



# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ARAGON**

**“PRODEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO Y CORRECTIVO A  
EQUIPO MEDICO DE RX”**

**INFORME DEL EJERCICIO PROFESIONAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO-ELÉCTRICO**

**ASESOR  
ING. MARTÍN HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO 1.</b>	
<b>FUNDAMENTOS DE RAYOS X</b>	
1.1 Descubrimiento de los rayos x	5
1.2 Estructura de la materia	5
1.3 Concepto de radiacion	7
1.4 Radiaciones electromagneticas	7
1.5 Produccion de rayos x	9
1.6 Propiedades de los rayos x	11
1.7 Tubos de rayos x	11
1.8 Clases de tubos de rayos x	15
<b>CAPITULO 2.</b>	
<b>NORMAS DE SEGURIDAD EN LA OPERACIÓN DE EQUIPO MÉDICO DE RAYOS X</b>	
2.1 Unidades de medicion de rayos x	19
2.1.1 Exposicion y rapidez de exposición	19
2.2 Efectos biologicos de la radiacion	19
2.2.1 Efecto sobre el tejido vivo	19
2.2.2 Efecto genetico	21
2.3 Peligros de la radiacion	22
2.4 Metodos para medir dosis	25
2.4.1 Metodo optico	26
2.4.2 Medodo fotografico	26
2.4.3 Metodo ionometrico	26
2.4.4 Dosis permisible	27
2.5 Proteccion del personal	29
2.6 Proteccion del paciente	31
<b>CAPITULO 3.</b>	
<b>PROCEDIMIENTO PROPUESTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	
3.1 Programacion del mantenimiento preventivo	34
3.2 Realizacion del mantenimiento preventivo	34
3.3 Sala de rayos x con mesa flotante	35
3.3.1 Rutina de mantenimiento	35
3.4 Sala de rayos x con mesa basculable	39
3.4.1 Rutina de mantenimiento	40
3.5 Termino del mantenimiento preventivo programado	46
<b>CAPITULO 4.</b>	
<b>PROCEDIMIENTO PROPUESTO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO</b>	
4.1 Generacion y atencion del reporte	48
4.2 Reparacion del equipo	48
4.3 Fallas de frenos mecánicos	48
4.4 Falla de electrofrenos	48
4.5 Falla de buckys	51
4.6 Falla de colimador	52
4.7 Movimientos en la mesa basculable	53
4.8 Flourosopia	55
4.9 Generador y tubo de rayos x	56
4.10 Termino del servicio de reparaci3n	58
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>60</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>61</b>

El presente trabajo es un informe sobre los diferentes procedimientos que se siguen en el mantenimiento preventivo y correctivo a equipo médico de rayos X.

El primer capítulo de este informe es acerca de los principios básicos de los rayos X y de cómo están formados y trabajan los diferentes tipos de tubos de rayos X.

El segundo capítulo nos da información acerca de cómo protegernos de los rayos X, ya que al no verse ni sentirse, es muy fácil confiarse y no tener las precauciones al trabajar con ellos.

En el tercer capítulo, habla de las partes que componen los equipos médicos de RX y de las actividades que se realizan en un mantenimiento preventivo.

En el último capítulo, se propone una rutina para atacar las posibles fallas que puede tener un equipo médico de RX, a partir del área del equipo que presente el problema.

El objetivo de este informe, es el dar una idea de lo que se realiza diariamente en el servicio a equipo médico de RX, de cómo están formados los equipos de rayos X, de las rutinas que se siguen al repararlos y de las precauciones que se deben de tener en cuenta al trabajar con radiación.

## 1.1 DESCUBRIMIENTO DE LOS RAYOS X

El 8 de noviembre de 1895 el profesor Wilhelm Conrad Roentgen, descubrió una clase de rayos desconocidos hasta entonces, a los que llamo rayos X.

Mientras realizaba experimentos sobre el comportamiento de los rayos catódicos en los tubos de Hittorf-Geissler-Crookes (ampollas de vidrio en las que se había evacuado el aire en alto grado), Roentgen produjo, con uno de estos tubos, un rayo invisible capaz de penetrar substancias opacas a la luz. En el curso de un experimento durante el cual cubrió el tubo con papel negro grueso, advirtió que este rayo penetraba el papel y causaba brillo en una pantalla fluorescente. Cuando se colocaban determinados objetos entre el tubo y la pantalla, sus sombras se imprimían en esta. Experimentos posteriores demostraron que estos rayos oscurecían la emulsión de la película fotográfica en la misma forma que la luz. Roentgen encontró que estos rayos penetraban muchas substancias y que la sombra o imagen de dichas substancias podía ser registrada en una placa fotográfica. Esto ocurría también con el cuerpo humano, y las sombras de los diversos tejidos orgánicos – piel, músculo y huesos – podían ser registradas en la película. Incapaz de definir la naturaleza exacta de esta radiación, la nombro “rayos X”.

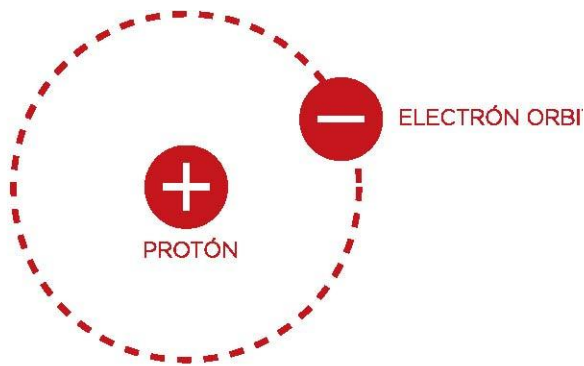
## 1.2 ESTRUCTURA DE LA MATERIA

Un conocimiento general de la constitución física de la materia es necesario para comprender en mejor forma la producción de rayos “x” y los efectos de estos sobre el organismo. Cualquier forma de materia, cuando se reduce a su componente mas pequeño, se encuentra constituida de átomos. Durante mucho tiempo se penso que el átomo era la partícula indivisible mas pequeña de un elemento. Sin embargo, posteriormente se ha encontrado que el átomo puede ser reducido a partículas aún más pequeñas – los electrones, protones y neutrones.

Los electrones son cargas negativas de electricidad, los protones son cargas positivas y los neutrones no poseen carga, son neutros. El átomo tiene una disposición parecida a un sistema solar en miniatura. El núcleo contiene los protones cargados positivamente, y cuando el átomo tiene neutrones estos se encuentran también en el núcleo. Uno o más electrones giran alrededor del núcleo en sus órbitas respectivas.

Debido a que poseen cargas opuestas, los protones y los electrones tienen una gran atracción entre sí. Esta atracción se contrarresta por la fuerza centrífuga que mantiene los electrones en órbita.

En condiciones normales, el átomo se encuentra en equilibrio; esto es, es eléctricamente neutro. Por cada protón que se encuentre en el núcleo existe un electrón en órbita. El neutrón, al no poseer carga alguna, solo añade peso atómico al átomo. Todas las formas de materia tienen disposición diferente en cuanto a estas tres partículas. La disposición más simple es el átomo de hidrógeno (fig. 1.1). El núcleo tiene un protón alrededor del cual gira un electrón en órbita.



**Fig. 1.1** Representación gráfica de un átomo de hidrógeno

Si se retiran uno o más electrones de sus órbitas respectivas, el resto del átomo pierde su neutralidad eléctrica y se carga positivamente. El átomo en estas condiciones es inestable y se le conoce como ion positivo. El electrón liberado se llama ion negativo y juntos se conocen como par de iones. El desplazamiento del electrón de su órbita, crea un par de iones, y se denomina ionización atómica. Los rayos "X" son capaces de causar esta ionización de átomos, de manera que se presenten otras radiaciones ionizantes (rayos cósmicos, rayos gamma y radiaciones corpusculares).

La ionización de átomos de los diversos tejidos orgánicos es por ello la base para comprender tanto la terapéutica, como los efectos nocivos de la radiación "X". Este proceso puede encontrar un efecto profundo en el funcionamiento normal de un tejido cuando una gran cantidad de sus células se alteran o destruyen.

Un ejemplo sencillo de la acción perjudicial de los rayos X sobre los tejidos, es su efecto en el agua que se encuentra dentro de los tejidos. Dado que el agua ( $H_2O$ ) absorbe la energía de la radiación, existe un cambio forzoso en su estructura atómica, de manera que se convierte en peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ). En los sitios en que esto ocurre, el peróxido de hidrógeno, que constituye un agente oxidante, causa lesiones localizadas sobre el tejido.

### **1.3 CONCEPTO DE RADIACION**

La radiación se puede definir como la emisión y propagación de energía a través del espacio o de un medio material, en forma de ondas o de partículas.

La radiación para su estudio se clasifica en: corpuscular (o de partículas) y electromagnética. Ambos tipos de radiación transportan energía. Como ejemplos de estos tipos de radiación tenemos a la radiación alfa, radiación beta, neutrones y radiación electromagnética como la luz visible, las ondas de radio, la radiación gamma y los rayos X.

### **1.4 RADIACIONES ELECTROMAGNETICAS**

Actualmente se sabe que los rayos X, pertenecen a un grupo de radiaciones electromagnéticas, llamadas así debido a que constituyen una combinación de energía eléctrica y magnética. Estas radiaciones no poseen partículas o masa, sino que son energía pura.

Las radiaciones electromagnéticas tienen un movimiento ondulatorio al desplazarse en el espacio, con una trayectoria recta llevando una velocidad de 300 000 km/s. Estas radiaciones se encuentran dentro de un espectro electromagnético según sus longitudes de onda (fig 1.2). El ojo humano es sensible solo a una pequeña porción del espectro, que es la luz visible. El color depende de las longitudes de onda dentro de esta porción, variando desde los rayos rojos, que poseen la longitud de onda mayor, hasta los rayos ultravioleta, que se encuentran dentro de la longitud de onda más corta. Un rayo X, aun teniendo una longitud de onda más corta, es invisible debido a que se encuentra más allá del umbral visual.

De la misma forma que los rayos X varían en longitud de onda, su capacidad de penetrar la materia también varía. Aquellos que poseen la longitud de onda más corta tienen una mayor frecuencia y mas energía; por ello, penetran la materia con mayor facilidad. Pero al aumentar la densidad de la materia, la energía de los rayos X debe aumentar para penetrarla.

“Radiación dura” es el término que se aplica a los rayos X con longitudes de onda mas cortas, y son estos los de mayor uso en medicina. “Radiación suave” se aplica a los rayos X con longitudes de onda más largas, y no se emplean por lo general en medicina debido a su poca energía e incapacidad para penetrar los tejidos mas densos.

