



INSTITUTO DE
FORMACIÓN
SUPERIOR

APUNTES DE CATEDRA

FUNDAMENTOS DE RADIOLOGÍA I

Contenido

PROGRAMA DE LA MATERIA	1
DESARROLLO DEL PROGRAMA	2
UNIDAD 1	2

PROGRAMA DE LA MATERIA

UNIDAD I: Historia de la Radiología, conceptos introductorios a la especialidad y tubo de rayos X

Historia de la Radiología médica. Wilhelm Conrad Roentgen. Divisiones de la radiología médica. Radiología diagnóstica o radiodiagnóstico. Radiología terapéutica o radioterapia. Diagnóstico por imágenes. Medicina nuclear, ecografía, tomografía axial computada y resonancia magnética. Conceptos introductorios. Algoritmo en imágenes. Profesionales del diagnóstico por imágenes. Código de ética del técnico radiólogo. Cátodo. Estructura composición tipos y función. Ánodo. Estructura composición tipos y función. Cabezal de rayos X y ampolla. Composición y Función. El tubo emisor de Rayos X. Funcionamiento. La calota.

UNIDAD II: Factores que influyen en la formación de la imagen. Manipulación y funcionamiento del equipamiento.

Consola de rayos x. Compuestos y funciones. Consola de rayos x. Compuestos y funciones. mA Circuito de baja tensión. Focos. Función y tipos. KV, circuito de alta tensión. Función y características. Tiempo de exposición, mAs. Concepto y función. Control de exposición automática (AEC). Concepto y función. Filtros. Utilidad y tipos. Mesas radiográficas, generador de rayos X, consola, transformadores, rectificadores. Principio del foco lineal. Efecto talón o efecto anódico. Rendimiento del tubo. Fallas y agotamiento y del tubo

UNIDAD III: Otros componentes físicos del servicio de Radiología

Receptores de imágenes usados en radiología. Chasis radiográficos. Estructura y función. Tipos de chasis. Conservación. Descripción. Test contacto pantalla - película. Concepto y función. Película radiográfica. Pantallas reforzadoras. Procesamiento de la película. Rejillas antidifusoras. Función. Composición. Clasificación. Potter – Bucky. Concepto y función. Organización del servicio. Negatoscopio. Garantía y control de calidad. Factores técnicos de exposición. Algunos principios radiográficos, Técnicas analógicas. Técnicas digitales. Radiología sanitaria.

UNIDAD IV: Instalaciones y organización del Servicio. Terminología

Cuarto oscuro. Descripción y función. Sala de trabajo. Descripción y función. Sala de espera. Descripción y función. Vestidores. Descripción y función. Baños. Descripción y función. Terminología radiográfica. Importancia del vocabulario técnico. Términos generales. Concepto y descripción. Posiciones corporales generales. Tipos y descripción. Terminología para definir proyecciones generales. Definición. Términos de relación. Tipos y clasificación. Términos del movimiento. Tipos y clasificación.

DESARROLLO DEL PROGRAMA

Aclaraciones importantes:

Más allá de los recursos que brindan los docentes y el Instituto (apuntes de cátedra, biblioteca digital, galería de imágenes, etc.) es MUY IMPORTANTE que los alumnos desarrollen el hábito de tomar apuntes durante la clase y que se puedan comprometer en la participación de todas las actividades pedagógicas propuestas para la fijación de contenidos. Éxitos!!!

