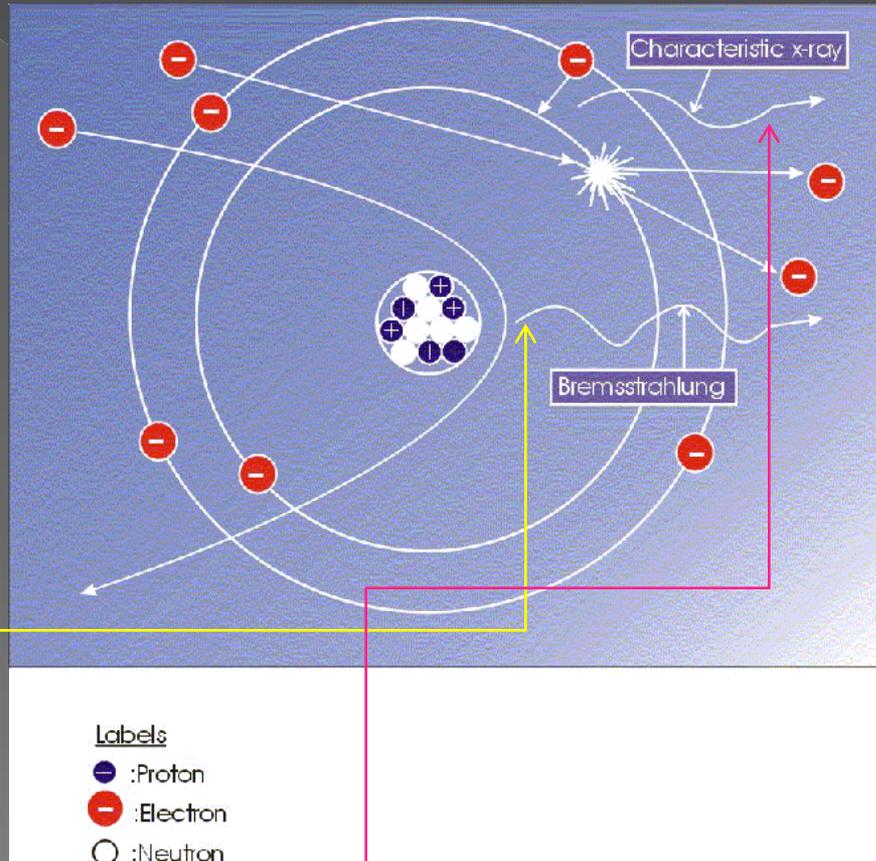


<sup>0</sup>  
Å

Molibdeno	0,71
Cobre	1,54
Cobalto	1,79
Hierro	1,93
Cromo	2,2

Radiación característica según el material del ánodo

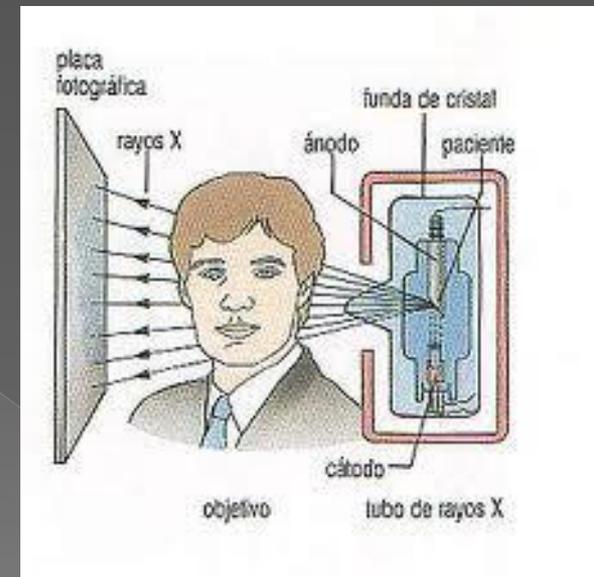
# Esquema de generación de Rayos X generales y característicos