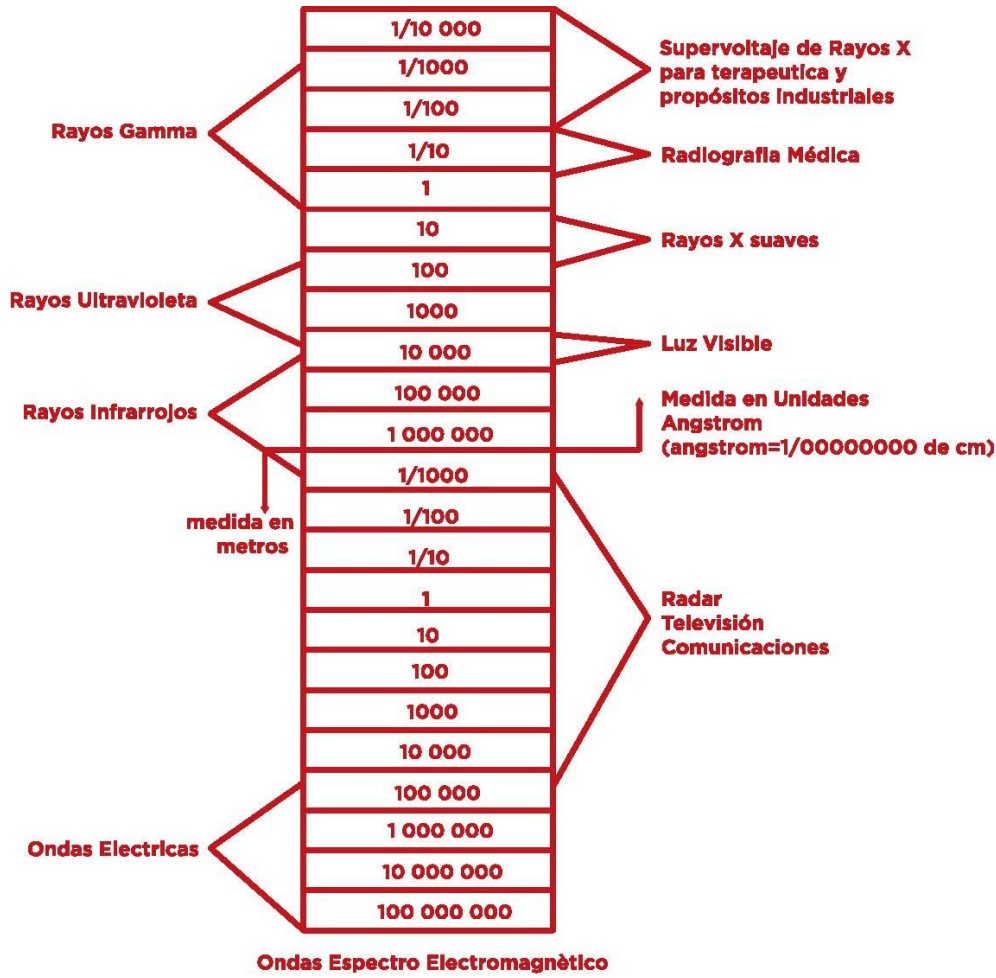


Fig. 1.2 Espectro electromagnético



### 1.5 PRODUCCION DE RAYOS X

Los rayos X se producen siempre que una sustancia es irradiada con electrones de alta energía. Un tubo convencional de rayos X consiste básicamente de un cátodo y un ánodo colocados dentro de un envase de vidrio al vacío (fig. 1.3).

El filamento (cátodo) del tubo de rayos X, se calienta (hasta más de 2000 grados centígrados), efecto por el cual emite electrones.

Al aplicarse alta tensión al filamento, los electrones se proyectan con gran velocidad (a 65 km/s con 100 Kv) hacia el ánodo (punto o pista focal). Este fenómeno se produce siempre cuando el ánodo es positivo y el cátodo negativo.

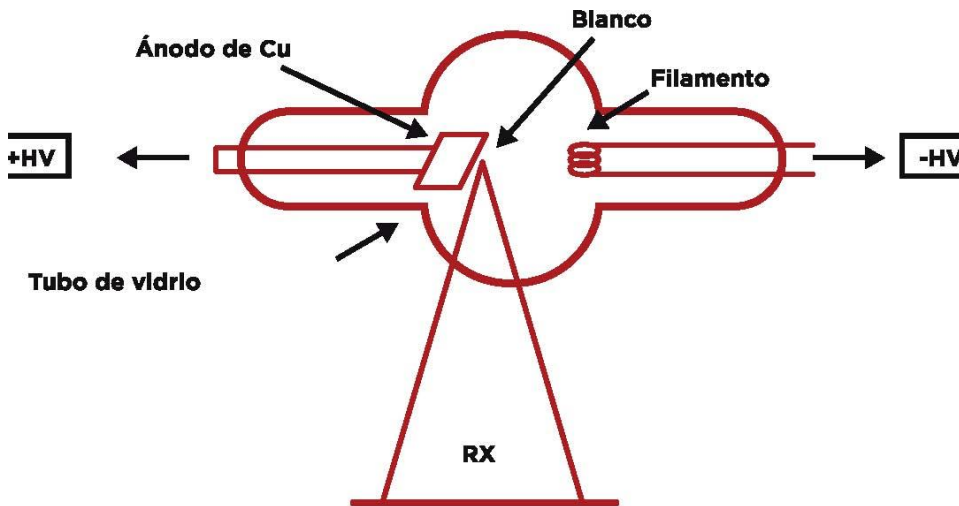


Fig. 1.3 Tubo de Rayos X

En el punto focal se frenan los electrones y su elevada energía cinética se convierte en:

1. Calor
2. Rayos X

El rendimiento en rayos x es ínfimo. Según la tensión (Kv) aplicada al tubo de rayos x (o roentgen), solo se transforma cerca de 1% (con 100 Kv) en rayos X. El resto de la energía se libera en forma de calor (pérdida térmica) y el ánodo se torna incandescente. De este 1% de radiación total producida se aprovecha prácticamente tan solo el 10% (radiación útil).

Debido al gran desarrollo de calor, el material sobre el cual se forma el punto focal debe ser de una temperatura de fusión muy elevada. El metal tungsteno (número de orden 74) con su temperatura de fusión de casi 3400 grados centígrados, es muy indicado para este uso. Además, gracias a su elevado número de orden, permite obtener un rendimiento de rayos X bastante favorable. Cuanto más alto sea el número de orden del material donde se forma el punto focal o blanco, tanto mayor será el rendimiento en radiación X (teniendo en cuenta el rendimiento de por sí bajo). El considerable desarrollo de calor exige un enfriamiento efectivo del ánodo para prevenir la evaporación y formación prematura de asperezas del metal en el punto focal (tungsteno).

El calor se transmite al aceite que llena la coraza portatubo, el cual puede aumentar notablemente la temperatura (hasta 90 grados y más) en servicio prolongado de fluoroscopia o series rápidas de radiografías. A veces resulta conveniente enfriar exteriormente la coraza mediante aire ya sea por medio de un ventilador.

Antiguamente los límites permisibles de carga del tubo de rayos X los debía determinar el radiólogo o su asistente mediante gráficas y cargas experimentales.

En los generadores radiológicos modernos simplemente se escoge entre los valores permisibles (Kv y mAs ó Kv, mA y segundos) que han sido preajustados en la fábrica o por el servicio técnico de acuerdo con el tubo utilizado (normalmente en el rango de 40Kv a 130 Kv).

Los rayos X son emitidos por la superficie del punto focal en línea recta hacia todas las direcciones.

En la radiología interesa solamente la radiación útil que sale a través de la ventanilla de la coraza portatubo enchapada enteramente de plomo. Esta radiación alcanza tan solo 1/10 de la radiación total producida.

## 1.6 PROPIEDADES DE LOS RAYOS X

- Atraviesan los cuerpos tanto mejor cuanto más elevada sea la tensión aplicada al tubo.
- Son absorbidos parcialmente al atravesar un cuerpo. Esta absorción es tanto mayor cuanto más grueso o más denso sea el cuerpo y mayor su número de orden en el sistema periódico de los elementos.
- En todos los cuerpos que atraviesan producen radiaciones secundarias.
- Hacen fluorescer ciertas sales metálicas: pantallas fluoroscópicas (sulfuro de cadmio y cinc) pantallas reforzadoras (tungstato de calcio).
- Ennegrecen emulsiones fotográficas, es decir, las modifican de un modo latente , invisible para el ojo.
- Se propagan desde la superficie del punto focal o blanco en línea recta hacia todas las direcciones. Esta “proyección central” está sujeta a determinadas leyes y hechos importantes para la técnica radiológica.
- La ley del cuadrado de la distancia. (A doble distancia solo queda un cuarto, a triple distancia un noveno, a cuádruple distancia un dieciseisavo etc. De la energía radiante medida a la distancia 1).
- Ejercen un efecto biológico. De este efecto se deduce la necesidad de adoptar medidas protectoras contra la radiación y normas de cautela para su utilización.

## 1.7 TUBOS DE RAYOS X

Los tubos de electrones fueron introducidos por Coolidge, después de conseguir hacer un filamento con un metal inmaleable: el volframio (tungsteno).

Hizo el cátodo del tubo de rayos x con un filamento espiral de volframio, que se calienta cuando pasa por él una corriente eléctrica. Cuando esta espiral de volframio se calienta mucho emite electrones, cuyo número depende de la temperatura del filamento.

La construcción de tal filamento constituyó un importante paso en el desarrollo de los modernos tubos de rayos X del tipo de vacío. La corriente de caldeo, producida mediante un transformador de baja tensión, puede variarse alterando así también la temperatura de dicho filamento. El número de electrones emitido por un elemento incandescente aumenta notablemente con la temperatura del mismo. De esta forma en los tubos de rayos X se puede controlar el número de electrones variando la intensidad de la corriente de caldeo. Mediante un transformador de baja tensión se hace pasar una corriente de 3 a 5 Amp a través de un filamento en el cátodo con una tensión de 12 a 18 Volts. De esta manera el número de electrones que van del cátodo al ánodo es esta clase de tubos (es decir, la intensidad) se hace independiente de la alta tensión aplicada entre el ánodo y el cátodo.

Cuando se aplica al ánodo un potencial positivo respecto al cátodo, los electrones emitidos por este último son atraídos por el primero. Cuanto mayor sea la diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo, tanto más rápidamente recorrerán los electrones la distancia que separa ambos electrodos.

Además, en estos tubos de vacío los electrones no son retardados, por colisiones con moléculas de gas. Para dar a los electrones velocidad suficiente para que se produzcan rayos X se requiere, por tanto, una alta tensión y un alto vacío. Mientras que originalmente la alta tensión se obtenía mediante carretes de Ruhmkorff e interruptores electrolíticos o de mercurio, estos elementos fueron totalmente sustituidos por transformadores de alta tensión que suministran corrientes mucho más elevadas. En los modernos tubos de rayos X la alta tensión la suministra un transformador de alta tensión.

La alta tensión entre el ánodo (+) y cátodo (-) determina la velocidad de los electrones. El número de electrones que chocan contra el ánodo y su velocidad determinan respectivamente la cantidad y la calidad de los rayos X producidos. Cuanto mayor sea el número de electrones (es decir, cuanto más intensa sea la corriente de filamento) tanto mayor será la intensidad de la corriente entre el cátodo y el ánodo del tubo y, por tanto, mayor será la cantidad de rayos X producidos. Cuanto mayor sea la velocidad de los electrones, tanto mayor será la energía convertida en energía de rayos X por cada electrón incidente en el ánodo, y por tanto, mayor la energía de los rayos X generados. Esta energía se expresa por la longitud de onda de los rayos X y, en consecuencia, por su poder de penetración.

A mayor kilovoltaje corresponde:

Electrones más rápidos. Mayor energía de rayos X. Menor longitud de onda. Mayor poder de penetración. Rayos X más duros.

A menor kilovoltaje corresponde:

Electrones más lentos. Menor energía de rayos X. Mayor longitud de onda. Menor poder de penetración. Rayos X más blandos.

La corriente que circula a través del filamento tiene una tensión de unos 15 V y una intensidad de unos 4 Amps.