UNIDAD 1

Los rayos X: unas ondas centenarias en el diagnóstico médico

La historia de los rayos X comienza con los experimentos del científico británico William Crookes, que investigó en el siglo XIX los efectos de ciertos gases al aplicarles descargas de energía. Estos experimentos se desarrollaban en un tubo vacío, y electrodos para generar corrientes de alto voltaje. Él lo llamó tubo de Crookes. Pues bien, este tubo, al estar cerca de placas fotográficas, generaba en las mismas algunas imágenes borrosas. Pese al descubrimiento, Crookes no continuó investigando este efecto. Es así como Nikola Tesla, en 1887, comenzó a estudiar este efecto creado por medio de los tubos de Crookes. Una de las consecuencias de su investigación fue advertir a la comunidad científica el peligro para los organismos biológicos que supone la exposición a estas radiaciones. Pero hasta el 8 de noviembre de 1895 no se descubrieron los rayos X; el físico Wilhelm Conrad Roentgen, realizó experimentos con los tubos de Hittorff-Crookes (o simplemente tubo de Crookes) y la bobina de Ruhmkorff. Analizaba los rayos catódicos para evitar la fluorescencia violeta que producían los rayos catódicos en las paredes de un vidrio del tubo. Para ello, crea un ambiente de oscuridad, y cubre el tubo con una funda de cartón negro. Al conectar su equipo por última vez, llegada la noche, se sorprendió al ver un débil resplandor amarillo-verdoso a lo lejos: sobre un banco próximo había un pequeño cartón con una solución de cristales de platino-cianuro de bario, en el que observó un oscurecimiento al apagar el tubo. Al encender de nuevo el tubo, el resplandor se producía nuevamente. Retiro más lejos la solución de cristales y comprobó que la fluorescencia se seguía produciendo, así repitió el experimento y determinó que los rayos creaban una radiación muy penetrante, pero invisible. Observó que los rayos atravesaban grandes capas de papel e incluso metales menos densos que el plomo.

En las siete semanas siguientes, estudió con gran rigor las características y propiedades de estos nuevos y desconocidos rayos. Pensó en fotografiar este fenómeno y entonces fue cuando hizo un nuevo descubrimiento: las placas fotográficas que tenía en su caja estaban veladas. Intuyó la acción de estos rayos sobre la emulsión fotográfica y se dedicó a comprobarlo. Colocó una caja de madera con unas pesas sobre una placa fotográfica y el resultado fue sorprendente. El rayo atravesaba la madera e impresionaba la imagen de las pesas en la fotografía. Hizo varios experimentos con objetos como una brújula y el canon de una escopeta. Para comprobar la distancia y el alcance de los rayos, pasó al cuarto de al lado, cerró la puerta y colocó una placa fotográfica. Obtuvo la imagen de la moldura, el gozne de la puerta e incluso los trazos de la pintura que la cubría. Un año después ninguna de sus investigaciones ha sido considerada como casual. El 22 de diciembre, un día memorable, se decide a practicar la primera prueba con humanos. Puesto que no podía manejar al mismo tiempo su carrito, la placa fotográfica de cristal y exponer su propia mano a los rayos, le pidió a su esposa que colocase la mano sobre la placa durante quince minutos. Al revelar la placa de cristal, apareció una imagen histórica en la ciencia. Los huesos de la mano de Berta, con el anillo flotando

sobre estos: la primera imagen radiográfica del cuerpo humano. **Así nace una rama de la Medicina: la Radiología.** El descubridor de estos tipos de rayos tuvo también la idea del nombre. Los llamo "rayos X" porque no sabía que eran, ni cómo eran provocados. Rayos desconocidos, un nombre que les da un sentido histórico. De ahí que muchos años después, pese a los descubrimientos sobre la naturaleza del fenómeno, se decidió que conservaran ese nombre.

La noticia del descubrimiento de los rayos "X" se divulgó con mucha rapidez en el mundo. Roentgen fue objeto de múltiples reconocimientos, el emperador Guillermo II de Alemania le concedió la Orden de la Corona, fue honrado con la medalla Rumford de la Real Sociedad de Londres en 1896, con la medalla Barnard de la Universidad de Columbia y con el premio Nobel de Física en 1901.

El descubrimiento de los rayos "X" fue el producto de la investigación - experimentación y no por accidente como algunos autores afirman; W.C. Roentgen, hombre de ciencia, agudo observador, investigaba los detalles más mínimos, examinaba las consecuencias de un acto quizás casual, y por eso tuvo éxito donde los demás fracasaron. Este genio no quiso patentar su descubrimiento cuando Thomas Alva Edison se lo propuso, manifestando que lo legaba para beneficio de la humanidad.

