

INDICE

- Introducción
- Rayos x en la medicina
- Otras aplicaciones de los rayos x

3.1 Investigación

3.2 Industria

- Radiología

4.1 Radiología diagnóstica

4.2 Radiología terapéutica

- Propiedades de los rayos x

5.1 Fluorescencia

5.2 Ionización

5.3 Difracción de rayos x

5.4 Interacción con la materia

5.5 Efecto fotoeléctrico

5.6 Efecto Compton

5.7 Producción de pares

6– Tubo de rayos x

6.1 Ánodo

6.2 Cátodo

1-- INTRODUCCIÓN

En Noviembre de 1895, William Roentgen, al estudiar la producción de electrones en haces conocidos como rayos catódicos, se dio cuenta de un misterioso tipo de radiación no observada anteriormente. La llamó rayos X y este nombre ha perdurado a lo largo del tiempo. Max von Laue tras una serie de estudios, demostró en 1912 que estos rayos son, al igual que la luz y las ondas de radio, un tipo de radiación electromagnética.

El descubrimiento de los rayos X, por el cual Roentgen recibió el premio Nóbel en 1901, ha tenido repercusiones en muchas áreas del conocimiento:

– En física de Materia Condensada, la difracción de rayos X por un cristal nos da información de la localización de átomos en ese cristal.

– En Biofísica Molecular, los estudios de difracción de rayos X han ayudado a elucidar la estructura del ADN (Ácido Desoxirribonucleico) y de un gran número de proteínas. El automatizar y digitalizar este proceso ha permitido crear un enorme banco de datos tal, que ahora el crecimiento de mapas de rayos X de estructuras biológicas aumenta a una tasa de centenares de mapas por año, beneficiando directamente el diseño de nuevas medicinas.

– En Medicina, los rayos X son fundamentales en diagnosis y terapia. La tecnología de tomografías de rayos X computarizada, en constante avance, permite obtener imágenes cada vez mas claras de tumores.

– La astronomía también ha sido fuertemente influenciada por el descubrimiento de Roentgen, a pesar de que los rayos X provenientes de objetos celestes no pueden penetrar la atmósfera de la Tierra.

Los astrónomos han observado rayos X de muchos sistemas de estrellas dobles y tienen identificados a cerca de una docena como probables hoyos negros. El mas famoso de estos objetos es Cygnus X-1. Vale la pena mencionar que la astronomía de rayos X va mucho mas allá de la búsqueda de hoyos negros. Hoy en día sofisticados instrumentos, como el satélite alemán ROSAT, observan rayos X provenientes de ráfagas solares, estrellas, pulsares, cuásares y cúmulos de galaxias. La astronomía contemporánea, al igual que otras áreas de la sociedad, difícilmente puede imaginarse sin el estudio de los rayos X.

2-Rayos X en la Medicina

Las fotografías de rayos X o radiografías y la fluoroscopia se emplean mucho en medicina como herramientas de diagnóstico. En la radioterapia se emplean rayos X para tratar determinadas enfermedades, en particular el cáncer, exponiendo los tumores a la radiación. Véase Efectos biológicos de la radiación; Radiología.

La utilidad de las radiografías para el diagnóstico se debe a la capacidad de penetración de los rayos X. A los pocos años de su descubrimiento ya se empleaban para localizar cuerpos extraños, por ejemplo balas, en el interior del cuerpo humano. Con la mejora de las técnicas de rayos X, las radiografías revelaron minúsculas diferencias en los tejidos, y muchas enfermedades pudieron diagnosticarse con este método. Los rayos X eran el método más importante para diagnosticar la tuberculosis cuando esta enfermedad estaba muy extendida. Las imágenes de los pulmones eran fáciles de interpretar porque los espacios con aire son más transparentes a los rayos X que los tejidos pulmonares. Otras cavidades del cuerpo pueden llenarse artificialmente con materiales de contraste, de forma que un órgano determinado se vea con mayor claridad. El sulfato de bario, muy opaco a los rayos X, se utiliza para la radiografía del aparato digestivo. Para examinar los riñones o la vesícula biliar se administran determinados compuestos opacos por vía oral o intravenosa. Estos compuestos pueden tener efectos secundarios graves, por lo que sólo deben ser empleados después de una consulta cuidadosa. De hecho, el uso rutinario de los rayos X se ha desaconsejado en los últimos años, ya que su utilidad es cuestionable.