La corriente que circula a través del tubo de rayos X del cátodo al ánodo, tiene una tensión de unos 40 kV y una intensidad de unos pocos miliamperios. Una intensidad de filamento mayor está asociada con una mayor intensidad en el tubo y, por tanto, con mayor cantidad de rayos X.

Para fluoroscopia se usan altas tensiones de 40 a 100 KV y corrientes desde unas décimas hasta 4 mA.

Para hacer radiografías las altas tensiones usadas van de 25 a 150 KV, mientras que la intensidad depende de lo que el tubo pueda soportar y del tamaño del aparato, en aparatos pequeños la intensidad varía entre 10 y 30 mA, mientras que los aparatos grandes puede ser de cientos de miliamperios e incluso de 1000 mA.

ANODO O BLANCO – La elección del material para el blanco esta condicionada a muchos factores siendo los más importantes el rendimiento (expresado como el porcentaje de la energía electrónica que llega al ánodo que es convertida en radiación X) y la carga específica máxima admisible (o carga por mm<sup>2</sup> de punto focal).

El rendimiento es proporcional al número atómico del material del blanco; es, por tanto, aconsejable escoger un metal con elevado número atómico, como, por ejemplo, el volframio (o tungsteno) (74), el platino (78), el oro (79) o el plomo (82). Por la misma razón el aluminio (13) es completamente inadecuado.

La carga específica máxima admisible depende, en primer lugar, de la temperatura de fusión del blanco; por tanto, es necesario escoger un metal con elevado punto de fusión como el tantalio (3000 grados centígrados) o el volframio (3350 grados centígrados). El platino (1770 grados centígrados) y el oro (1060 grados centígrados) son menos adecuados, y el plomo (327 grados centígrados) es inutilizable. Otros factores importantes son la capacidad y la conductividad térmicas del ánodo. El volframio (tungsteno) tiene mayor conductibilidad que el tantalio y reúne, por tanto, en general la combinación de características más favorables para hacer el blanco.

Muchos ánodos actuales de tipo estacionario se hacen embutiendo un blanco de volframio de 2 a 3 mm de espesor en un bloque de cobre, utilizándose así las elevadas conductibilidad y capacidad térmicas del cobre.

La parte del ánodo en la cual inciden los electrones se denomina foco o punto focal. Por tanto el foco es el sitio donde se origina la radiación X y desde el cual se dispersa en todas direcciones. Sobre todo para fines de radiodiagnóstico, el foco se puede comparar con una fuente luminosa. Teniendo en cuenta que toda imagen de rayos X es la imagen de una sombra, es evidente que para obtener una buena imagen el foco deberá ser lo menor posible. Una amplia superficie luminosa no produce una imagen nítida. Sin embargo, si el haz de electrones hubiera de incidir en una superficie demasiado pequeña del ánodo, el calor desarrollado sería demasiado intenso, hasta tal grado que el material anódico se fundiría en ese punto.

Por tanto, el foco deberá tener un tamaño correspondiente a la carga que debe soportar.

## 1.8 CLASES DE TUBOS DE RAYOS X

Los tubos para diagnóstico se dividen en dos categorías principales:

Tubos de ánodo estacionario, en los que la placa del blanco, en la que se encuentra el punto focal, es usualmente un disco de wolframio embutido en un ánodo de cobre (fig. 1.4). Este último, que tiene buena conductibilidad térmica, se refrigera por distintos medios.

Al principio se usaban mucho los tubos de 10 KW debido a su elevada carga admisible. Sin embargo, su gran foco entrañaba una baja definición mientras que los perfeccionamientos técnicos, por otro lado, han conducido a la virtual desaparición de estos tubos.

Otro tubo que se encuentra con frecuencia es el tipo de doble foco. Estos tubos contienen, por lo general, un foco grande y otro pequeño, por ejemplo, uno para 6 KW y otro para 1.5. ó 2 KW. El cátodo lleva dos filamentos separados, alimentados a través de un cable de 3 conductores (ambos filamentos tienen un conductor común).

Los tubos de ánodo estacionario se emplean ahora solamente en aparatos pequeños (equipos dentales).

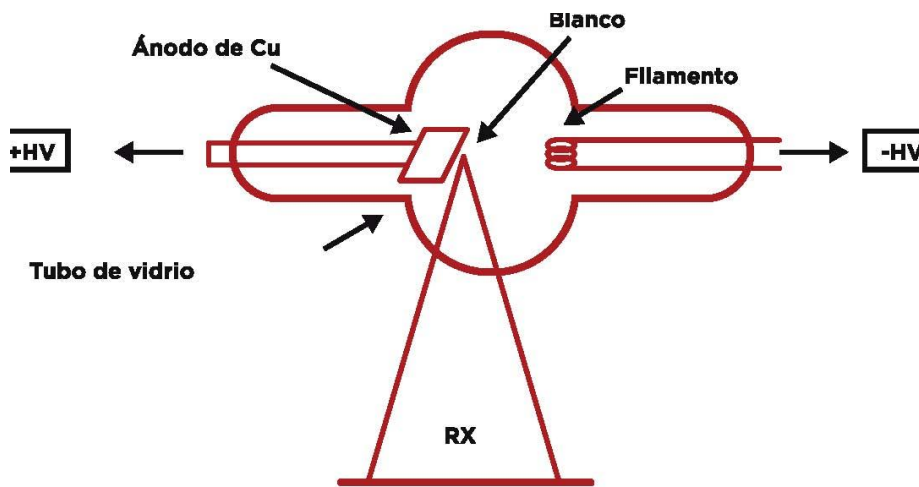


Fig. 1.4 Tubo de rayos x con ánodo estacionario

Tubos de ánodo giratorio. Mediante un ingenioso dispositivo, por el cual se hace girar el ánodo, el haz de electrones incide en el blanco de tal manera que antes de que el volframio pueda fundirse bajo el bombardeo electrónico, el blanco se desplaza y presenta a los electrones incidentes otra zona más fría para servir de foco (fig.1.5).

En contra de lo que ocurre en los tubos con ánodo estacionario, en los modernos tubos el ánodo giratorio no está hecho de cobre con un blanco de volframio embutido, sino que consiste en un disco en forma de hongohecho totalmente de volframio, disco que gira sobre un eje. El punto focal se encuentra en la zona inmediata al borde del disco.

El ánodo debe girar necesariamente con alta velocidad, que es aproximadamente de unas 3000 revoluciones por minuto o más.

Se debe hacer notar que si bien el ánodo gira, el foco mismo permanece estacionario; después de todo, el foco no es sino el sitio en el que incide el haz de electrones sobre el blanco, y esta sitio permanece evidentemente en una sola posición.

Conseguir que el ánodo gire tan rápidamente constituye una considerable dificultad técnica, ya que el ánodo gira en el vacío y no se puede prever, por tanto, lubricación alguna. Una grasa lubricante que se introdujera en el vacío produciría inmediatamente gas, que lo destruiría. En un principio los ánodos giratorios se rompían con frecuencia, inutilizando el tubo. Actualmente el empleo de lo que se conoce con el nombre de rodamiento de metal autolubricante, asegura una rotación mucho más suave y uniforme y la rotura del ánodo está prácticamente excluida. El par de rotación lo suministra una corriente eléctrica inducida por un campo rotatorio en el interior del tubo de vidrio. Este campo eléctrico lo proporciona un bobinado exterior. El efecto de tal inducción es la impulsión del ánodo, y una adecuada construcción de la bobina exterior y del ánodo giratorio en el interior del tubo (estator y rotor respectivamente) asegura la elevada velocidad de rotación requerida.



Los primeros tubos comerciales de rayos X de ánodo giratorio fueron introducidos por el holandés Bouwers. Por lo que se refiere a la carga específica, tales tubos constituyen un enorme adelanto, ya que un área focal dada puede soportar una carga aproximadamente diez veces mayor que esa misma área en un tubo de ánodo estacionario.

Los tubos de ánodo giratorio se caracterizan, pues, por su elevada carga específica y su foco relativamente pequeño.

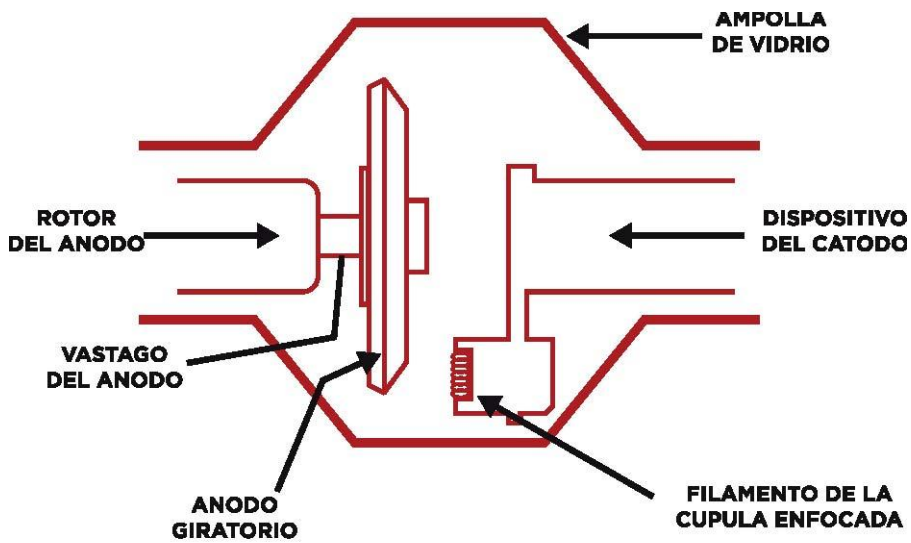


Fig. 1.5 Tubo de rayos x con ánodo giratorio

NORMAS DE SEGURIDAD  
EN LA OPERACIÓN DE  
EQUIPO MÉDICO DE RX

## **2.1 UNIDADES DE MEDICION DE RAYOS X**

Cuando un material radiactivo o dispositivo emiten partículas o fotones, libera energía. Esta energía es poseída por las partículas o fotones emitidos, los cuales la transfieren al medio circundante, con el que interactúan. La ionización de un gas sirve para determinar los niveles de radiación. Con base en este fenómeno se han definido varias magnitudes y unidades que son ampliamente usadas en protección radiológica y cada una tiene sus fines específicos.

### **2.1.1 EXPOSICION Y RAPIDEZ DE EXPOSICION**

La exposición es la cantidad de carga que la radiación electromagnética produce en una unidad de masa de aire y su unidad es el Roentgen, denotado por R. El roentgen se define como la cantidad de radiación gamma que en 1 cm<sup>3</sup> de aire seco en condiciones normales de presión y temperatura produce una unidad electrostática de carga; en estas condiciones la radiación electromagnética deposita  $5.432 \times 10^{13}$  eV en cada gramo de aire.

$$1R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

La rapidez o tasa de exposición se entiende como la rapidez con la que la radiación electromagnética produce cargas eléctricas en el aire. y su unidad es el Roentgen denotado por R.

## **2.2 EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACION**

### **2.2.1 EFECTO SOBRE EL TEJIDO VIVO**

No existe nada calificable como insensibilidad o hipersensibilidad biológica a los rayos X. En este sentido los rayos X se diferencian totalmente de los rayos ultravioletas, por ejemplo, a los cuales determinadas personas presentan considerables diferencias de sensibilidad.