ALGUNOS HECHOS RELACIONADOS CON LOS FUNDAMENTOS FÍSICOS

- 1887 H. Hertz descubre el efecto fotoeléctrico que fue explicado años más tarde. Este consiste en la interacción de un fotón incidente con un electrón interno de un átomo.
- 1887-1892 N. Tesla descubre el fenómeno de frenada, que es la radiación producida por la desaceleración de un electrón incidente en las proximidades del núcleo de un átomo.
- 1895 W. C. Roentgen descubre los rayos X a partir de los experimentos para analizar los rayos catódicos. En reconocimiento, recibió el premio Nobel de Física el año 1901.
- 1897 J.J. Thomson anunció la existencia de partículas cargadas negativamente más pequeñas que el átomo de hidrógeno denominadas electrones. Por este motivo, fue recompensado con el premio Nobel de Física el año 1906.
- 1905 A. Einstein postula el comportamiento corpuscular de la luz, esto permitió interpretar el efecto fotoeléctrico. Esta teoría le proporcionó el premio Nobel de Física el Año 1921.
- 1912 M. von Laue perfecciona el método para medir la longitud de onda de los rayos X. Así demostró que estos eran de naturaleza análoga a la luz. Fue galardonado con el premio Nobel de Física el año 1914.
- 1913 W.D. Coolidge realizó el cátodo del tubo de rayos X y el ánodo de tungsteno que permitían altos voltajes. Este tubo representó la aportación más importante para los aparatos de rayos X.
- 1923 A. H. Compton descubre el efecto que se produce al interactuar un fotón incidente con un electrón periférico. Esto confirmó que la radiación electromagnética tiene propiedades tanto de onda como de partícula.

ALGUNOS HECHOS RELEVANTES RELACIONADOS CON LAS APLICACIONES MÉDICAS

- 1896 T. Edison se le atribuye el diseño y fabricación del primer fluoroscopio (aparato de rayos X que permitió observar los órganos internos en movimiento). Desarrollo pantallas fluorescentes de tungsteno.
- 1906 J. Bergonie y R. Tribondeau describen la ley de radiosensibilidad de los tejidos. Al estudiar los efectos de la radiación ionizante en ratones, llegaron a la conclusión que las células presentan diferente sensibilidad a la radiación en función de diferentes factores intrínsecos.
- 1914 Fundación del Instituto del Radio donde se estudiaron las aplicaciones de los rayos X y la radiactividad en diferentes campos y en Medicina. M. Curie es nombrada directora.
- 1914-1918 M. Curie primera profesional de la Física Médica. Participó en la solución de problemas relacionados con heridas y fracturas mediante el uso de la radiografía. También, propuso el uso de la radiografía móvil destinada a los soldados heridos en el frente.

- 1920 Se fundó el primer comité de protección de rayos X denominado: American Roentgen Ray Society. En 1922 esta sociedad adoptó las normas de protección de radiación.
- 1927 Egas Moniz desarrolla la Angiografía por contraste radiopaco para diagnosticar diferentes trastornos vasculares cerebrales.
- 1928 En el Congreso Internacional de Radiología de Estocolmo: 1) se adopta la unidad Roentgen (R) formalmente y 2) se constituye el Comité Internacional de Protección de rayos X y radio.
- 1946 H. J. Müller le conceden el premio Nobel de Fisiología y Medicina por el descubrimiento de producción de mutaciones mediante rayos X.
- 1951 C. Thompson define el concepto de Gamut (listado completo de las causas de un patrón o de un hallazgo radiológico concreto). A partir de este momento se organizaron registros de patología radiológica.
- 1963 J. Cameron y J. Sorenson describieron un nuevo método de medida de la densidad de masa ósea mediante absorciometría de fotón simple (SPA), que iría con los años evolucionando a la actual densitometría ósea.
- 1966 P. Strax, S. Shapiro y L. Venet evaluaron el uso de la mamografía como técnica de cribado en el cáncer de mama.
- 1967 A.M. Cormack publica los primeros trabajos sobre la Tomografía Computarizada (TC).
- 1969 G. M. Hounsfield dirige el equipo que consiguió el primer prototipo aplicable de TC. Por sus trabajos y el desarrollo de la TC, Cormack y Hounsfield comparten el premio Nobel de Fisiología y Medicina el año 1979.
- 1984 F. Mouyens inventó el primer sistema de radiología con imagen digital directa.