1% de la E se propaga como fotòn X  
99% de la E disipa como calor

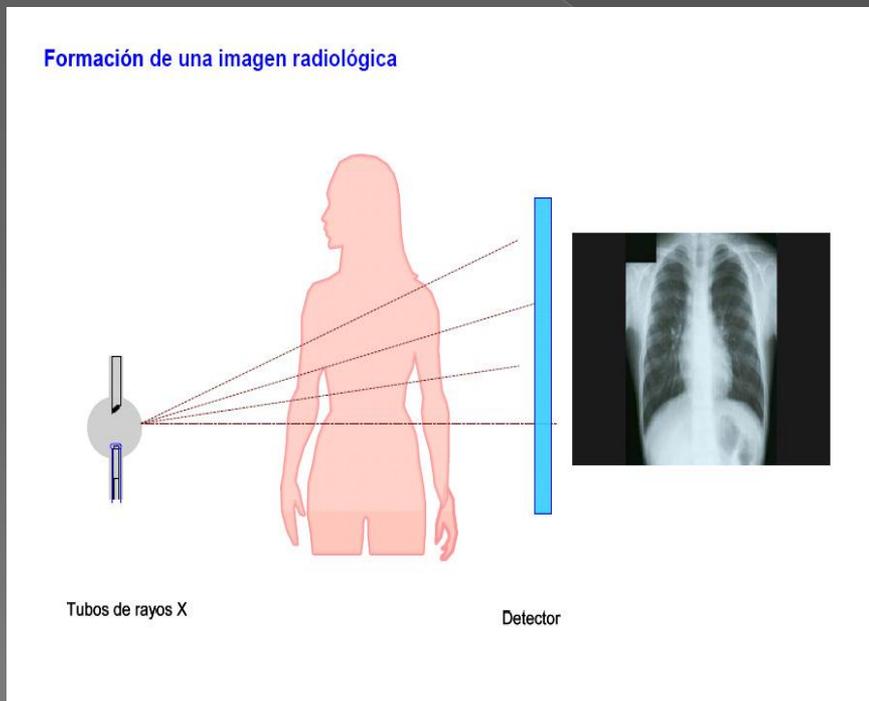
Rayo X general  
Rayo X característico  $K\beta$  y  $K\alpha$

# Equipos de Rayos X de uso Odontológico



# Aplicaciones médicas de los Rayos X

- Radiología convencional
- Mamografía
- Densitometría ósea
- Radiología dental
- Radiología intervencionista: fluoroscopia, angiología y equipos endoquirúrgicos
- Tomografía Computarizada



# La Radiografía

Principios físicos:

- Absorción de los Rayos X por los tejidos

Ecuación de Bragg-Oierce:  $Absorción = Z^4 \cdot \lambda^3 \cdot k$   
k un factor dependiente del material (inerte)

- Atenuación de los Rayos X por los tejidos

Depende del Coeficiente de Atenuación Lineal de los tejidos

- Dispersión de los Rayos X

Dependiente del espesor de los tejidos y materiales

- Transmisión de los Rayos X a través de los tejidos
- Interacción de los Rayos X con los tejidos

# La radiografía: placa radiográfica

La película está recubierta por sus dos caras por una emulsión o gelatina donde existen cristales de plata