Un aparato de rayos X de invención reciente, y que se emplea sin compuestos de contraste, proporciona visiones claras de cualquier parte de la anatomía, incluidos los tejidos blandos. Se conoce como escáner (scanner) o aparato de tomografía axial computerizada; gira 180° en torno al cuerpo del paciente emitiendo un haz de rayos X del grosor de un lápiz en 160 puntos diferentes. Unos cristales situados en los puntos opuestos reciben y registran la absorción de los distintos espesores de tejido y huesos. Estos datos se envían a un ordenador o computadora que convierte la información en una imagen sobre una pantalla. Con la misma dosis de radiación que un aparato de rayos X convencional, puede verse todo un corte de espesor determinado del cuerpo con una claridad aproximadamente 100 veces mayor. El escáner fue inventado en 1972 por el ingeniero electrónico británico Godfrey Hounsfield, y en 1979 ya se había generalizado su uso

3-otras APLICACIONES DE LOS RAYOS X.

3.1- Investigación

El estudio de los rayos X ha desempeñado un papel primordial en la física teórica, sobre todo en el desarrollo de la mecánica cuántica. Como herramienta de investigación, los rayos X han permitido confirmar experimentalmente las teorías cristalográficas.

Utilizando métodos de difracción de rayos X es posible identificar las sustancias cristalinas y determinar su estructura. Casi todos los conocimientos actuales en este campo se han obtenido o verificado mediante análisis con rayos X.

Los métodos de difracción de rayos X también pueden aplicarse a sustancias pulverizadas que, sin ser cristalinas, presentan alguna regularidad en su estructura molecular. Mediante estos métodos es posible identificar sustancias químicas y determinar el tamaño de partículas ultramicroscópicas.

Los elementos químicos y sus isótopos pueden identificarse mediante espectroscopia de rayos X, que determina las longitudes de onda de sus espectros de líneas característicos. Varios elementos fueron descubiertos mediante el análisis de espectros de rayos X.

Algunas aplicaciones recientes de los rayos X en la investigación van adquiriendo cada vez más importancia. La micro radiografía, por ejemplo, produce imágenes de alta resolución que pueden ampliarse considerablemente.

Dos radiografías pueden combinarse en un proyector para producir una imagen tridimensional llamada estéreo radiograma. La radiografía en color también se emplea para mejorar el detalle; en este proceso, las diferencias en la absorción de rayos X por una muestra se representan como colores distintos. La microsonda de electrones, que utiliza un haz de electrones muy preciso para generar rayos X sobre una muestra en una superficie de sólo una micra cuadrada, proporciona también una información muy detallada.

3.2- Industria

Además de las aplicaciones de los rayos X para la investigación en física, química, mineralogía, metalurgia y biología, los rayos X también se emplean en la industria como herramienta de investigación y para realizar numerosos procesos de prueba.

Son muy útiles para examinar objetos, por ejemplo piezas metálicas, sin destruirlos. Las imágenes de rayos X en placas fotográficas muestran la existencia de fallos, pero la desventaja de este sistema es que el equipo de rayos X de alta potencia que se necesita es voluminoso y caro. Por ello, en algunos casos se emplean radioisótopos que emiten rayos gamma de alta penetración en vez de equipos de rayos X.

Estas fuentes de isótopos pueden albergarse en contenedores relativamente ligeros, compactos y blindados. Para la radiografía industrial se suelen utilizar el cobalto 60 y el cesio 137. En algunas aplicaciones médicas e industriales se ha empleado tulio 70 en proyectores isotópicos pequeños y cómodos de usar.