Principios físicos de los diferentes medios de diagnóstico por imágenes

* **RADIOLOGÍA:** utiliza Rx y se basa en la opacidad que producen estos rayos al atravesar diferentes tejidos. Cada tejido posee diferentes grados de atenuación a los rayos X. Este tipo de radiación produce luminiscencia sobre las pantallas reforzadoras. Esta luminiscencia provoca el reordenamiento de los halogenuros de plata presentes en la placa radiográfica que luego de ser revelada nos brinda una imagen en 2D.

* **ECOGRAFÍA:** utiliza el ultrasonido y se basa en el procesamiento de los ecos reflejados por las estructuras corporales, gracias a la acción de pulsos de ondas ultrasónicas.

* **T.A.C.:** utiliza Rx, se basa en el estudio de las diferentes densidades de tejido cuando son atravesados por rayos X, a diferencia de la Radiología convencional, en la TAC estos rayos son captados por detectores computarizados que digitalizan la señal y la transforman en una imagen de la estructura estudiada. Estas imágenes se imprimen en una placa con monoemulsión a través de un periférico especial.

R.M.N.: es un método diagnóstico que utiliza ondas de radio frecuencia y campos magnéticos (magnetismo), se basa en las propiedades mecánico-cuánticas de los núcleos atómicos, fundamentalmente los núcleos de hidrógenos presentes en la molécula de agua. La RMN también se refiere a la familia de métodos científicos que explotan este fenómeno para estudiar moléculas (espectroscopia de RMN), macromoléculas (RMN biomolecular), así como tejidos y organismos completos (imagen por resonancia magnética).

La resonancia magnética hace uso de las propiedades de resonancia aplicando radiofrecuencias a los átomos o dipolos entre los campos alineados de la muestra, y permite estudiar la información estructural o química de una muestra. La RM se utiliza también en el campo de la investigación de ordenadores cuánticos. Sus aplicaciones más frecuentes se encuentran ligadas al campo de la medicina, la bioquímica y la química orgánica. Es común denominar "resonancia magnética" al aparato que obtiene imágenes por resonancia

magnética (MRI, por las siglas en inglés de "Magnetic Resonance Imaging"). Las imágenes obtenidas de procesan e imprimen de manera similar al de la TAC.

MEDICINA NUCLEAR: es un método diagnóstico que utiliza radiación gamma emitida por ciertos isótopos radiactivos, se basa en la desintegración nuclear de ciertos átomos inestables (isótopos). Estos átomos inestables se combinan con moléculas no radiactivas que se metabolizarán en el órgano o estructura que deseo estudiar emitiendo radiación gamma, esta radiación es captada por una cámara gamma (por el cristal de INa generalmente) la cual transformará esa radiación en un impulso eléctrico. Este impulso eléctrico se enviará a una computadora que lo procesará y lo transformará en una imagen médica digital para su posterior procesamiento.

