



# MODULO I

---

## INTERPRETACIONES RADIOGRÁFICAS

### TECNICATURA EN PODOLOGÍA

## INDICE

Modelo de Bohr	3
El neutrón	3
Modelo de Rutherford-Bohr	3
Número atómico	3
Número de masa	4
Principio de incertidumbre	4
Orbital atómico	4
Los rayos X	4
Condiciones para la producción de rayos X	5
Mecanismos de producción de rayos X	5
Radiación dispersa	6
Interacción entre radiación X y materia	6
Radiación de vástago	6
Tubo de rayos catódicos	7
Componentes de un tubo de rayos X	7
Calota de rayos X	9
Protección integral contra alta tensión	9
Ventanilla de salida del tubo	9
Rendimiento del tubo	10

# MODULO I

## Fundamentos de física y el tubo de rayos X

### Modelo de Bohr

Los principales postulados de Bohr se pueden expresar así:

- Los electrones no poseen cualquier cantidad de energía sino valores determinados.
- Los electrones sólo pueden girar alrededor del núcleo positivo en determinadas orbitas circulares, denominadas niveles o estados de energía.
- Mientras los electrones se encuentran en dichos niveles no emiten energía; por lo cual se denominan niveles o estados estacionarios.
- Cuando un electrón gira en el orbital más próximo al núcleo se encuentra en su estado más estable.
- Cuando el electrón salta de un nivel a otro inferior pierde un cuanto de energía, emitiendo una radiación luminosa característica. Por el contrario, cuando salta a un nivel superior absorbe un cuanto de energía que recibe del exterior.
- Los electrones sólo pueden variar de energía pasando de un nivel a otro en forma brusca e instantánea y no por una transición gradual.

### El neutrón

En 1920, Rutherford supuso que en el núcleo atómico, además de protones, existía otra partícula sin carga eléctrica que por esta causa era difícil de descubrir.

Esto es confirmado por James Chadwick, en 1932, al comprobar la existencia de una partícula nuclear eléctricamente neutra y con una masa aproximadamente igual a la del protón, que fue denominada neutrón.

El neutrón tiene una masa de  $1,6748 \cdot 10^{-24}$  gramos (1,00866 u.m.a.) y su carga eléctrica es nula.

### Modelo de Rutherford-Bohr

- El átomo esta compuesto por protones, neutrones y electrones.
- El átomo consta de un núcleo formado por protones y neutrones.
- El núcleo tiene carga positiva porque los protones son positivos y los neutrones carecen de carga.
- En la zona extranuclear, también llamada corteza, se encuentran los electrones cuya masa es casi despreciable.
- Los electrones se ubican a diferentes distancias del núcleo en determinados niveles de energía. Cada uno de estos niveles sólo admite un cierto número de electrones.
- La cantidad de protones positivos es igual a la cantidad de electrones negativos, de modo que el átomo en su conjunto es eléctricamente neutro.

### Número atómico

Los átomos de cada elemento presentan un determinado número de protones en su núcleo, número que le es propio y distintivo. Así, los átomos de hidrogeno tiene un protón; los de oxigeno, ocho; los de carbono, seis; los de hierro, veintiséis, etc. Ese número que sirve para identificarlos se denomina número atómico y se representa con la letra Z.

## Número de masa

La masa de un átomo esta concentrada en el núcleo formado por protones y neutrones, porque la masa de los electrones es tan pequeña que puede no tenerse en cuenta.

Por eso, la suma de protones y neutrones de un átomo se denomina número de masa o número másico y se representa con la letra A.

## Principio de incertidumbre y probabilidad

Cuando se ilumina un cuerpo en movimiento, como sucede al tomarle una fotografía, se hace incidir sobre dicho cuerpo una radiación dotada de energía. Si el objeto es de un tamaño considerable, la radiación no modifica su velocidad ni su posición. Pero, si se tratara de una partícula muy pequeña, cuya energía es equivalente a la de los fotones de la luz, la velocidad de esa partícula será modificada en el momento en que se produce el choque.

Es imposible conocer con certeza en forma simultánea la velocidad y la posición de una partícula en movimiento.

## Orbital atómico

El concepto de orbital es abstracto, es una función de ondas de la cual deriva una ecuación de probabilidades. Sin embargo, es útil lograr una representación física que sea lo más fiel al modelo matemático.