Los rayos X actúan sobre todos los objetos vivos y tienen tres efectos principales, a saber: Inhiben el crecimiento. Destruyen el tejido epitelial. Producen inflamación.

Es por tanto evidente que la acción de los rayos X es fundamentalmente dañina, y el hecho de que el efecto biológico de los rayos x pueda utilizarse para el tratamiento de ciertas afecciones (radioterapia) se debe solo a que se pueden dañar las células enfermas más que las sanas, modificando así favorablemente la proporción entre estas y aquellas.

Para que la radiación sea biológicamente efectiva deberá ser absorbida en los tejidos. Esto se expresa por la ley biológica fundamental de Grotthus Draper, que establece que solo la energía absorbida puede ser biológicamente efectiva. Por tanto, la radiación que pasa totalmente inatentada a través de un cuerpo no puede producir efecto biológico en el mismo. La forma más simple de transformación de energía en el cuerpo consiste en la generación de calor. Otros efectos son específicos de la radiación, particularmente cambios eléctricos y químicos producidos en los tejidos por determinadas clases de radiación.

La absorción de rayos ultravioletas y de la luz visible da lugar a reacciones fotoquímicas, como, por ejemplo, la destrucción o intensificación de fermentos; esto puede ser parcialmente un efecto específico de la radiación absorbida y parcialmente resultado del calor generado por la radiación.

El efecto biológico puede a veces aumentarse mediante el empleo de "sensibilizadores" que, añadidos a una sustancia, hacen que ésta pueda reaccionar ante menores cantidades de energía. Los pigmentos resina y hematoporfirina son ejemplos de sensibilizadores para la acción de la luz.

En el caso de los rayos X y de los del radio, que son mucho más ricos en energía y capaces de penetrar los átomos, tenemos principalmente una emisión de electrones. Estos electrones, foto-electrones o electrones compton, pueden liberar electrones secundarios, terciarios, etc., según la energía que posean.

El número y tipo de procesos que se produzcan depende de lo que podríamos llamar oferta o demanda de la cantidad de energía necesaria. En la demanda de rayos x no se trata directamente del efecto de la energía absorbida misma (como sucede en la banda de rayos ultravioletas y de luz visible), sino de la emisión de electrones a que dan lugar, los llamados procesos radioquímicos.

Existen varias teorías acerca del efecto biológico de la radiación, siendo las más familiares las siguientes:

La teoría fotoquímica, de Holthusen, que supone que el efecto biológico consiste en múltiples microrreacciones químicas de naturaleza intracelular e intercelular.

La teoría de la permeabilidad, de Liechti, que se basa en el supuesto de que el efecto biológico de la radiación se debe a cambios en la permeabilidad de la célula.

La teoría del calor puntiforme, de Dessauer, que cree que la energía de la radiación consiste en “calor puntiforme”, es decir, en notables incrementos de temperatura en partes microscópicas de la célula.

La teoría del “golpe directo”, propuesta por Blau, Altenburger y otros, que considera que es necesario un cierto número de golpes o impactos directos en una célula para producir deterioro biológico. Un “golpe directo” se considera como el efecto compuesto de un grupo de iones. La probabilidad de que se produzca efecto biológico en una célula depende por tanto de la probabilidad de que reciba un impacto directo.

Aquí la acción parece tener una cierta similitud con las teorías de Dessauer y Holthusen, teniendo un importante efecto los radicales OH y HO<sub>2</sub>.

Mediante cálculos basados en la teoría de las probabilidades, Mesner trazo curvas en 1929 incluyendo variaciones individuales así como la probabilidad de un impacto directo; los resultados mostraron un buen acuerdo con la realidad.

## 2.2.2 EFECTO GENETICO

De gran importancia biológica es la propiedad descubierta por Muller en 1927, mediante ensayos con *Drosophila* (mosca de la banana), de que los rayos x pueden producir cambios de carácter hereditario en los núcleos de la célula; estos cambios se conocen con el nombre de mutaciones. Tales mutaciones son raramente favorables y casi siempre producen cambios biológicos e incluso pueden resultar fatales a la larga (las llamadas mutaciones letales).

El efecto genético de los rayos X sobre las células de las gónadas (glándulas sexuales) puede ser transmitido (de modo latente) de generación en generación, o hacerse manifiesto, por ejemplo, cuando la mutación misma es muy importante, o cuando en ella o en una generación posterior otras ulteriores agresiones a las células gonadales pueden causar un efecto acumulativo, y es precisamente este efecto acumulativo en el núcleo de la célula gonadal en una o más generaciones (que conduce a mutaciones como las observadas por Muller), el que ha atraído la atención hacia los efectos genéticos de las radiaciones ionizantes y ha conducido a un mejor conocimiento y protección contra los efectos indeseables de la radiación.

Los efectos biológicos de la radiaciones X o gamma constituyen precisamente el fundamento de la radioterapia, que será discutido en detalle más adelante. Sin embargo, incluso en el departamento de diagnóstico, se debe estar al tanto de los efectos biológicos de los rayos X, así como llevar acabo la investigación con una dosis de radiación lo menor posible (dosis paciente), y también procurar una protección suficiente para todos los que trabajan en el departamento.

## 2.3 PELIGROS DE LA RADIACION

El paciente se somete a la radiación primaria como secundaria al tomar la placa radiográfica. La radiación primaria es la que se emite desde el tubo de rayos X. Debido a que esta se emplea para exponer la película, el paciente recibe principalmente radiación primaria. Sin embargo, los rayos X no se reflejan en los objetos como lo hacen los rayos de luz visible. Tienden a ser absorbidos por los objetos hacia los cuales se disparan. Estos objetos, a su vez, emiten rayos X que van a irradiar otras materias en una reacción en cadena, de manera que el cuarto por completo y los cuerpos dentro de él son irradiados. Toda la radiación diferente a la radiación primaria se denomina radiación secundaria. Esta se debilita (o atenúa) al alejarse de la fuente de radiación primaria. Cuando nos exponemos solo en una pequeña área de tejido a la radiación primaria, al tomar radiografías en los pacientes, el término "superficie específica de radiación" se emplea por lo general. Sin embargo, la "radiación de cuerpo completo" también se presenta, debido a que todo el cuerpo se expone a la radiación secundaria.

Con frecuencia se escucha la pregunta siguiente: "¿Puedo caminar por detrás del cuarto o cerca de la unidad inmediatamente después de la exposición, o debo esperar algunos minutos? En otras palabras, ¿existe radiación prolongada? Si se prende una luz en un cuarto oscuro, el cuarto se ilumina instantáneamente. Cuando se apaga la luz, el cuarto se oscurece también

instantáneamente. Esta es la acción exacta de los rayos X. Se producen solo al existir corriente eléctrica que genere rayos X en el tubo. Cuando esta corriente se apaga, la producción de rayos X cesa instantáneamente, encontrándose el cuarto libre de cualquier vestigio de radiación primaria o secundaria.

Todos nosotros nos encontramos constantemente expuestos a algún tipo de radiación ionizante. En la atmósfera existe radiación cósmica. La radiación también proviene de elementos radioactivos en la tierra y en el mar. Además de las radiaciones naturales, existen muchas otras creadas por el hombre. La precipitación radiactiva en la atmósfera, resultado de las explosiones atómicas, es una fuente de incremento constante, y cantidades pequeñas de radiación se emiten por medio de artículos comunes tales como las carátulas luminosas de los relojes y los aparatos de televisión. Los rayos X médicos constituyen una fuente mayor de exposición para aquellos que se encuentran sujetos a ellos.

Sería imposible determinar con exactitud la cantidad de radiación que cada persona recibe de todas las fuentes. Sin embargo, sabemos que la radiación es básicamente peligrosa y que cualquiera que reciba radiación en los tejidos, como el exponerse a películas dentales, debe estar consciente de los peligros que esta implica. La irradiación de una célula viva siempre altera a la célula en alguna forma. La célula puede dañarse ligeramente, interrumpiendo temporalmente la actividad normal; puede dañarse permanentemente, o bien, puede morir como resultado de la exposición. La calidad y cantidad de radiación que recibe la célula y el tipo de célula irradiada determina el resultado final.

Las células genéticas y somáticas son dos tipos de células que constituyen los tejidos del cuerpo humano. Las células genéticas, que contienen los genes, están en íntima relación con la reproducción. Los demás células se clasifican como somáticas, por ejemplo, las células de la piel, del pelo, sangre, glándulas, hueso, nervios y músculos. Los diferentes órganos y tejidos orgánicos responden en forma diferente a la radiación. Las células que forman la sangre se alteran más fácilmente o se destruyen por medio de los rayos X, mientras que las células de músculos y nervios se afectan más difícilmente. Dentro de cada órgano o tejido específico, las células inmaduras o de reproducción rápida son más sensibles que las maduras o inactivas.

Los efectos perjudiciales de los rayos X son acumulativos. El efecto de una cantidad de rayos X determinada en una vez se añade a la cantidad determinada en la siguiente vez. Con cada dosis, el daño celular aumenta hasta que existe un cambio notable en los tejidos expuestos. Esto se denomina exposición crónica. Sin embargo, a excepción del tejido genético, este efecto acumulativo disminuye con el tiempo si el paciente no se somete a más exposiciones. Una exposición prolongada aguda se presenta cuando una sola dosis de radiación causa daño celular notable. Esto puede ser conveniente, por ejemplo, en la terapéutica por radiación, en la que el resultado es la destrucción de un crecimiento tumoral. Una unidad roentgen representada por el símbolo “r”, es la unidad o medida empleada para determinar la cantidad de radiación recibida por el paciente.

La cantidad de daño celular puede estimarse cuando se conoce aproximadamente la cantidad de unidades roentgen que se aplicaron sobre el tejido afectado.

El término “periodo latente” se emplea para describir el lapso desde la exposición de los rayos X hasta que se observa el daño. En pocos días, se observaran algunas reacciones resultantes de la exposición a la radiación. Otras reacciones toman unos 20 años o más desde la exposición hasta que se observan los efectos. Las personas que estuvieron expuestas a la radiación de las bombas atómicas que cayeron en Japón sufren aún los efectos posteriores. Uno de los resultados ha sido el aumento de la incidencia de leucemia.

El daño celular somático, después del periodo latente, se observa en la persona que fue expuesta a los rayos X. La lesión sana solo hasta cierto punto. El primer tejido irradiado durante la exposición es la piel. El resultado probable de una exposición excesiva de la piel, será una reacción eritematosa, un enrojecimiento de la piel similar al bronceado por el sol. Esto por lo regular aparece algunas horas después de administrada la dosis. La pigmentación de la piel suele reemplazar al eritema en una semana o más después de la exposición. Una exposición adicional en la misma zona trae como consecuencia la exfoliación de la superficie de la piel, que puede degenerar en úlceras persistentes. Esta condición degenerativa se conoce como dermatitis por rayos X y antiguamente se observaba en los dedos de un gran número de dentistas que caían en la costumbre de sostener las películas en la boca del paciente durante la exposición. Antes de que los daños por radiación fueran observados, ocurría con frecuencia. La pérdida de cabello, ya sea temporal o permanente, puede ocurrir también por una



exposición excesiva a los rayos X. Las posibilidades de que esto ocurra por el examen radio-gráfico convencional, son muy remotas. Las células del cristalino del ojo son incapaces de reproducirse por sí mismas; por ello, debe tenerse mucho cuidado para evitar la exposición del ojo a cualquier radiación innecesaria. Aun cuando suelen producirse reacciones por exposición excesiva en otras estructuras del cuerpo, por ejemplo, en los órganos hematopoyéticos o en los tejidos glandulares, el eritema es la reacción más común.