Muchos productos industriales se inspeccionan de forma rutinaria mediante rayos X, para que las unidades defectuosas puedan eliminarse en el lugar de producción. Existen además otras aplicaciones de los rayos X, entre las que figuran la identificación de gemas falsas o la detección de mercancías de contrabando en las aduanas; también se utilizan en los aeropuertos para detectar objetos peligrosos en los equipajes. Los rayos X ultra blandos se emplean para determinar la autenticidad de obras de arte y para restaurar cuadros

4-Radiología

Especialidad médica que utiliza la radiación para el diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades. Los rayos X y los restantes tipos de radiación son formas de energía producidas durante la desintegración de los átomos. La radiología, en sus vertientes diagnóstica y terapéutica, emplea radiaciones ionizantes (rayos alfa,

beta, gamma y rayos X).

La radiología pudo desarrollarse gracias al descubrimiento de los rayos X por el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen en 1895. Roentgen fue galardonado con el Premio Nóbel de Física por su trabajo. Hay otras formas de energía radiante que también permiten la obtención de imágenes médicas: los ultrasonidos son un ejemplo de ello. En la técnica denominada resonancia nuclear magnética, las diferencias en los tiempos de relajación de los núcleos de hidrógeno de los tejidos en un campo magnético artificial permiten la obtención de imágenes. Quizá sea más adecuada, por tanto, la denominación técnicas de imagen en medicina que el concepto de radiología diagnóstica para definir esta especialidad.

La radiología terapéutica se denomina en ocasiones radiación oncológica, y emplea la radiación ionizante como forma de tratamiento. Cada vez es más frecuente combinar esta modalidad con otras formas de tratamiento, como los fármacos o la hipertermia (fiebre inducida artificialmente).

Tipos de radiología :

4.1– Radiología diagnóstica :

Subespecialidad de la radiología que estudia la estructura anatómica y la fisiología de los tejidos normales y de los tejidos alterados por distintas enfermedades a través de imágenes estáticas o dinámicas. La gran mayoría de las imágenes se obtienen exponiendo la región corporal que se quiere analizar a un haz de rayos X: éstos inciden luego sobre una película sensible (placa), y producen una imagen estática. La imagen obtenida se denomina radiografía o placa de rayos X y puede ser de varios tipos: una radiografía simple, como la habitual placa de tórax; una tomografía (del griego, tomes, 'sección'), radiografía obtenida de manera que, a través del cálculo del momento de la exposición y el movimiento de la placa de rayos, se obtiene la representación de un plano predeterminado de la región corporal atravesada por el haz; o una tomografía axial computerizada (escáner, o TAC): un fino haz de rayos se proyecta desde todos los puntos de un área circular alrededor de la región a estudiar, y el análisis computerizado de la información obtenida permite obtener una imagen que representa un corte de esa región.

Otras imágenes médicas no emplean rayos X sino ultrasonidos, resonancia magnética nuclear (RMN), o el registro de la radiactividad emitida por isótopos que se administran al paciente y se acumulan en ciertos órganos o sistemas orgánicos específicos: estas técnicas se incluyen en el ámbito de la radiología nuclear o medicina nuclear; también pertenece a esta subespecialidad la técnica denominada tomografía de emisión de positrones (TEP), que utiliza las pautas de retraso de los positrones para estudiar diferentes reacciones metabólicas corporales. Cada técnica tiene sus particularidades, y por tanto en cada situación clínica habrá una técnica de imagen idónea para poner de manifiesto el proceso patológico que afecta a esa región corporal. El radiólogo puede así elegir, de acuerdo con el médico que atiende al paciente, la modalidad diagnóstica o técnica de imagen que mejor se adapte a la enfermedad en estudio.