Los orbitales de los subniveles **p** no presentan simetría esférica. La probabilidad de encontrar al electrón no solo depende de la distancia al núcleo, sino también de la dirección que se sigue. De acuerdo con el calculo de probabilidades, se considera que un orbital **p** esta formado por dos esferas difusas a ambos lados del núcleo. En cada subnivel **p** hay tres orbitales **p** que suelen llamarse **p<sub>x</sub>** , **p<sub>y</sub>** y **p<sub>z</sub>** los cuales son perpendiculares entre sí y se hallan orientados hacia los tres ejes x, y, z de un sistema cuyo origen esta en el núcleo.

Los subniveles **d** constan de cinco orbitales y los subniveles **f** de siete.

Tener en cuenta que el orbital atómico es la zona alrededor del núcleo donde existe la mayor probabilidad de encontrar al electrón.

## Los rayos X

El 8 de noviembre de 1895 se descubrió el efecto más importante de los rayos catódicos de la mano de Guillermo Conrado Roentgen: la producción de rayos X. Roentgen, era profesor de física de la Universidad de Wurzburg, Alemania, quien en esa época tenía 50 años de edad.

## Naturaleza de los rayo X

Los rayos X están formados por radiaciones que son de naturaleza electromagnética como cuántica.

Las ondas electromagnéticas son oscilaciones ondulatorias de una carga eléctrica. Como toda onda electromagnética los rayos X se propagan con la velocidad de la luz, es decir, a razón de 300.000 km/s.

Según la teoría de Max Planck, las ondas electromagnéticas se propagarían también por pulsaciones separadas de energía, por fotones o cuantos de energía.

## Producción de rayos X

Si la diferencia de potencial entre los extremos de un tubo de descargas en el vacío alcanza valores suficientemente elevados (centenas de miles de volts), los electrones, acelerados por un campo eléctrico, adquieren velocidades enormes, y por consiguiente,

una gran energía. Al chocar con el ánodo (electrodo +), cada electrón pierde esa energía, que es emitida en forma de energía radiante: rayos X.

### **Condiciones para la producción de rayos X**

Se necesitan los siguientes dispositivos para producir rayos X:

- 1- Una fuente productora de electrones.
- 2- Fuente de alto voltaje
- 3- Un vacío
- 4- Un blanco o foco

#### **1- Producción de electrones**

Un metal llevado a la incandescencia emite electrones. Este fenómeno se produce, sobre todo, cuando el metal, en estado de incandescencia, se encuentra en un ambiente al vacío. Por tal motivo los tubos de rayos X poseen un electrodo constituido por un filamento de tungsteno de alto peso atómico, que llevado a la incandescencia a través de una corriente de calefacción libera electrones.

#### **2- Fuente de alto voltaje**

Sí se aplica entre los electrodos de un tubo de rayos catódicos una diferencia de potencial los electrones previamente separados del filamento catódico (efecto Edison) son trasladados a alta velocidad de un electrodo al otro (cátodo / ánodo).

#### **3- Vacío**

Condición necesaria para que los electrones acelerados entre los electrodos del tubo no interactúen con átomos de gas. También se logra evitar la oxidación del filamento catódico.

#### **4- Blanco**

Es el lugar del ánodo donde serán frenados los electrones animados de energía cinética que fueron liberados en el electrodo opuesto.

### **Mecanismos de producción de rayos X**

Se producen tres mecanismos consecutivos al chocar contra el ánodo el haz de electrones que fueron acelerados en el vacío.

*Choque nuclear:* Cierta cantidad de electrones logra impactar en el núcleo de los átomos de tungsteno. La energía cinética se transforma en rayos X.

*Radiación por freno:* Cuando los electrones impactan contra el blanco anódico, animados de alta velocidad, son frenados en forma brusca al acercarse a los átomos de tungsteno, esta pérdida de energía cinética por desaceleración se transforma en rayos X.

*Radiación característica:* Gracias a la energía cinética que trae el electrón, puede chocar con un electrón de una órbita interna de un átomo de tungsteno, expulsándolo de su órbita natural. El átomo que ha sido expulsado se vuelve inestable. Se encuentra en estado de excitación. El espacio que dejó es llenado rápidamente por otro electrón del mismo átomo que proviene de una órbita de mayor nivel energético. La expulsión se acompaña de transferencia de energía, la misma energía es liberada en forma de radiación X.