Una cantidad nociva de rayos X en los órganos reproductores puede causar lesión celular genética que implican una mutación de los cromosomas o en los ovarios o espermatozoides del paciente. El daño a los cromosomas es permanente, aunque es probable que no se lesionen en su totalidad. Si un espermatozoide u óvulo que contenga un cromosoma mutante toma parte en la fertilización, el daño puede observarse en los hijos del paciente o en generaciones futuras, según el tipo y gravedad de la mutación. Estas mutaciones pasan de una generación a otra y pueden modificarse en el futuro por radiación adicional, y estas mutaciones acumuladas se pasan a las descendencias futuras. Las células reproductoras del hombre, localizadas en los testículos, son más vulnerables a la radiación que las de la mujer, que se encuentran protegidas gracias a la localización interna de los ovarios. Las células reproductoras del paciente femenino reciben menos de la mitad de los rayos X bucales en comparación con las del hombre. Sin embargo, al tomar radiografías en una mujer embarazada, debe tomarse en cuenta que el feto es una masa de células de reproducción rápida, especialmente en el primer trimestre de la gestación. Este paciente debe recibir toda la protección posible, incluyendo una placa que cubra el abdomen.

## 2.4 METODOS PARA MEDIR DOSIS

Para determinar la dosis, es decir, la cantidad de rayos X administrada, se pueden usar muy variados métodos, todos ellos basados en las propiedades fundamentales de los rayos X. Con dosis se quiere decir el producto del régimen de dosificación multiplicado por el tiempo. Esencialmente se puede distinguir entre dos cosas:

Medidas del régimen de dosis, o sea, el régimen de dosificación en un momento dado y medidas de las dosis, comprendiendo todas las dosis separadas administradas durante un cierto tiempo (integradas) para llegar así a la dosis total.

Un dosímetro puede diseñarse de tal manera que mida directamente el régimen de dosis o que mida la dosis por integración. En el primer caso puede calcularse la dosis dada multiplicando el régimen de dosis por el tiempo de irradiación. En el segundo caso el régimen de dosis puede deducirse dividiendo la dosis total administrada por el tiempo de irradiación. Muchos dosímetros modernos son adecuados para realizar ambas clases de medidas.

## 2.4.1 METODO OPTICO

Este método se basa en el efecto luminiscente de los rayos X. En un principio sólo era posible hacer una estimación muy aproximada del régimen de dosis y este método sigue siendo aún útil para comprobar la presencia de radiación sólo con ver si una pantalla fluoroscópica se hace fluorescente o no. Sin embargo, interceptando la luz emitida con una célula fotoeléctrica también se puede usar esa luminiscencia para realizar medidas cuantitativas.

## 2.4.2 MEDODO FOTOGRAFICO

Una pequeña dosis de rayos X bastan para causar el ennegrecimiento de una película. El método fotográfico es, por tanto, adecuado solamente para descubrir o medir muy pequeñas cantidades de radiación X, sobre todo en el margen de dosis de tolerancia.

Se emplea principalmente para controlar la dosis recibida por personas que están expuestas regularmente a radiación ionizante.

## 2.4.3 METODO IONOMETRICO

Este método es exacto y conveniente , que es por ello de uso general, está basado en la acción ionizante de los rayos X.

Los rayos X ionizan los gases, y, por tanto, también producen la ionización del aire. El grado de tal ionización depende de la cantidad de rayos X, y en ciertas circunstancias el grado de ionización constituye una medida perfectamente segura de la cantidad de rayos X activos.

Para que se pueda utilizar como medida de dosis, debe existir una relación entre la ionización física y el efecto biológico de los rayos X; dicho con otras palabras, una cierta cantidad de rayos X, medida físicamente, debe corresponder siempre al mismo resultado biológico. Este es el caso con la ionización del aire, razón por la cual el método ionométrico puede considerarse como el más exacto para medir las dosis.

#### 2.4.4 DOSIS PERMISIBLE

Una cuestión de fundamental importancia es si el régimen de dosis puede “reducirse” hasta tal grado que no produzca un efecto biológico o, por lo menos, no un efecto demostrable. De hecho esto es posible como se ha demostrado a través de los siglos, ya que antes de que se descubrieran los rayos X la humanidad había venido estando expuesta a la acción ionizante de la radiación cósmica y a la de los elementos radiactivos de la tierra misma. Este régimen de dosis parece ser perfectamente tolerable, si bien sigue sin contestarse la pregunta de qué aspecto hubieran tenido los humanos si no hubieran estado nunca expuestos a estas radiaciones (conocida con el nombre de “radiación de fondo”).

El problema fundamental es el siguiente: ¿Existe una dosis de radiación ionizante a la que pueda ser sometida una persona, además de la radiación natural, sin riesgo de sufrir lesiones apreciables a lo largo de toda su vida? Este riesgo se llama peligro somático de la radiación, para distinguirlo del peligro genético, en el cual las mutaciones pueden surgir al cabo de varias generaciones.

Ya en 1925, Muntscheller llevó a cabo extensas investigaciones para determinar la dosis máxima permisible en personas que trabajaban en ambientes radiológicos, y llegó a deducir una “dosis tolerada” de 10-5 R/segundo para un periodo de trabajo de 40 horas semanales, lo que significaba una dosis total por semana de alrededor de 1.25 R. En cuanto a las gónadas dedujo, un poco arbitrariamente, que la dosis permisible era de un décimo de esa dosis total, o sea, de 0.125 R por semana.

Estas dosis tolerables fueron después rebajadas por el comité internacional de protección radiológica (I.C.P.R.), cuyas normas tenían también en cuenta los efectos biológicos de las distintas radiaciones ionizantes empleadas con fines médicos. Las dosis permisibles fueron, por tanto, expresadas en rem, siendo el rem la unidad de dosis biológica efectiva, o lo que es lo mismo, el producto de la dosis absorbida, expresada en rad y el efecto biológico relativo.

Teniendo en cuenta que con la gama de voltajes que se usan en diagnóstico y en terapia normal, un rad es aproximadamente igual a un R, y el efecto biológico es también aproximadamente igual a uno, podemos suponer en estos casos que una exposición expresada en rontgens es numéricamente igual que la dosis biológica relativa expresada en rem.

La dosis permisible para el personal radiológico se determina ahora por las siguientes normas:

La dosis permisible máxima que pueden recibir los órganos hematopoyéticos, las gónadas y el cristalino es de 3 rem en 13 semanas consecutivas, pero la dosis recibida debe también satisfacer la norma de que la dosis acumulada (D) no sea en ningún caso mayor que 5 (N18) rem, en cuya fórmula la N es la edad de la persona expresada en años. Esta fórmula  $D = 5 (N - 18)$  indica, por tanto, que una persona que tenga menos de 18 años no debe trabajar con radiaciones ionizantes de una manera permanente, mientras que una persona que tenga, por ejemplo, 25 años podrá recibir  $5 \times 7 = 35$  rem como dosis máxima permisible. Los que trabajan en gabinetes radiológicos no deben recibir como promedio más de 5 rem por año, calculados desde la edad de 18 años. En estos 5 rem no está incluida la dosis suministrada por la radiación natural y las dosis que pudiera acumular en el caso de ser sometido a exploraciones o tratamientos radiológicos.

Debemos señalar que estas normas se refieren a las dosis acumuladas en los órganos especificados en el párrafo anterior. La dosis en Roentgen a que puede ser expuesta la totalidad del cuerpo (la piel), es mucho mayor.

La dosis local en la piel, aparte la zona relacionada con los órganos a que nos referíamos antes, puede llegar a 8 rem en 13 semanas sucesivas y a 30 rem por año; la dosis piel en las manos, antebrazos, pies y tobillos, puede llegar a ser el doble, es decir, 15 rem en 13 semanas y 60 rem en un año.

La dosis máxima permisible para los órganos internos, salvo los mencionados en el apartado 1 es de 4 rem por 13 semanas y 15 rem por año.

Como las personas que trabajan con radiaciones son una minoría de la totalidad de la población, es lógico que las dosis máximas permisibles, previstas en estas normas, sean mayores para ellos que para ellos que para el resto de la población, incluidos los pacientes. Para esas personas, las dosis máximas permisibles son de 0.5 rem por año en los órganos hematopoyéticos, gónadas o cristalinos. Si bien es cierto que todas estas normas se basan en profundos trabajos experimentales, que garantizan la seguridad de las personas y de las generaciones venideras, es aconsejable, sin embargo, adoptar todas las medidas posibles para reducir aún

más las dosis recibidas por los pacientes y por los trabajadores en ambiente radiactivo, llevándolas a un nivel incluso mucho más bajo del que establecen esas normas.

## 2.5 PROTECCION DEL PERSONAL

Las personas que trabajan con rayos X nunca deben exponerse, bajo ningún pretexto, a la radiación primaria; esta regla es fácil de observar con sólo mantenerse fuera de la trayectoria del haz útil.

La situación y geometría del haz útil de rayos X están determinadas por el diafragma del tubo, el colimador o ambos accesorios a la vez. Fuera de los límites así definidos no debe haber radiación de energía suficiente para poner en peligro la salud. Existen regulaciones nacionales e internacionales sobre las medidas de protección necesarias, tales como el equivalente de plomo de las fundas de los tubos.

El personal debe evitar siempre colocarse en el haz útil, incluso aunque esté protegido con delantal de caucho al plomo o por una división de vidrio al plomo. Nunca es realmente necesario colocarse en el haz de rayos X, y puede que no sea seguro que la equivalencia en plomo del material protector esté prevista para soportar los rayos primarios. Además, el haz útil no debe dirigirse nunca contra una pared o tabique tras el cual trabaje otro personal, a menos que la división tenga un equivalente de plomo que asegure una protección completa.

La radioscopia debe llevarse a cabo con el haz más estrecho posible y con la mínima corriente en el tubo.

Nunca insistiremos bastante en la necesidad de evitar que el radiólogo o los ayudantes interpongan sus manos en el haz de radiación, como puede suceder, por ejemplo, al manejar al paciente para su colocación. Sobre todo en el caso de radiografías dentales en pacientes poco colaboradores, o cuando se trata de sujetar a niños muy pequeños, se cae en la tentación de hacerlo sólo por un momento, pensando que ese momento no puede dar lugar a ningún perjuicio.

Sin embargo, la dosis acumulada recibida de esta forma durante años puede dar lugar a graves lesiones, e incluso la muerte. Este es un concepto que está fuera de discusión. Si es necesario que alguien efectúe esas maniobras, debe hacerlas quien no está habitualmente en

contacto con radiaciones, y de preferencia alguna persona mayor de 45 años, por ejemplo, un familiar del paciente.

No sólo es peligroso el haz útil, sino también la radiación dispersa o secundaria. En el diagnóstico radiológico y en radioterapia la fuente principal de radiación secundaria es el paciente mismo. El grado de protección necesario está determinado por el hecho de que la radiación secundaria es más intensa si el volumen irradiado es grande y los rayos usados duros, y menos intensa si el haz es estrecho y los rayos blandos. Es muy difícil establecer un límite entre rayos blandos y duros en este sentido, pero puede decirse que por debajo de los 60 a 70 Kv la radiación dispersa constituye un peligro solamente en las inmediatas proximidades del objeto irradiado. Por arriba de los 70 Kv la radiación dispersa aumenta rápidamente en intensidad y en alcance. Resulta, pues, innecesario tomar precauciones complicadas –como, por ejemplo, apartarse mucho- cuando se hagan radiografías, por ejemplo, de las extremidades con una pequeña unidad de rayos X.