Temas: Algoritmo en imágenes, código de ética del técnico radiólogo, divisiones de la radiología y profesionales del diagnóstico por imágenes. Lectura obligatoria: **UBALDO TENTONI "Bases de Radiofísica"**

EL TUBO DE RAYOS X

El tubo de rayos X es el lugar en donde se generan los rayos X, en base a un procedimiento mediante el cual se aceleran unos electrones en primer lugar, para después frenarlos bruscamente. De esta forma se obtienen los fotones que constituyen la radiación ionizante utilizada en radiodiagnóstico. Para ello, dicho tubo consta de un filamento metálico (cátodo) que, al ponerse incandescente, produce una nube de electrones a su alrededor -efecto termoiónico-. Estos electrones son acelerados mediante una elevada diferencia de potencial (kV), y se les lleva a chocar contra el ánodo, en donde son frenados liberando su energía cinética como fotones que constituyen los rayos X utilizados en clínica.

En la figura 5.1. Pueden verse los elementos básicos que componen el tubo: el filamento (3) situado en el interior del cátodo (4), que está enfrentados del ánodo (2). En el centro de esta estructura tenemos el blanco de wolframio (5) sobre el cual inciden los electrones.

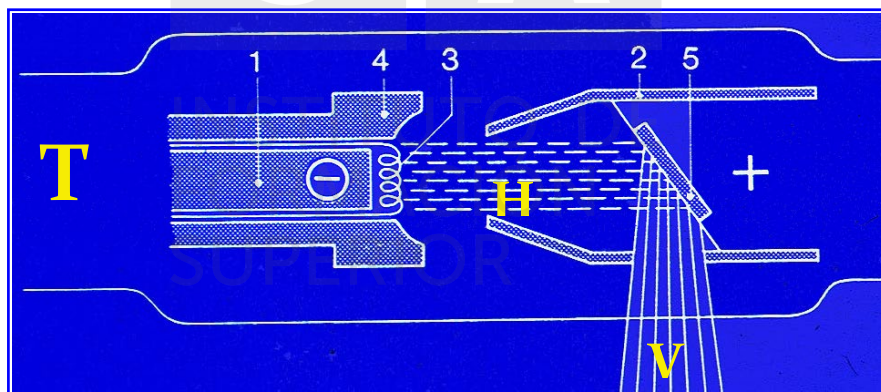


Fig. 5.1. Esquema del tubo de Rayos X:1. Circuito de baja tensión;2. Situación del ánodo; 3. Filamento del cátodo;4. Lado del cátodo;5. Anodo

Todos los elementos descritos están en el interior de un "tubo" (T) de vidrio en donde se ha hecho el vacío para facilitar que el desplazamiento de los electrones sea lo más rectilíneo posible. El haz útil de rayos X sale en la dirección mostrada en la figura atravesando una región del tubo (V), en la que el espesor del vidrio es menor que en el resto, es la denominada ventana de rayos X. Rodeando esta estructura se encuentra una

carcasa de plomo y acero. Entre ella y el tubo es necesaria la existencia de un sistema de refrigeración, con el fin de disipar el calor que se produce al chocar los electrones contra el ánodo: de la energía empleada en la producción de rayos X el 99% se convertirá en calor y sólo el 1% en rayos X.

Desde que Coolidge en 1913 describió el tubo de rayos X de filamento caliente prácticamente ha permanecido sin modificaciones. La más importante es la incorporación del ánodo giratorio frente al ánodo fijo, lo que ha aumentado significativamente la vida útil del tubo de rayos X. En las figuras 5.2.y se pueden apreciar los dos tipos de tubos de rayos X, con ánodo giratorio y ánodo fijo, respectivamente. En radiodiagnóstico, todos los tubos de rayos X empleados en la actualidad son de ánodo giratorio.



Fig. 5.2. Tubo de ánodo giratorio



Fig. 5.3. Tubo de ánodo fijo.

El cátodo de un tubo de rayos x.