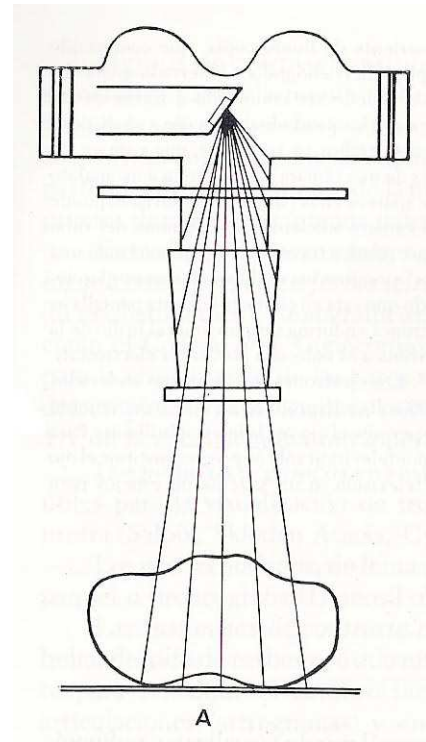
## Radiación dispersa

Conocida también como radiación secundaria, es aquella que sufre un cambio en su dirección después del choque de la radiación X primaria con los átomos de la materia a traspasar. Debe tenerse en cuenta que la generación de radiación secundaria se acompaña del fenómeno de absorción de radiación X.

## Interacción entre radiación X y materia

Se divide en cuatro tipos de mecanismos

- A- *Dispersión no modificada*: Cuando un fotón penetra en un átomo y choca contra un electrón no hay pérdida de energía cuántica, sino solamente un cambio de dirección del cuanto de energía emergente. La longitud de onda del cuanto de energía incidente y del emergente o disperso es el mismo.
- B- *Radiación característica*: El salto electrónico o transferencia de un electrón a una orbita interna, se acompaña de emisión de un fotón designado como radiación característica.
- C- *Efecto Compton*: Si un fotón choca con un electrón orbital, expulsara al electrón y seguirá luego su trayectoria con una dirección desviada. El electrón expulsado se lo denomina electrón Compton o de rebote.
- D- *Formación de pares iónicos*: Si un cuanto de energía, es frenado bruscamente en el campo nuclear de un átomo pesado, puede desaparecer formándose, en su lugar, dos partículas corpusculares que siguen su trayecto en dos direcciones distintas.



A - Representación del cono de radiación primaria y la interacción con la materia

## Radiación de vástago

En los tubos de ánodo fijo suelen aparecer, durante su funcionamiento un nuevo tipo de radiaciones parásitas, las radiaciones de vástago. Como consecuencia de la carga de espacio, un determinado número de electrones del haz catódico es desviado de su trayecto normal. Estos electrones desviados pueden incidir sobre partes distintas de la superficie anódica.

Así se originan radiaciones secundarias que siguen un trayecto en arco. Chocan contra las paredes de vidrio del tubo; estos electrones secundarios son rechazados por la carga negativa de las paredes y, prosiguiendo su trayectoria en arco, impactan sobre el soporte anódico o vástago dando origen a rayos X blandos.

Como estas radiaciones de vástago pueden integrar hasta el 18% de la radiación primaria que emerge del tubo, empeoran, como toda radiación dispersa la calidad de la imagen radiográfica.

## Tubo de Rayos Catódicos

Una mejora muy importante en los tubos de rayos X fue introducida en 1913 por William Coolidge, investigador de la General Electric Co. Hasta entonces los tubos eran de tipo

Croques, y presentaban el inconveniente de ser irregulares en su comportamiento. Coolidge, que por primera vez había logrado hacer filamentos de tungsteno para aplicarlos en las lámparas de incandescencia, fabrico un tubo de rayos X cuyo cátodo es un filamento de tungsteno por el cual se hace pasar una corriente eléctrica; en esas condiciones, el cátodo se pone incandescente y emite electrones que, acelerados por un campo eléctrico, producen los rayos X al chocar contra el ánodo.