Cuando se emplean tensiones más altas (exámenes gástricos, radiografías con bucky, enemas de contraste, etc.) hay que evitar cuidadosamente exponerse a la radiación dispersa en las zonas próximas al haz, bien por medio de blindaje adecuado o manteniéndose a una distancia segura. Por ejemplo, durante una radiografía con bucky no debe permanecerse a los lados de la cama de exploración. El manipulador del pupitre de mandos debe también estar bien protegido, colocando el pupitre en otra sala o amparándose detrás de un escudo blindado con plomo o con cristal plomado.

Los delantales y guantes de caucho al plomo para protegerse contra la radiación dispersa (no contra los rayos primarios) deberán tener un equivalente de 0.25 mm Pb para tensiones hasta de 100 Kv y de 0.5 mm Pb hasta 150 Kv. El caucho al plomo tiene la tendencia a quebrarse y rajarse fácilmente, aun cuando en forma imperceptible; por esto los guantes y delantales deberán inspeccionarse y comprobarse regularmente.

No solo debe ser evitada la proximidad al paciente durante la irradiación, sino que hay que tomar también otras medidas: la parte del cuerpo situada en el haz de radiación debe ser considerada a su vez como una nueva fuente de radiación. La radiación dispersa surge del cuerpo en todas direcciones, y crea nuevas radiaciones dispersas en las paredes, suelo, etc.; si es posible, deben

construirse los departamentos radiológicos en pabellones aislados, y en cualquier caso debe cuidarse que no haya en sus inmediaciones habitaciones permanentemente ocupadas. Si esto es imposible, debe al menos reforzarse el blindaje todo lo que se pueda. La necesidad de tales medidas se ha confirmado a costa de lamentables experiencias.

## 2.6 PROTECCION DEL PACIENTE

En vista de la mayor frecuencia actual de los exámenes radiológicos, la protección del paciente está asumiendo una importancia cada vez mayor. Los pacientes son expuestos con frecuencia repetidamente a la radiación ionizante y es, pues, necesario mantener la dosis total lo más reducida posible. Como es natural, en este caso el peligro de la radiación ha de compararse con los peligros que entraña la enfermedad del paciente, cuya disminución es precisamente la finalidad del examen radiológico.

El radiólogo tiene la responsabilidad de asegurarse de que se han tomado todas las medidas para que las dosis que reciba el paciente sean las mínimas compatibles con la información que se debe obtener del examen.

En fluoroscopia la distancia foco-piel no debe ser demasiado pequeña; en algunos países es obligatoria una distancia foco-piel mínima de 35 cm. La mayoría de los equipos modernos tienen una distancia foco-mesa de 45-50 cm. El haz deberá estar adecuadamente filtrado; el filtro equivalente total recomendado es, por lo menos, de 2 mm de aluminio, lo que asciende normalmente a 1 mm de aluminio junto a la filtración inherente del tubo de rayos X. Para tensiones en el tubo superiores a unos 90 Kv, se recomienda un filtro extra por lo menos de 4 mm de aluminio ó 0.1 mm de cobre más 1.0 mm de aluminio.

Aparte de la dosis piel habrá de tenerse presente la dosis integral absorbida o dosis volumétrica. Esta dosis puede limitarse restringiendo la sección transversal del haz, junto con las medidas discutidas más arriba. En fluoroscopia es esencial una estrecha sección transversal del haz, no solo por lo que refiere a la seguridad sino también para mejorar la calidad de la imagen. Es evidente que los exámenes fluoroscópicos deberán hacerse en el menos tiempo posible y con la mínima corriente posible.

En el fondo lo mismo se puede decir de la radiografía que de la fluoroscopia, exepcto que la dosis correspondiente es, en general, mucho menor. En fluoroscopia con 90 Kv y 2 mA durante 2 minutos (2 X 120 seg. = 240 mas), por ejemplo, constituye una dosis tan considerable como la que se necesita para tomar 6 radiografías con 90 Kv y 40 mAs cada una.

Las reglas que se recomiendan encarecidamente en el trabajo de diagnóstico son las que se refieren a la protección de las gónadas. En los pacientes masculinos esta protección puede conseguirse, en general, fácilmente mediante protección del escroto con plomo o usando cápsulas de plomo sobre los testículos, sin que esto entorpezca el examen. En pacientes femeninos, sin embargo, donde se usa a veces una lámina de plomo para proteger los ovarios, la consecuencia posible es que escapen a la observación detalles esenciales.

Pero más eficaz que el blindaje es reducir todo lo posible el volumen corporal irradiado; este método tiene sobre el otro la ventaja de que reduce la cuantía de la radiación dispersa que llega a las gónadas a través del cuerpo.

Debemos hacer una distinción entre los casos en que las gónadas están incluidas en el haz primario y aquellos en que no lo están. En las radiografías de abdomen, que casi siempre incluyen las gónadas en el campo de exposición directa, podemos reducir las dosis en las gónadas empleando el mayor voltaje posible. Por el contrario en las radiografías de tórax, si bien es cierto que las tensiones altas reducen la cantidad de radiación necesaria, en cambio la radiación dispersa es más dura y, por tanto, penetra con más facilidad hasta las gónadas que la radiación dispersa procedente de un haz primario más blando.

Se requiere especial cuidado en el caso de las exposiciones abdominales (particularmente en fluoroscopia) de mujeres en la plenitud sexual, para evitar deterioro de los órganos genitales y teniendo en cuenta un posible embarazo, que puede o no ser exteriormente aparente. En los primeros meses de embarazo el feto es muy sensible a la radiación. Una dosis de 40 a 60 R recibidos por un feto de un mes pueden causar el aborto o deformación fetal; tales dosis no están descartadas en fluoroscopia.





3

CAPITULO

PROCEDIMIENTO  
PROPUESTO DE  
MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO

### 3.1 PROGRAMACION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Aproximadamente el 90% del servicio que presta la empresa es al IMSS del Distrito Federal. Para obtener el contrato de mantenimiento preventivo y correctivo a equipos de imageología (rayos X y ultrasonidos) se debe de ingresar a una licitación; en la cual, se explican entre otras cosas el número de mantenimientos preventivos. La duración del contrato es de un año. Normalmente viene especificado que se deben de dar 4 mantenimientos preventivos (uno cada tres meses) de 8 horas de duración y que los mantenimientos correctivos van incluidos en el costo total del contrato anual, y que se cobraran las refacciones que superen un cierto costo que también viene especificado en la licitación. Se tienen 24 horas para atender un reporte de mantenimiento correctivo. En la propuesta de la empresa aparte del precio que se va a cobrar, se realiza la programación de cada uno de los mantenimientos preventivos.

Al resultar ganador de la licitación la empresa debe de entregar en cada clínica una bitácora que se encuentra en la oficina del residente de conservación y la que se debe llenar cada vez que se va a dar un servicio ya sea preventivo o correctivo, así mismo un calendario en el que se especifiquen las fechas en que se realizaran los mantenimientos preventivos, dicho calendario se debe de entregar tanto al residente de conservación como al jefe del servicio de imagenología, para que así no se programen citas para las fechas indicadas en el calendario.

### 3.2 REALIZACION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Al presentarse en la clínica ú hospital primero se debe dirigir al residente de conservación para avisar que se va a realiza el mantenimiento preventivo programado, y se debe de llenar la bitácora, la cual se llena con la fecha y hora en que se presenta el personal de la empresa e indicando que se va a realizar el mantenimiento preventivo programado en la fecha indicada en el contrato; posteriormente se presenta ante el jefe del servicio de imagenología; de igual forma, para avisar que se va a realizar el mantenimiento preventivo; una vez que se nos autoriza a hacer el servicio se pregunta al técnico radiólogo (que es el usuario del equipo) los problemas que el equipo pueda tener para tratar de dar una solución durante la realización del servicio. La rutina que se sigue durante el mantenimiento es la siguiente. Dicha rutina puede variar según las características de cada equipo.

### 3.3 SALA DE RAYOS X CON MESA FLOTANTE

Las salas de rayos X de mesa flotante son las más sencillas y se utilizan solo para placas radiográficas, puesto que este tipo de salas no tienen fluoroscopia. Están formadas principalmente por: el generador, columna portatubo, tubo de rayos x, colimador, consola de control, mesa y buckys tanto de mesa como de pared.

#### 3.3.1 RUTINA DE MANTENIMIENTO

##### \*TUBO DE RAYOS X



- Revisión de receptáculos y bananas de cables de alta tensión.
- Cambio de grasa o aislantes para alta tensión.
- Revisión y limpieza de sistema de enfriamiento (ventiladores y/o radiadores).
- Reapriete de tornillos de fijación.
- Verificación de alineación del tubo.
- Inspección de inserto del tubo y constatar que no exista burbuja de aire.
- Revisión de pista del ánodo.
- Comprobar la existencia del filtro de 1.5 mm de aluminio.

**\*COLIMADOR**



- Revisión de la correcta iluminación del foco (>100 lux).
- Revisión y ajuste de perillas y movimiento de cortinillas.
- Revisión de coincidencia de luz de colimador con haz de rayos X.

**\* COLUMNA O SUSPENSION DE TECHO**



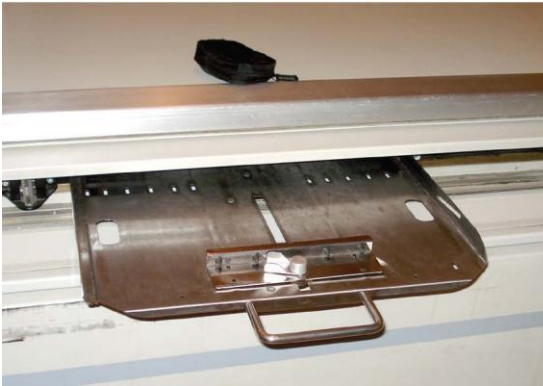
- Revisión de electrofrenos y movimientos.
- Limpieza y lubricación de rodamientos.
- Revisión y reapriete de rieles.
- Revisión de cable acerado, contrapesos.

\* MESA FLOTANTE



- Revisión de movimientos de mesa (longitudinal y transversal).
- Revisión y lubricación de baleros.
- Revisión de electrofrenos de movimientos.
- Revisión y limpieza de conectores y relevadores.

## \* BUCKY DE MESA Y/O PARED



- Revisión los movimientos horizontal y/o vertical.
- Revisión y ajuste de charola portachasis.
- Inspección de rejilla y oscilación de la misma.
- Revisión y limpieza de relevadores.

## \*GENERADOR DE RAYOS X



- Revisión de conectores y relevadores.
- Revisión de receptáculo y cables de alta tensión en transformador de A.T.
- Revisión de los correctos voltajes de alimentación a las diferentes tarjetas electrónicas.
- Verificación de la correcta forma de onda de las diferentes señales mediante el osciloscopio.

## \* CONSOLA DE CONTROL



- Revisión de la correcta iluminación del display indicador ó en su caso del correcto funcionamiento de los indicadores analógicos.
- Revisión de calibración del tubo de rayos X (Kv, ma, tiempo)
- Revisión de seguridades de carga.
- Revisión del correcto funcionamiento de cada uno de los puestos de trabajo.