Muchos órganos y sistemas orgánicos invisibles con las técnicas radiológicas convencionales pueden ponerse de manifiesto con el uso de unas sustancias opacas a la radiación denominadas medios de contraste, que se administran al paciente por vía oral, por inhalación o por inyección. Las exploraciones más habituales que utilizan medios de contraste son el tránsito gastrointestinal (tramo alto del tubo digestivo), el enema de bario (colon), la artrografía (se inyecta contraste en una articulación), la melografía (se introduce contraste en el canal raquídeo) y la angiografía (se inyecta contraste en una arteria, una vena o un vaso linfático). Durante la mayoría de las exploraciones con medio de contraste, el radiólogo observa directamente por fluoroscopia el paso del contraste por el interior del organismo.

Las imágenes dinámicas recogen el movimiento de los órganos o sistemas orgánicos (como el tracto gastrointestinal), o el flujo de contraste en los vasos sanguíneos o en el canal raquídeo. Para obtener imágenes dinámicas se puede registrar la imagen en una pantalla móvil sensible a la radiación (fluoroscopia), o se

pueden grabar las imágenes en una película (cinerradiografía) o cinta de vídeo. La cinta, o la película, permiten almacenar la información de manera permanente; con la fluoroscopia (similar a las imágenes de televisión), esta información se pierde, aunque durante la exploración fluoroscópica siempre existe la posibilidad de guardar imágenes radiográficas (placas) para utilizarlas más adelante.

La utilización de radiaciones ionizantes para la valoración de las enfermedades debe seguir un planteamiento similar a la utilización de los medicamentos para su tratamiento: las técnicas radiográficas de imagen sólo se deben realizar en las situaciones clínicas en que esté indicado realizarlas, y debe ser el médico, u otra persona cualificada, quien solicite la prueba. Aunque hay un riesgo potencial derivado de la pequeña dosis de radiación que recibe el paciente en una exploración radiográfica, no hay pruebas objetivas de que esta exposición, cuando la prueba ha sido correctamente indicada y ha sido realizada por personal cualificado, tenga efectos adversos sobre la salud.

4.2– Radiología terapéutica :

Consiste en la utilización de radiaciones ionizantes en el tratamiento de enfermedades malignas. Se puede emplear de manera aislada, o en combinación con fármacos o hipertermia. La radiología terapéutica ha sido posible gracias al descubrimiento de la radioactividad natural a finales del siglo XIX. En función de la energía del haz de radiación empleado, la radioterapia puede ser superficial (menos de 120 kilovoltios), de ortovoltaje (120 a 1.000 kV), o de mega voltaje (más de 1.000 kV). La radioterapia superficial se emplea en el tratamiento de las enfermedades malignas de la piel, los ojos y otras zonas de la superficie corporal. La radioterapia de ortovoltaje ha sido prácticamente sustituida por la de mega voltaje (cobalto, aceleradores lineales, betatrón y aceleradores de partículas). Con la radioterapia de mega voltaje se consigue una distribución más efectiva y eficiente de la dosis total de radiación que se pretende administrar a los tumores situados en profundidad, preservando al mismo tiempo la piel y los tejidos normales.

La radioterapia puede emplearse como tratamiento único en la mayor parte de los cánceres de la piel, donde es el tratamiento de elección; en algunas fases del cáncer de cérvix, útero, mama y próstata; y en algunas leucemias y linfomas, sobre todo la enfermedad de Hodgkin. En estas situaciones la radioterapia se emplea como tratamiento curativo. Cuando la radioterapia se complementa con la quimioterapia (fármacos anticancerosos) en la llamada terapia combinada, su efecto puede ser curativo o simplemente paliativo (para alivio de los síntomas). La radioterapia también se utiliza antes o después de la exéresis (extracción) quirúrgica de ciertos tumores para aumentar las posibilidades de curación al destruir células tumorales que pudieran haber quedado en los márgenes de la resección. La radioterapia se utiliza con frecuencia para evitar las recurrencias tumorales después de la intervención quirúrgica.