### **Algunas propiedades**

- 1- Todas las sustancias, en mayor o menor grado, son transparentes para los RX.
- 2- Cuanto mayor es la diferencia de potencial aplicada al tubo, tanto mayor es el poder de penetración de los rayos X.
- 3- Las placas fotográficas son sensibles a los rayo X.
- 4- Los rayos X no son desviados por campos eléctricos ni magnéticos.
- 5- Si un cuerpo eléctricamente cargado es iluminado con rayos X, se descarga.
- 6- Para iguales espesores de sustancia, el poder penetrante es tanto mayor cuanto menor densa es la sustancia.

### **Componentes de un tubo de rayos X**

**Ampolla:** Los elementos integrantes de un tubo generador de rayos X están contenidos en un bulbo de vidrio herméticamente sellado al vacío y de forma generalmente cilíndrica. A su vez, este bulbo cilíndrico está contenido en un recipiente que lo rodea, la calota.

**El filamento catódico:** Es el tungsteno que se ubica en el lugar (74) entre los elementos de la corteza terrestre. No se lo encuentra en estado puro en la naturaleza, pero aparece combinado con otros metales, de los cuales se destacan en especial la scheelita y la wolframita, las menas más importantes del volframio.

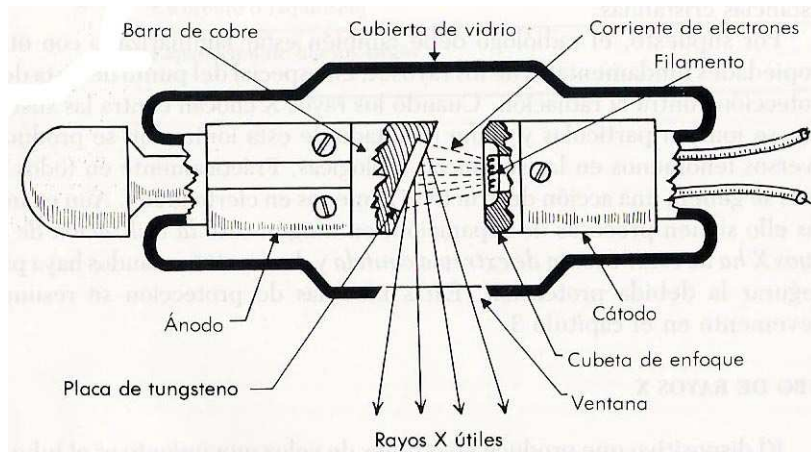
Entre los principales usos del volframio se destacan los múltiples usos tanto para formar los filamentos de las lámparas incandescentes, los alambres de hornos eléctricos y la producción de aleaciones de acero duras y resistentes. También son empleados en la fabricación de componentes automotrices como bujías, contactos para encendido, etc.

Es importante señalar que este componente es de peso atómico elevado por esa razón logra altos grados de incandescencia cuando es surcado por una corriente eléctrica. Cuando el filamento es puesto en incandescencia se produce una liberación de electrones proporcional al grado de calentamiento, que depende de la corriente entre los electrodos de un tubo de rayos X. Este proceso para desencadenar la producción de electrones es conocido con el nombre de emisión termoiónica o bajo el nombre de efecto Edison anteriormente nombrado.

Recuerde que el filamento de volframio debe ser llevado a 2000° de temperatura para lograr la separación de electrones.

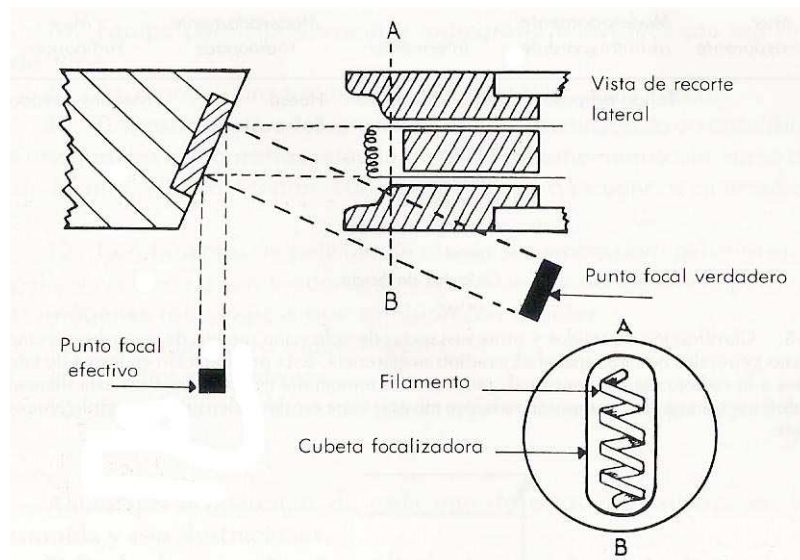
**Ánodo:** En la actualidad se emplean dos tipos de ánodos: *fijo* y *giratorio*

**Ánodo fijo:** Está situado frente del filamento catódico. Están separados ambos sólo por unos pocos centímetros. Esta formado por un vástago de cobre en cuyo extremo se encuentra incrustada una placa delgada de tungsteno, el foco anódico o blanco.