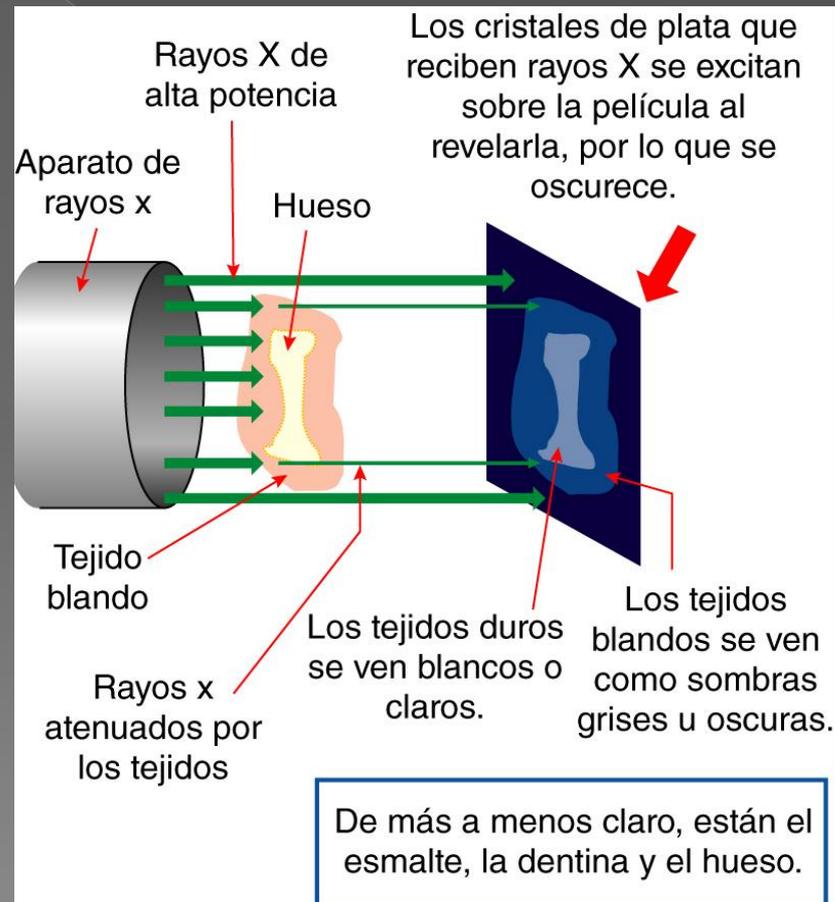
La película está fabricada con acetato de celulosa, que es un soporte transparente



Rayos X "sensibiliza" el Haluro de Plata y el revelado completa la reducción del catión Plata a Plata metálico

Sensibilización → Reducción por revelado → Frenado de reacción → Fijado → Lavado y secado

# Como se forma la imagen radiologica



# Clasificación radiológica de tejidos o medios

Según la capacidad de ABSORCIÓN de Rayos X, los tejidos o medios irradiados con Rayos X, se clasifican:

Tejido Radiopaco	→	Imagen blanca
Tejido Radiolúcido	→	Imagen gris
Tejido radiotransparente	→	Imagen negra

**MAYOR DENSIDAD, MAYOR RADIOABSORCIÓN**

# Densidades relativas de tejidos duros dentarios

- Hueso esponjoso: 1, 15
- Hueso compacto: 1, 85
- Cemento dental: 2, 00
- Dentina: 2, 10
- Esmalte dental: 2, 95