Fundamentos de la radioterapia : La base de la radioterapia es la superior capacidad de recuperación de los tejidos normales con respecto a los tumores y las células tumorales tras la radiación ionizante. Una dosis de radiación que destruye a las células tumorales sólo produce una lesión transitoria a las células normales vecinas. Cuando la capacidad de recuperación de los tejidos normales frente a una determinada dosis de radiación es similar o inferior a la capacidad de recuperación del tejido canceroso, se dice que el tumor es radio resistente. Cuando se da esta circunstancia, la radioterapia no constituye un tratamiento adecuado.

5-PROPIEDADES DE LOS RAYOS X.

Los rayos X afectan a una emulsión fotográfica del mismo modo que lo hace la luz. La absorción de rayos X por una sustancia depende de su densidad y masa atómica. Cuanto menor sea la masa atómica del material, más transparente será a los rayos X de una longitud de onda determinada.

Cuando se irradia el cuerpo humano con rayos X, los huesos compuestos de elementos con mayor masa atómica que los tejidos circundantes absorben la radiación con más eficacia, por lo que producen sombras más

oscuras sobre una placa fotográfica.

En la actualidad se utiliza radiación de neutrones para algunos tipos de radiografía, y los resultados son casi los inversos. Los objetos que producen sombras oscuras en una imagen de rayos X aparecen casi siempre claros en una radiografía de neutrones.

5.1 – Fluorescencia :

Los rayos X también producen fluorescencia en determinados materiales, como el platino cianuro de bario o el sulfuro de cinc. Si se sustituye la película fotográfica por uno de estos materiales fluorescentes, puede observarse directamente la estructura interna de objetos opacos. Esta técnica se conoce como fluoroscopia.

5.2– Ionización :

Depende de su longitud de onda. La capacidad de ionización de los rayos X monocromáticos Otra característica importante de los rayos X es su poder de ionización, que es directamente proporcional a su energía. Esta propiedad proporciona un método para medir la energía de los rayos X.

Cuando se hacen pasar rayos X por una cámara de ionización se produce una corriente eléctrica proporcional a la energía del haz incidente. Además de la cámara de ionización, otros aparatos más sensibles como el contador Geiger o el contador de centelleo también miden la energía de los rayos X a partir de la ionización que provocan.

Por otra parte, la capacidad ionizante de los rayos X hace que su trayectoria pueda visualizarse en una cámara de niebla o de burbujas.

5.3– Difracción de los rayos x :

Los rayos X pueden difractarse al atravesar un cristal, o ser dispersados por él, ya que el cristal está formado por redes de átomos regulares que actúan como redes de difracción muy finas.

Los diagramas de interferencia resultantes pueden fotografiarse y analizarse para determinar la longitud de onda de los rayos X incidentes o la distancia entre los átomos del cristal, según cuál de ambos datos se desconozca.

Los rayos X también pueden difractarse mediante redes de difracción rayadas si su espaciado es aproximadamente igual a la longitud de onda de los rayos X.

5.4– Interacción con la materia :

En la interacción entre la materia y los rayos X existen tres mecanismos por los que éstos son absorbidos; los tres demuestran la naturaleza cuántica de los rayos X.

5.5–Efecto fotoeléctrico

Cuando un cuanto de radiación o fotón correspondiente a la zona de rayos X del espectro electromagnético choca contra un átomo, puede golpear un electrón de una capa interna y expulsarlo del átomo.

Si el fotón tiene más energía que la necesaria para expulsar el electrón, le transferirá esta energía adicional en forma de energía cinética. Este fenómeno, denominado efecto fotoeléctrico, tiene lugar principalmente en la absorción de rayos X de baja energía.