Se emplea el tungsteno por su elevado punto de fusión, cerca de  $3380^{\circ}\text{C}$ . Está colocado de tal manera que recibe el impacto de los electrodos provenientes del filamento catódico. Recuerde que el 99,8% de la energía cinética de los electrones, que hacen impacto a nivel del ánodo, se convierten en calor.

Por otra parte, se ha elegido, como metal para el vástago o soporte del foco anódico al cobre que es mejor conductor del calor que el tungsteno, lo que asegura una derivación más rápida y adecuada del calor, protegiendo así al foco de tungsteno de un excesivo calentamiento.



**Ánodo giratorio:** Para asociar las ventajas de una tolerancia térmica mayor con un foco anódico pequeño, se ha ideado el tubo de ánodo giratorio.

El ánodo consiste en un disco de tungsteno de unos 7 a 8 cm. de diámetro con el borde inclinado en bisel con el fin de satisfacer el principio de foco lineal de Goetze.

El filamento catódico está colocado enfrente, es decir, de tal manera que el haz electrónico incide sobre el ánodo, es decir sobre la superficie, inclinada en bisel, que viene a representar el foco anódico real sobre el cual se produce el impacto de los electrones provenientes del filamento catódico.

Un inductor, que se encuentra fuera del tubo, hace girar, por medio de un stator, el vástago en cuyo extremo está colocado el disco anódico.

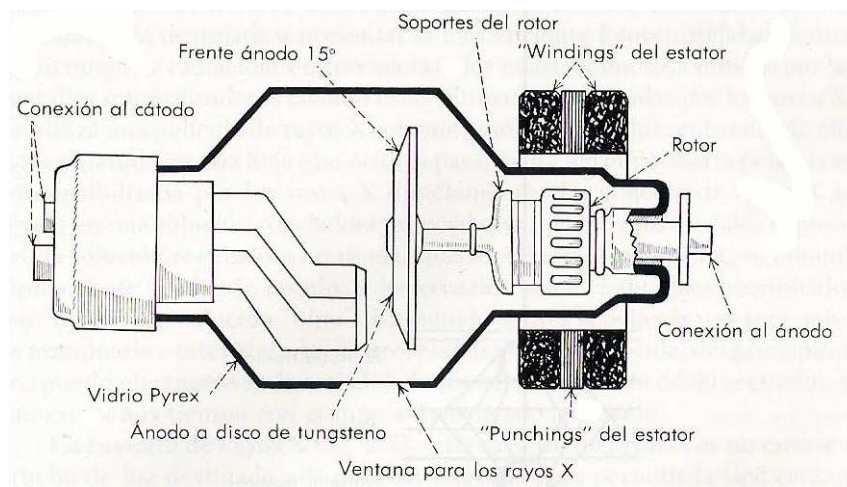
Este disco anódico gira durante la exposición radiográfica y así va ofreciendo constantemente una nueva superficie de impacto al haz electrónico.



De esta manera el impacto electrónico no se concentra en un solo punto como en el caso del ánodo fijo. Así la su superficie anódica tiene la posibilidad de enfriarse y puede ser cargado en proporción mucho mayor de lo que, a igualdad de superficie anódica lo permitiría un ánodo fijo ya que la carga térmica se distribuye sobre una superficie mucho mayor.

Los tubos comunes a ánodo giratorio tienen 2800 a 3000 rotaciones por minuto. Actualmente ya, se construyen tubos a ánodo giratorio con 8500 rotaciones por minuto. Con los tubos de ánodo giratorio se puede emplear, por lo tanto, focos pequeños con mayor carga.

Con el tiempo, sobre todo como consecuencia de sobrecargas, la superficie anódica se deteriora. Aparecen, entonces, sobre la superficie anódica fisuras y grietas. Su consecuencia es la disminución del rendimiento del tubo.