MAYOR ESPESOR → MAYOR ABSORCIÓN → MAYOR DISPERSIÓN

# Radiografia periapical



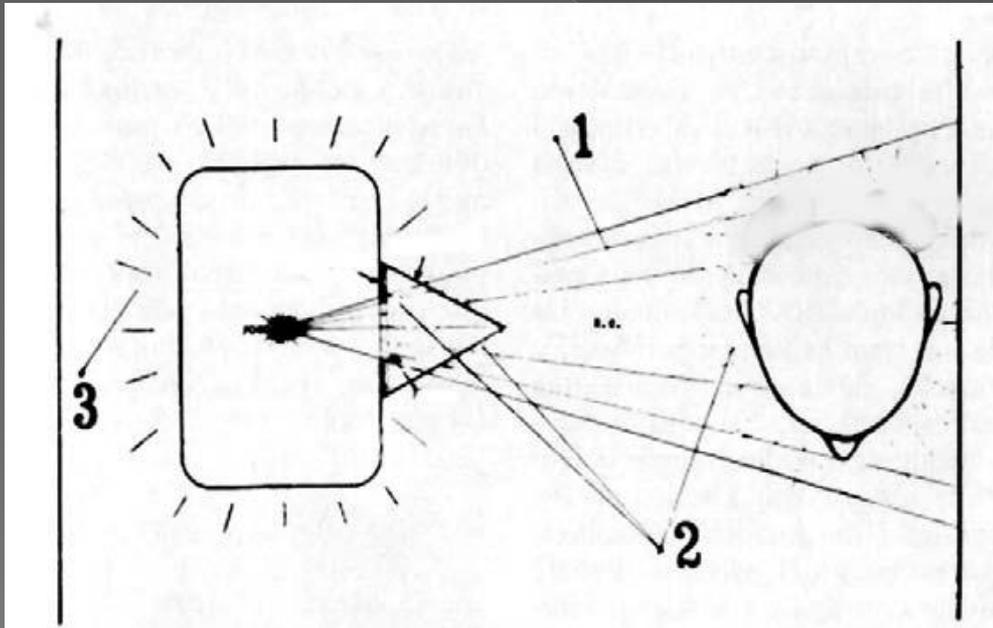
# Radiografia interproximal



# Radiografia panoramica



# Interacción de Rayos X con los tejidos

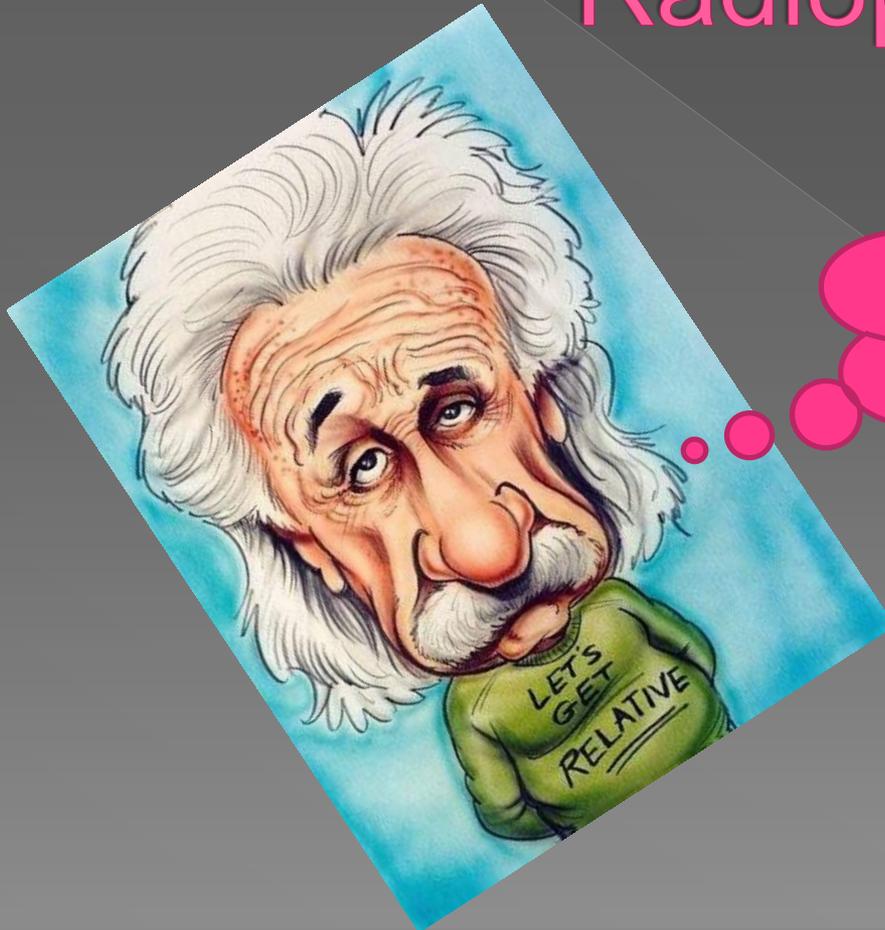


HAZ PRIMARIO (1)

HAZ SECUNDARIO (2)

RADIACIÓN DE REBOTE (3)

# Riodosimetría y Radioprotección



Lo estudiaremos  
en  
Radioactividad!