5.6- Efecto Compton

El efecto Compton, descubierto en 1923 por el físico y educador estadounidense Arthur Holly Compton, es una manifestación importante de la absorción de rayos X de menor longitud de onda. Cuando un fotón de alta energía choca con un electrón, ambas partículas pueden ser desviadas formando un ángulo con la trayectoria de la radiación incidente de rayos X.

El fotón incidente cede parte de su energía al electrón y sale del material con una longitud de onda más larga. Estas desviaciones acompañadas por un cambio en la longitud de onda se conocen como dispersión Compton.

5.7- Producción de pares

En el tercer tipo de absorción, que se observa especialmente cuando se irradian elementos de masa atómica elevada con rayos X de muy alta energía, se produce el fenómeno de producción de pares. Cuando un fotón de alta energía penetra en la capa electrónica cercana al núcleo, puede crear un par de electrones, uno con carga negativa y otro con carga positiva; los electrones con carga positiva se conocen también como positrones.

La producción de pares es un ejemplo de la conversión de energía en masa. El fotón necesita una energía de al menos 1,2 MeV para proporcionar la masa del par. Si el fotón incidente posee más energía de la necesaria para la producción del par, el exceso de energía se cede al par de electrones en forma de energía cinética. Las trayectorias de las dos partículas son divergentes.

6-Tubo de rayos X

Aunque los rayos X son generados por la desaceleración o la detención súbita de los electrones de alta velocidad, su empleo eficaz depende de la producción en determinadas condiciones :

- –Una fuente de electrones, el filamento catódico o cátodo.
- –Un blanco, el ánodo, constituido por material adecuado y conectado de modo que atraiga a los electrones en el momento oportuno.
- –Los electrones no deben encontrar ninguna interferencia extraña en su trayectoria
- Un método para acelerar a los electrones hacia el blanco.

Todas estas condiciones se cumplen en el moderno tubo de rayos X de cátodo caliente: el cátodo de filamento caliente y el ánodo de tungsteno se hallan dentro de un recipiente de vidrio al vacío, herméticamente cerrado. La

corriente alterna circula hacia el cátodo y desde éste en el circuito del filamento, mientras que una corriente continua pulsátil va al cátodo, pasa al ánodo y sale de él sin eliminar el vacío. Si el vacío no se mantuviese, ocurrirían irregularidades en el flujo de electrones desde el cátodo hacia el ánodo. Como el flujo de electrones constituye la corriente de tubo (mili amperaje), para que el tubo de rayos X funcione bien es fundamental que el flujo de electrones se mantenga lo mas constante posible durante cada exposición. Si el tubo de rayos X se torna gaseoso, o sea, pierde su vacío completo, se produce fluctuaciones perceptibles del mili amperaje cuando está en funcionamiento. El tubo de vidrio al vacío se halla rodeado por un blindaje metálico que contiene plomo y hace las veces de barrera primaria para absorber los rayos X que no están orientados hacia la ventana de salida. El blindaje metálico tiene una ventana de material radio transparente, directamente debajo del ánodo, que permite la salida de los rayos X útiles a través de una abertura limitada. Entre el blindaje metálico

y el tubo de vidrio hay un aceite muy refinado que sirve de aislador eléctrico, de conductor de calor y de filtro para los rayos X blandos e inútiles. La presencia del aceite impide que el tubo de rayos X produzca descargas eléctricas. Durante la generación de rayos X se producen enormes cantidades de calor, que se disipan desde las conexiones del ánodo, que están fuera del tubo de vidrio, hacia el blindaje metálico, y desde éste hacia el aire. Entre el tubo de vidrio y la ventana del blindaje metálico, el aceite actúa como un filtro intrínseco, que debe tener un valor equivalente a 0.5 mm de aluminio como mínimo. Fuera de la ventana y en el mismo blindaje existe una hendidura para filtros adicionales, en los viejos blindajes había una hendidura mas para conos de diversos tamaños. En los blindajes de tubo de rayos X más modernos, en cambio, en este sitio del blindaje metálico se monta el colimador.