Tubo de ánodo giratorio

### Calota de tubo de rayos X

Todos los elementos integrantes del tubo se encuentran en el interior de una ampolla de vidrio, recubierta por un dispositivo de material aislante blindado, la calota, que deja sólo una reducida abertura, la ventanilla para el paso del haz primario de rayos X.

Estas calotas aseguran:

- 1- Mecanismos de enfriamiento del tubo.
- 2- Protección integral contra alta tensión.
- 3- Protección contra exposición a las radiaciones.

Como consecuencia del calentamiento del filamento catódico, por el bombardeo electrónico del ánodo y la fricción por rotación del ánodo, hay aumento de temperatura en el interior del tubo durante el funcionamiento del mismo.

La derivación del calor del interior del tubo de rayos X se resuelve aplicando métodos de refrigeración por radiación y conducción. El enfriamiento puede lograrse con aire, agua o aceite. Existen dos métodos de refrigeración por agua. Uno de ellos consiste en el método del agua circulante; en este caso el agua circula por una serpentina en el interior del vástago anódico que es hueco.

El método del termo-sifón se basa en el principio de la compensación de temperatura.

El aceite es el mejor de los refrigeradores; al mismo tiempo actúa como aislante. Debe tratarse de aceite puro ya que, si tiene impurezas, es un mal aislante.

### **Protección integral contra alta tensión**

Con el fin de aislar las calotas que son de material metálico, se emplean revestimientos internos de porcelana o capas de aceite refinado.

### **Protección contra exposición a las radiaciones**

Los rayos X que se originan en el foco anódico se proyectan en todas direcciones. Desde el punto de vista diagnóstico solo interesa utilizar el haz de rayos útil que es el que parte del foco en dirección directa al objeto mientras que la radiación restante no debe abandonar el tubo teniendo en cuenta la nocividad de los rayos X para el organismo humano, y el hecho de que, por otra parte, empeora la calidad de la imagen radiográfica.

Actualmente los tubos de rayos X están rodeados totalmente por la calota menos la ventanilla por donde sale el haz útil. Por otra parte, la funda metálica está unida a tierra. Los tubos de rayos X están protegidos contra la alta tensión también los cables y el aparato mismo. Los cables están protegidos con una gruesa capa de caucho. Por otra parte, todos los elementos del aparato están conectados a tierra.

### **Ventanilla de salida del tubo**

De todas las radiaciones que se producen a nivel de foco anódico interesa, con fines biomédicos, el haz primario, la radiación directa. En cambio el resto de la radiación que se proyecta en distintas direcciones, debe suprimirse por que somete al paciente y operador al peligro de las radiaciones y porque solo contribuiría a empeorar la calidad de la radiografía.

Esta abertura suele estar cubierta por una delgada capa de aluminio o de cobre que tiene por finalidad filtrar los rayos X blandos.

El haz útil constituye un cono de rayos cuyo vértice se encuentra en el ánodo y cuya base cubre la placa radiográfica.

### **Rendimiento del tubo**

El grado de calentamiento depende de la intensidad de la energía que es aportada al foco, de la tolerancia térmica de este y del sistema de refrigeración del tubo.

A su vez, la tolerancia térmica del ánodo depende del material de que está compuesto el foco y del tamaño de este; se ha elegido como material del foco anódico el tungsteno que tolera hasta 3400° de temperatura y una carga de 200 vatios por mm<sup>2</sup> durante 1 segundo y de 300 vatios por mm<sup>2</sup> en 1/10 seg. En lo que respecta al tamaño del foco, cuanto mayor sea este, mayor es la carga que tolera.

Los ánodos giratorios toleran una carga térmica mucho mayor que los de ánodo fijo. Además, la capacidad de carga de los ánodos giratorios depende asimismo de la velocidad de rotación del ánodo; cuanto mayor es esta, mayor es la carga térmica que soporta.

La carga máxima permisible depende también del tipo de rectificación de la corriente alterna aportada al tubo. Los tubos con corriente continua pulsátil toleran menor carga que los tubos alimentados con corriente continua constante.

Ya se ha dicho que el grado de calentamiento depende de la intensidad de la energía aportada al foco anódico, fundamentalmente del mAs, Kv y del tiempo de exposición.