## \* GENERAL

- Revisar el correcto funcionamiento de los ventiladores en cada módulo.
- Limpieza general externa del equipo.
- Revisión de temperatura ambiente.

Esta rutina es igualmente aplicable a equipos móviles de rayos X y equipos dentales salvo que estos no tienen ni buckys ni mesa radiográfica.

## 3.4 SALA DE RAYOS X CON MESA BASCULABLE

La rutina de mantenimiento preventivo para una sala con mesa basculable es similar a la de mesa flotante salvo que esta se puede mover de 0 grados hasta 90 grados para poder manipular al paciente, igualmente se puede mover la tabla de la mesa tanto transversal como longitudinalmente así mismo todos estos movimientos son generados por motores y no por electrofrenos como en el caso de las salas de mesa flotante. También este tipo de salas vienen con el equipamiento necesario para realizar fluoroscopias.

### 3.4.1 RUTINA DE MANTENIMIENTO

#### \*TUBO DE RAYOS X



- Revisión de receptáculos y bananas de cables de alta tensión.
- Cambio de grasa o aislantes para alta tensión.
- Revisión y limpieza de sistema de enfriamiento (ventiladores y/o radiadores).
- Reapriete de tornillos de fijación.
- Verificación de alineación del tubo.
- Inspección de inserto del tubo y constatar que no exista burbuja de aire.
- Revisión de pista del ánodo.
- Comprobar la existencia del filtro de 1.5 mm de aluminio.
- Revisión de la correcta iluminación del foco (>100 lux).
- Revisión y ajuste de perillas y movimiento de cortinillas.
- Revisión de coincidencia de luz de colimador con haz de rayos X.
- Revisión de la apertura automática del colimador con respecto a cada uno de los diferentes tamaños de chasis y cortes seleccionados.





**\* COLUMNA O SUSPENSION DE TECHO**



- Revisión de electrofrenos y movimientos.
- Limpieza y lubricación de rodamientos.
- Revisión y reapriete de rieles.
- Revisión de cable acerado, contrapesos.

\* MESA RADIO-FLOUROSCOPICA



- Revisar movimientos de seriografo, basculamiento y tabla.
- Revisión de cada microswtich de seguridad y/o potenciómetros de límite de movimiento.
- Calibración de cada uno de los movimientos de la mesa.
- Revisión, ajuste y lubricación de engranes, cadenas y bandas.
- Revisión de teclado de control de movimientos local y/o telemando.
- Revisión y limpieza de conectores y relevadores.

\* SERIOGRAFO



- Revisión de sensores de entrada y salida de charola
- Revisión de entrada y salida de rejilla.
- Revisión y ajuste detección de cada tamaño de chasis.
- Revisar la correcta apertura y cierre de cortinillas del seriografo dependiendo del número de cortes seleccionado.
- Revisión de la calidad de imagen en el intensificador.
- Revisión del teclado de control de funciones del seriografo.

## \* CADENA DE TELEVISION



- Revisión del control automático de exposición (AEC)
- Revisión de la calidad de imagen en el monitor (es).
- Revisión de centrado de tubo de rayos x con intensificador y con cámara de video.

## \* BUCKY DE MESA Y/O PARED



- Revisión los movimientos horizontal y/o vertical.
- Revisión y ajuste de charola portachasis.
- Inspección de rejilla y oscilación de la misma.
- Revisión y limpieza de relevadores.

## \* GENERADOR DE RAYOS X



- Revisión de conectores y relevadores.
- Revisión de receptáculo y cables de alta tensión en transformador de A.T.
- Revisión de los correctos voltajes de alimentación a las diferentes tarjetas electrónicas. -Verificación de la correcta forma de onda de las diferentes señales mediante el osciloscopio.

## \* CONSOLA DE CONTROL



- Revisión de la correcta iluminación del display indicador ó en su caso del correcto funcionamiento de los indicadores analógicos.
- Revisión de calibración del tubo de rayos X (Kv, ma, tiempo)
- Revisión de seguridades de carga.
- Revisión del correcto funcionamiento de cada uno de los puestos de trabajo.

## \* GENERAL

- Revisar el correcto funcionamiento de los ventiladores en cada módulo.
- Limpieza general externa del equipo.
- Revisión de temperatura ambiente.

## 3.5 TERMINO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO

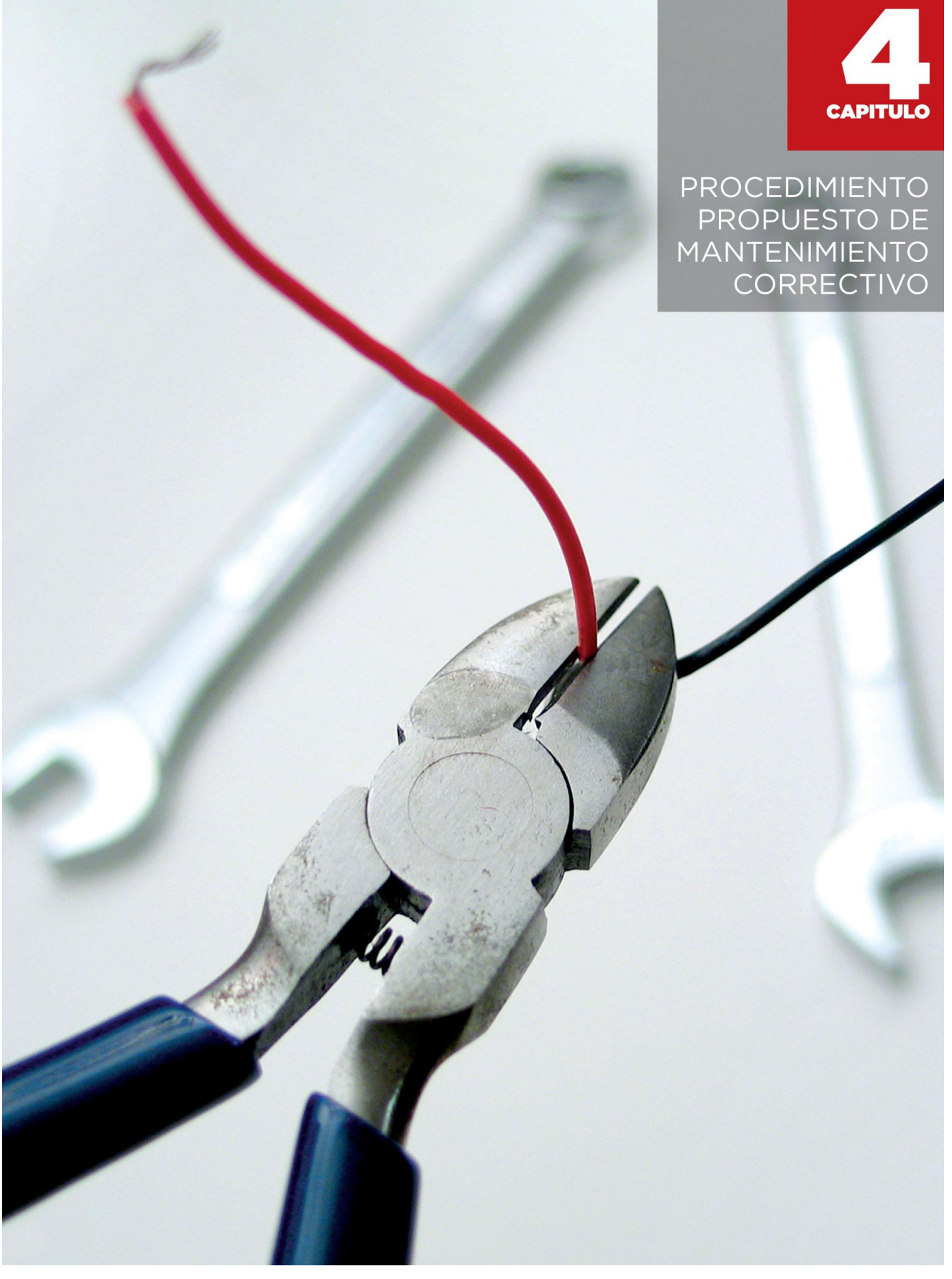
Al terminar el mantenimiento se firma la orden de servicio tanto por el técnico que realizó el servicio, el jefe de imagenología y el jefe de conservación, y se vuelve a llenar la bitácora, indicando la hora de salida y las condiciones en que se entrega el equipo. En la orden de servicio se pone el sello de la unidad con fecha y se entrega una copia de la orden de servicio al residente de conservación y así concluye el mantenimiento preventivo.

En el caso de que quede alguna reparación o detalle pendiente se debe de informar tanto al jefe del servicio como al residente. Normalmente los pendientes que quedan después de un mantenimiento preventivo no impiden que el equipo pueda seguir utilizándose, ya que para que esto suceda, debe de coincidir que el mismo día que el equipo se dañó es el mismo día que se programó el mantenimiento preventivo. Si durante la realización del servicio se detecta que hay algún problema que ponga en riesgo un daño mayor al equipo o que pueda poner en riesgo al personal o a un paciente se debe informar que el equipo queda fuera de servicio hasta que se le de solución a dicho problema.

4

CAPITULO

PROCEDIMIENTO  
PROPUESTO DE  
MANTENIMIENTO  
CORRECTIVO



#### **4.1 GENERACION Y ATENCION DEL REPORTE**

Al entrar el reporte a la empresa mediante una llamada telefónica, se genera un número de reporte, después de lo cuál se tienen 24 horas para atenderlo.

Al llegar el personal técnico a la unidad médica se debe de dirigir con el jefe de conservación para avisar que se va a atender el reporte, así mismo se debe de llenar la bitácora de trabajo. Posteriormente se dirige hacia el servicio de rayos x para informar al de igual forma que se va atender el reporte y una vez hecho esto se procede a la revisión del equipo.

#### **4.2 REPARACION DEL EQUIPO**

Las fallas que se pueden presentar en un equipo de rayos X son muchas por lo que aquí se explicara de forma general un procedimiento para reparar un equipo de rayos X.

#### **4.3 FALLAS DE FRENOS MECANICOS**

Las fallas de frenos mecánicos también pueden ser en masa flotante, columna portatubo y buckys normalmente son “tornillos” con una punta de goma que al apretarse hacen presión sobre un riel para mantenerse fijos; este tipo de freno se usa sobre todo en buckys y frenos de columna tanto longitudinal como vertical y angulación del tubo. En la mesa se usa una combinación con una bobina que al accionarse mueve un vástago que baja para poder desplazar la mesa y al subir este atora en un riel con perforaciones. Cuando este tipo de frenos falla es normalmente por un desgaste del tornillo o de la cuerda, y cuando esto sucede se cambian ya sean los tornillos o los vástagos.

#### **4.4 FALLA DE ELECTROFRENOS**

Las fallas de electrofrenos se pueden dar en la mesa flotante, columna portatubo y buckys, normalmente es el mismo circuito para todos los electrofrenos. En el caso de falla de los mismos se procede como se muestra en la figura 4.1.a y figura 4.1.b.