6.1 Ánodo

El ánodo del tubo de rayos X recibe carga eléctrica positiva durante la emisión de rayos X; es decir, durante el tiempo en que el interruptor de exposición (secundario) permanece cerrado.

La carga positiva del ánodo atrae a los electrones que se desprenden del cátodo y se cierra así el circuito de alta tensión (secundario). El ánodo suele constituir en una barra o cilindro de cobre, uno de cuyos extremos sale del tubo de vidrio y está conectado con el transformador de alta tensión. El otro extremo mira al cátodo y tiene un pequeño botón de tungsteno incluido en su centro.

La faz del ánodo es biselada, o sea que se aleja del cátodo en un ángulo de 15 a 20°, según la marca y el tipo de tubo de rayos X.

El ángulo del ánodo controla en considerable medida la fuerza de los rayos (o la cantidad de energía del haz total) que se emite hacia el extremo catódico y hacia el extremo anódico del tubo de rayos X.

El bloque de tungsteno mide unos 2 mm de espesor y sirve de blanco para los electrones que llegan desde el cátodo. La energía cinética de los electrones del cátodo que chocan con el botón de tungsteno se transforma en dos tipos de energía: rayos X y calor. El calor se disipa con mucha rapidez desde el tungsteno por el ánodo de cobre y el aceite hasta el blindaje del tubo.

Existen varios métodos para disipar el calor generado en el ánodo y propagado a la envoltura o blindaje del tubo. Uno de estos procedimientos, utiliza una capa de aceite, que trasmite el calor al blindaje, y éste, lo irradia al medio aéreo. Otros métodos de refrigeración anódica se valen de persianas o radiadores especiales. La mayor parte de los tubos radiográficos de alta capacidad cuentan con un ventilador mecánico junto al blindaje protector, que contribuye a su enfriamiento.

Los ánodos de los tubos de rayos X que se utilizan para diagnóstico pueden ser fijos o rotativos. En muchos tubos de ánodo rotativo el borde biselado de la circunferencia del disco forma un ángulo de 15° con el plano transversal del tubo de rayos X. El borde biselado se aleja del cátodo de modo que los rayos X útiles se proyectan a través de la ventana de salida. El filamento del cátodo está rodeado por una copa de enfoque de molibdeno, esta copa concentra en una pequeña superficie del blanco anódico a los electrones que parten del filamento. Como el filamento es lineal, los electrones inciden sobre el blanco siguiendo una línea. El ánodo se anula alejándose un poco del cátodo, de modo que los rayos X emitidos perpendicularmente al haz de electrones parecen provenir de un punto y no de una línea.

Los electrones del cátodo inciden sobre el ánodo en una superficie (punto focal electrónico) determinada por la copa de enfoque de molibdeno, por la forma del filamento catódico y por el ángulo del ánodo. Los

primitivos tubos

radiográficos tenían un ángulo anódico de 45° . Los modernos tubos de ánodo fijo, en cambio, poseen un ángulo de alrededor de 18° para reducir el tamaño del punto focal óptico. Los primitivos puntos focales también eran elípticos y rectangulares. Estos focos lineales de los tubos de ánodo fijo surgieron tras numerosos intentos para reducir el tamaño del área focal efectiva. Los términos área focal electrónica (verdadera) y área focal óptica (efectiva) a menudo se confunden y con frecuencia son mal interpretados. El área focal electrónica es la verdadera zona bombardeada por los electrones procedentes del cátodo. El tamaño del área sobre la cual inciden los electrones dependen

principalmente de la forma y el tamaño de la copa de enfoque y del filamento del cátodo; por supuesto, el ángulo del ánodo influye sobre el tamaño de esta área, pero no es el principal factor que lo determina. El área focal óptica es la zona de proyección del área focal electrónica; esta proyección se produce en ángulo recto con respecto al haz de electrones catódicos. El área focal real es, por supuesto, considerablemente mayor que el área focal efectiva. Con el término de foco efectivo se designa el área de proyección focal de determinado tubo Röntgen. Por último, el tamaño del área focal óptica es el resultado del ángulo del ánodo y de la superficie verdadera del blanco.