El filamento o cátodo suele ser una pequeña bobina o muelle de wolframio, material elegido por sus buenas propiedades desde el punto de vista de emisión termoiónica (Efecto Edison), y punto de fusión elevado. Estas propiedades alargan la vida útil del tubo. El electrón producido es preciso que choquen con el ánodo en el menor espacio posible, razón por la cual se concentra el haz de electrones en el zócalo o funda de copa metálica. En la figura se puede apreciar el zócalo presente en los tubos de ánodo giratorio, en cuyo fondo se ubica el filamento; mientras que en la figura 5.5. se observa la disposición del filamento en el tubo de rayos X de ánodo fijo. Cuanto mayor incandescencia se produzca en el cátodo o filamento del tubo, mayor será el número de electrones que saltarán de las últimas capas electrónicas del átomo de wolframio al espacio circundante (emisión termoiónica), y mayor será el número de electrones dispuestos a ser acelerados. Este mecanismo se regula con el miliamperaje del aparato.

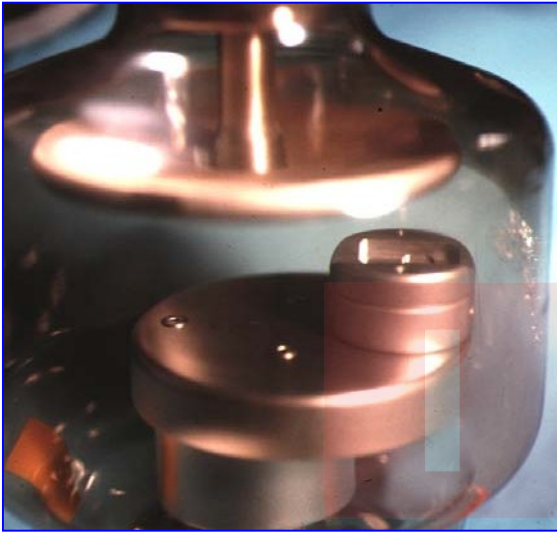


Fig. 5.4. Zócalo del ánodo giratorio



Fig. 5.5. Filamento en el ánodo fijo.

La mayoría de los tubos de diagnóstico suelen tener dos filamentos de diferente tamaño (figura 5.6.). Esto permite trabajar buscando un compromiso entre el tamaño mínimo del foco -mejor resolución-, y una mayor disipación de potencia -tiempo de disparo menor-. Existen distintas formas de encapsular ambos filamentos, aunque en todos los casos la selección se realiza con facilidad desde el exterior.



Fig.5.6. Presencia de dos filamentos en un tubo de rayos X.

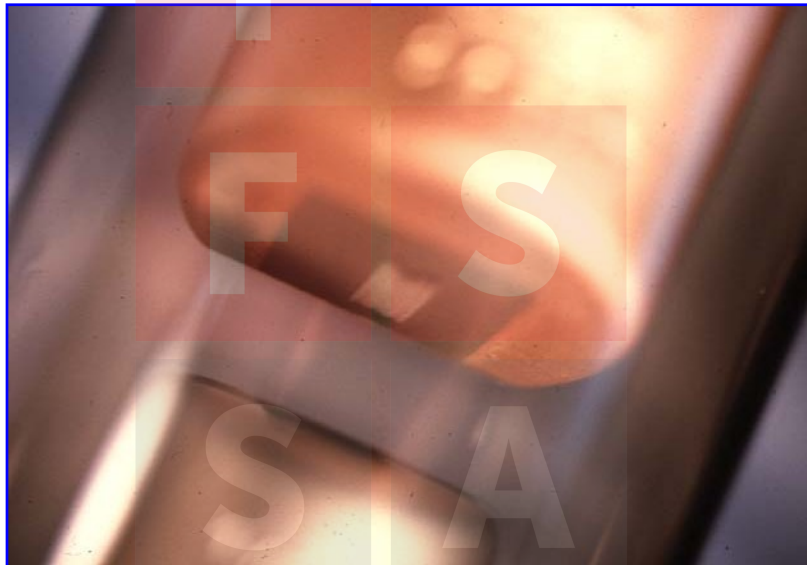
El ánodo de un tubo de rayos x.