Por supuesto, empleando un área focal más pequeñas, se obtienen radiografías de mayor definición.

El ánodo giratorio es un disco de unos 7 u 8 cm de diámetro. Un rotor exterior hace que este ánodo gire sobre su eje a la velocidad aproximada de 3000 r.p.m. Como resultado de ese giro, cambia continuamente el área focal sobre la que incide el haz de electrones catódicos. Ello permite utilizar un mayor kilo voltaje y más miliamperio-segundos sin salirse de los límites de seguridad para operar el tubo determinados por las especificaciones correspondientes. Los electrones solo chocan con una zona reducida de esta banda o circunferencia en un instante preciso. Con la introducción de los tubos de ánodo rotatorio se han logrado notables avances en el desarrollo de las radiografías ultrarrápidas, para las que se requieren corrientes de muy alta tensión y tiempos de exposición muy cortos.

6.2 Cátodo

El cátodo posee una carga negativa en relación con el ánodo. El circuito del filamento del aparato de rayos X suministra el calentamiento necesario al filamento del cátodo. Uno de los extremos de éste se conecta también con el bobinado secundario del transformador de alta tensión y conduce la corriente secundaria a través del tubo Röntgen.

La disposición especial del colector, su relación con el filamento del cátodo, y la aplicación de un voltaje elevado al tubo de rayos X hace que los electrones emitidos a partir del filamento catódico choquen sobre un área muy reducida (foco) de la placa del ánodo.

El delgado filamento, de unos 0.2 mm de diámetro, opone una resistencia considerable al paso de la corriente de calentamiento, la cual eleva la temperatura de aquél hasta un grado lo bastante alto como para que los electrones se volatilicen y rodeen el cátodo. El aumento de intensidad de la corriente del filamento se traduce en el consiguiente aumento de la energía cinética de sus electrones, haciendo que de esta manera se desprenda una cantidad proporcionalmente mayor de ellos de los enrollamientos de alambres. Este proceso de liberación de electrones a causa de la incandescencia se conoce con el nombre de emisión termoiónica.

La emisión termoiónica es la liberación de electrones determinada por la aplicación de calor. El número de electrones liberados depende del grado de calentamiento del filamento. Los electrones que fluyen desde el cátodo hacia

el ánodo por segundo constituyen la llamada corriente del tubo; la magnitud de esta corriente es función del número total de electrones que se dirigen del cátodo al ánodo. Para que se produzcan rayos X es necesario que los electrones liberados choquen contra el foco del ánodo a gran velocidad. Ello ocurre si el ánodo se encuentra positivamente cargado dentro del circuito de alta tensión. Al cerrarse el conmutador de exposiciones, la tensión secundaria es bastante más alta en el cátodo que en el ánodo. Por eso la caída de tensión entre uno y otro acelera el flujo catódico de electrones en dirección al ánodo cargado positivamente con una fuerza en cierto modo proporcional a la tensión de la corriente de alimentación que llega del secundario.

La parte central del transformador de alta tensión está conectada a tierra para lograr un aislamiento efectivo. Como el circuito de rectificación está integrado por las dos derivaciones de un transformador conectado con tierra en su porción intermedia, el resultado en cualquier momento es un potencial altamente positivo en una de ellas y otro potencial negativo elevado en la opuesta. Este dispositivo proporciona una diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo.

Bibliografía

- Enciclopedia interactiva **como funcionan las cosas** , grupo Zeta multimedia
- **Enciclopedia del siglo xx**. Editorial : Sigma
- Direcciones de Internet
 - ◆ **www. Arrakis.com**
 - ◆ **www. Bne.es**
 - ◆ **www. Scicentral.com**
 - ◆ **www. Cervantes virtual.com**
 - ◆