El material habitual con el que se fabrica el ánodo de un tubo de rayos X suele ser **Wolframio**. En el caso de los tubos de mamografía el material empleado es el Molibdeno, y recientemente se han comenzado a confeccionar también de Rodio-Paladio. El Wolframio presenta un punto de fusión elevado, ventaja adicional frente a otros materiales con alto número atómico (Z), que también hubieran podido ser adecuados para la producción de rayos X.

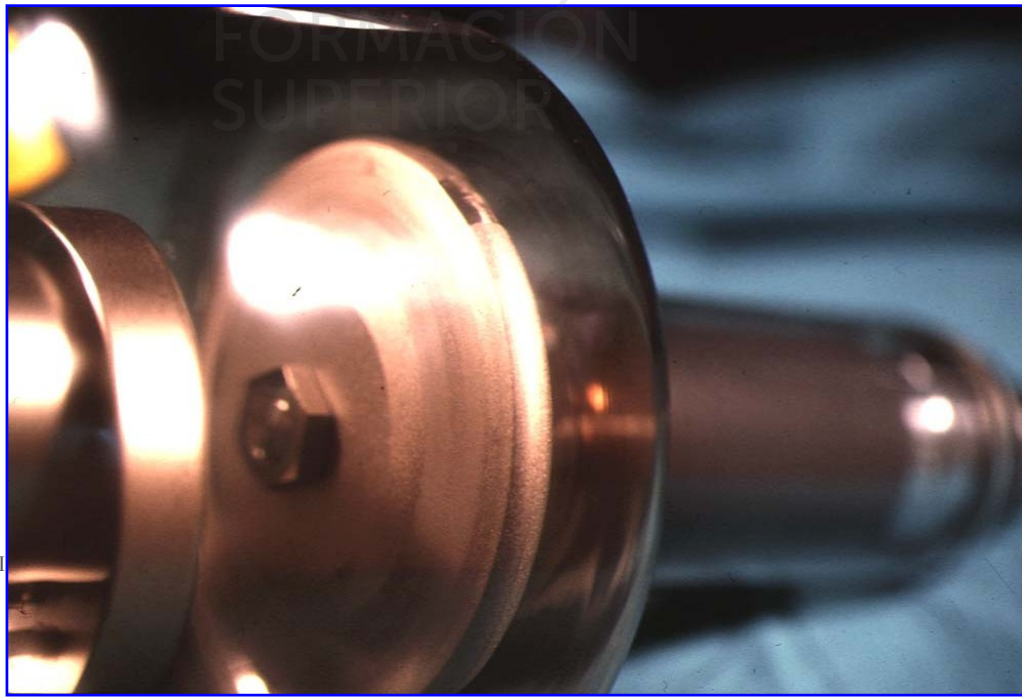
El tubo de rayos X de filamento caliente debe de alcanzar una temperatura adecuada para su funcionamiento, pero en ellos se produce tanto calor que éste constituye el principal problema contra el que es preciso actuar con el fin de aumentar la vida útil del aparato.

Para solucionar este problema se podría aumentar el tamaño del foco, con lo que el calor generado se distribuiría sobre una superficie mayor y el aumento de temperatura no sería tan elevado. Sin embargo, esta solución repercutiría sobre la calidad de la imagen dando lugar a penumbras indeseables (falta de nitidez geométrica). Otra solución podría ser aumentar el tiempo de exposición, pero también aumenta el riesgo de movimiento del paciente (que ocasiona falta de nitidez por movimientos). Estas dificultades que aparecen con los ánodos estacionarios (figura 5.7.) de foco pequeño, con tiempos cortos y con escasa producción de rayos X, propiciaron el diseño de los ánodos rotatorios.

Fig. 5.7. Imagen de ánodo no giratorio



En el ánodo giratorio, la ampolla de vidrio está contenida en un recipiente metálico, que actúa como coraza aislante de la radiación y de la corriente eléctrica, y se encuentra rellena de aceite mineral para su



refrigeración. La estructura del ánodo consiste en un disco de wolframio de unos 10 - 15 cm de diámetro que puede girar a gran velocidad, de 10.000 a 12.000 rpm. (Figura 5.8.).

Fig. 5.8. Imagen del disco de wolframio.

La zona externa del disco giratorio actúa como ánodo, y está recortada en ángulo, presentado una cierta inclinación con respecto a la perpendicular de la trayectoria de los electrones (12° - 17° C). Con el movimiento rotatorio del disco, la superficie de choque es constante, pero la parte del disco en donde chocan los electrones cambia continuamente. Así, la producción de radiación es continua, pero el choque de los electrones y la producción de calor ocurre siempre en un punto distinto del disco. De esta forma se permite disipar mayor cantidad de calor sin aumentar el tamaño aparente del foco.

En general puede decirse que:

- * El foco térmico viene determinado por la forma y tamaño del filamento en el cátodo, así como por la focalización del haz de electrones. Además, dependerá de la inclinación del ánodo y de la velocidad de su rotación.
- * El foco efectivo también dependerá de esos factores (excepto de la velocidad de rotación). Hay que precisar que sólo será cuadrado para un observador situado en el centro del campo, por lo que la nitidez de la película será variable en el campo.

Los mecanismos físicos de producción de los rayos en el ánodo se han descrito en el capítulo dos. Por ello, solo se reseña que los electrones, al llegar al ánodo y pasar por las proximidades de los núcleos atómicos, son frenados violentamente transformando parte de su energía cinética en energía electromagnética. Se emiten fotones de rayos X distribuidos en un espectro continuo, formado por una mezcla de fotones cuyas energías aumentan de forma continua. La energía máxima de este espectro corresponde al fotón producido cuando el electrón, con una energía determinada, es frenado por un solo núcleo y produce un único fotón -radiación de frenado-. Los rayos X de frenado se producen, pues, al hacer impactar electrones contra un ánodo de material con número atómico suficientemente elevado. (Figura 5.9a.).

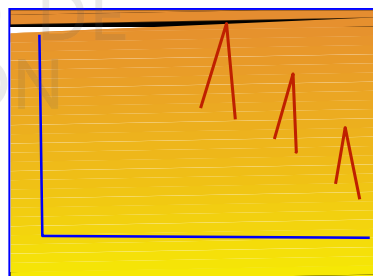
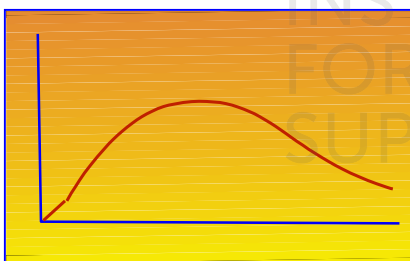
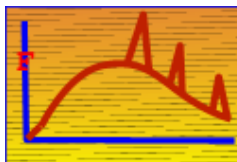


Fig. 5.9a. Espectro de la curva de radiación de frenado. Fig. 5.9b. Espectro de la curva de radiación característica.

Además, también puede ocurrir, tras el choque de electrones contra los átomos del metal anódico, el salto de electrones desde órbitas más profundas a otras órbitas más externas de dichos átomos. El hueco dejado por estos electrones que han pasado a órbitas más superficiales es preciso que se ocupe. Para ello, electrones de otras capas pasan a rellenar este vacío, emitiendo una energía igual a la diferencia energética entre las órbitas correspondientes. Esta emisión de energía forma la radiación X característica (Fig.5.9b), con energía bien definida y discreta, y con una serie de picos superpuestos al espectro continuo. El espectro

característico de los rayos X sería, pues, la suma de los espectros producidos por la radiación de frenado y la radiación característica (Figura 5.10).



ACTIVIDADES PRÁCTICAS UNIDAD 1

Se propondrán actividades prácticas a través de la plataforma, autoevaluaciones y foros de discusión para afianzar los conocimientos vistos durante esta unidad. A estar atentos!!!



INSTITUTO DE
FORMACIÓN
SUPERIOR