FALLA DE ELECTROFRENOS

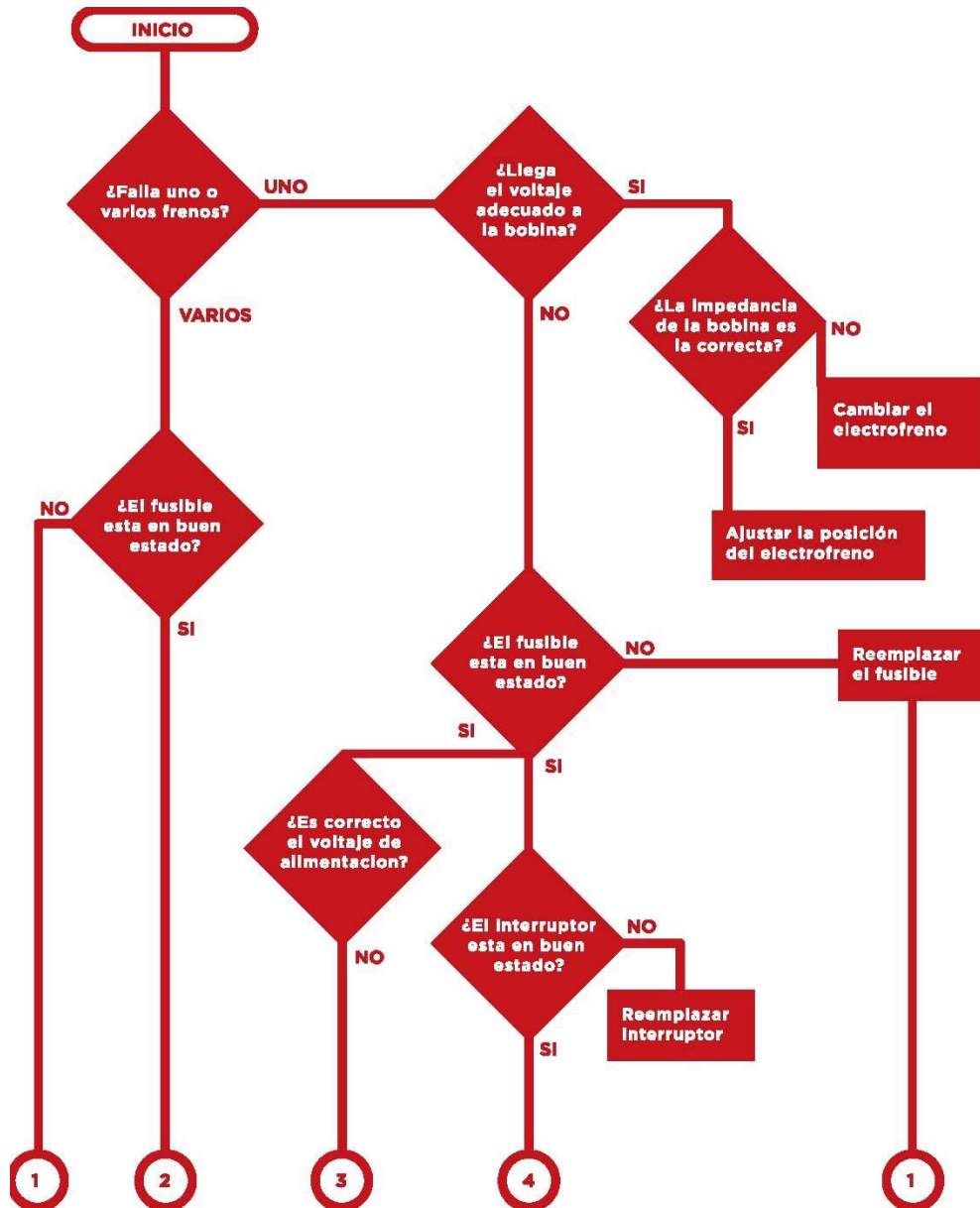


Fig. 4.1.a

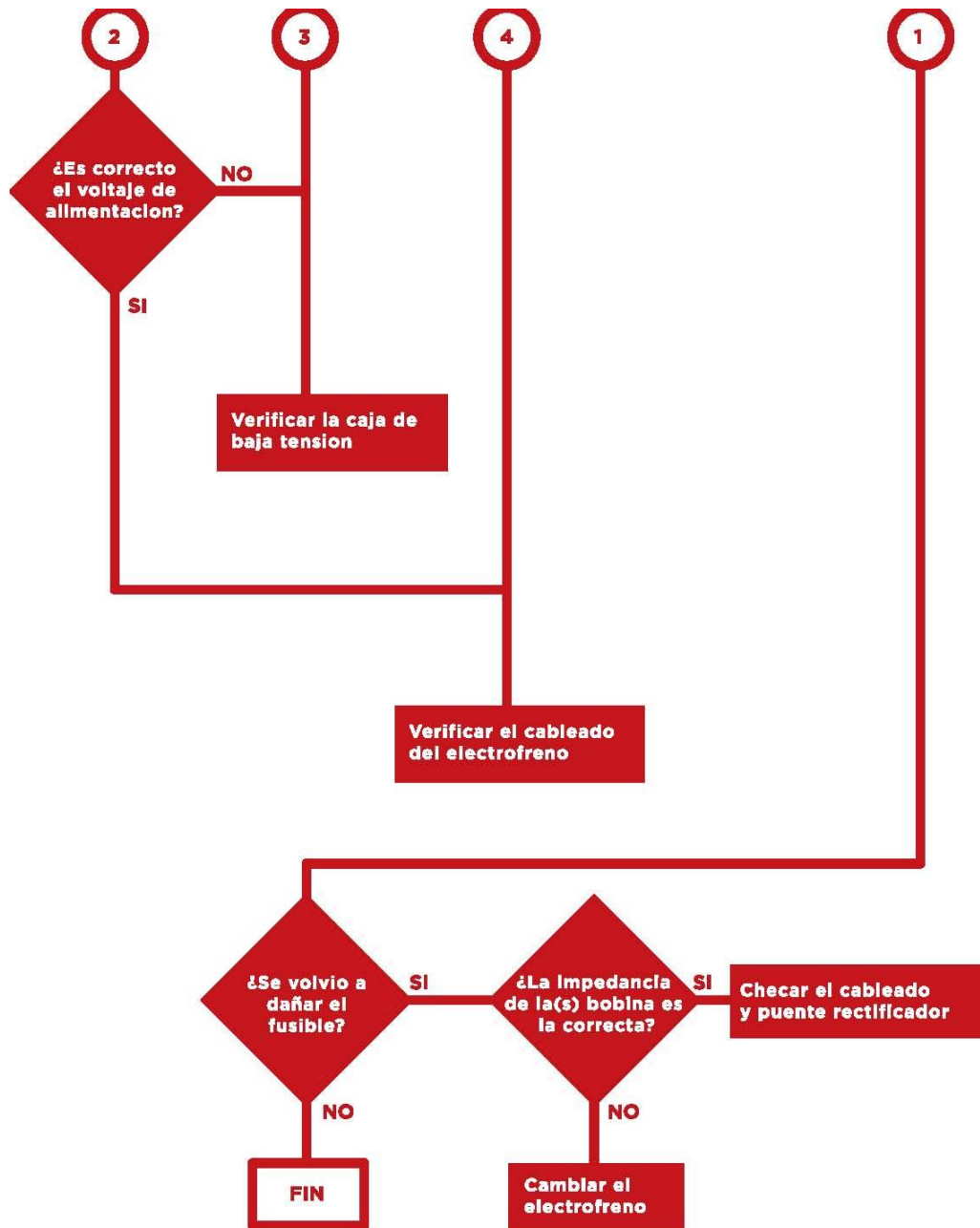


Fig. 4.1.b.

### 4.5 FALLA DE BUCKYS

El bucky es la parte del equipo en la que se coloca el chasis y este contiene una rejilla de aluminio que al momento de hacer el disparo de rayos X debe de oscilar para dispersar la radiación secundaria; si la rejilla no oscila no se autoriza el disparo de rayos X. para detectar el problema se procede como se muestra en la figura 4.2.

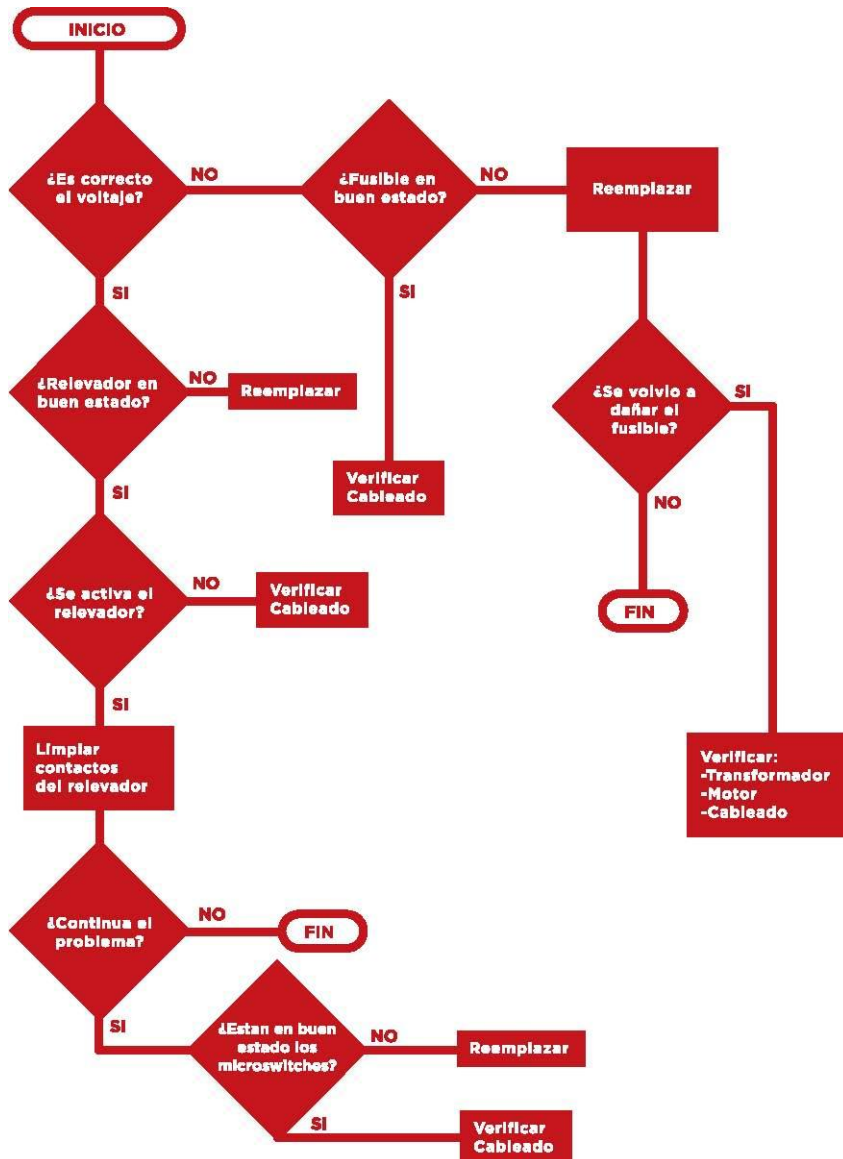


fig. 4.2

### 4.6 FALLA DE COLIMADOR

El colimador es la parte del equipo que nos permite delimitar el área del cuerpo que se quiere radiar. Por medio de la luz de un foco y unas cortinillas de plomo se ilumina el área que se quiere radiar y esa área iluminada es en la que debe de incidir el haz de rayos X. En caso de algún problema en el colimador se procede como se indica en la figura 4.3.

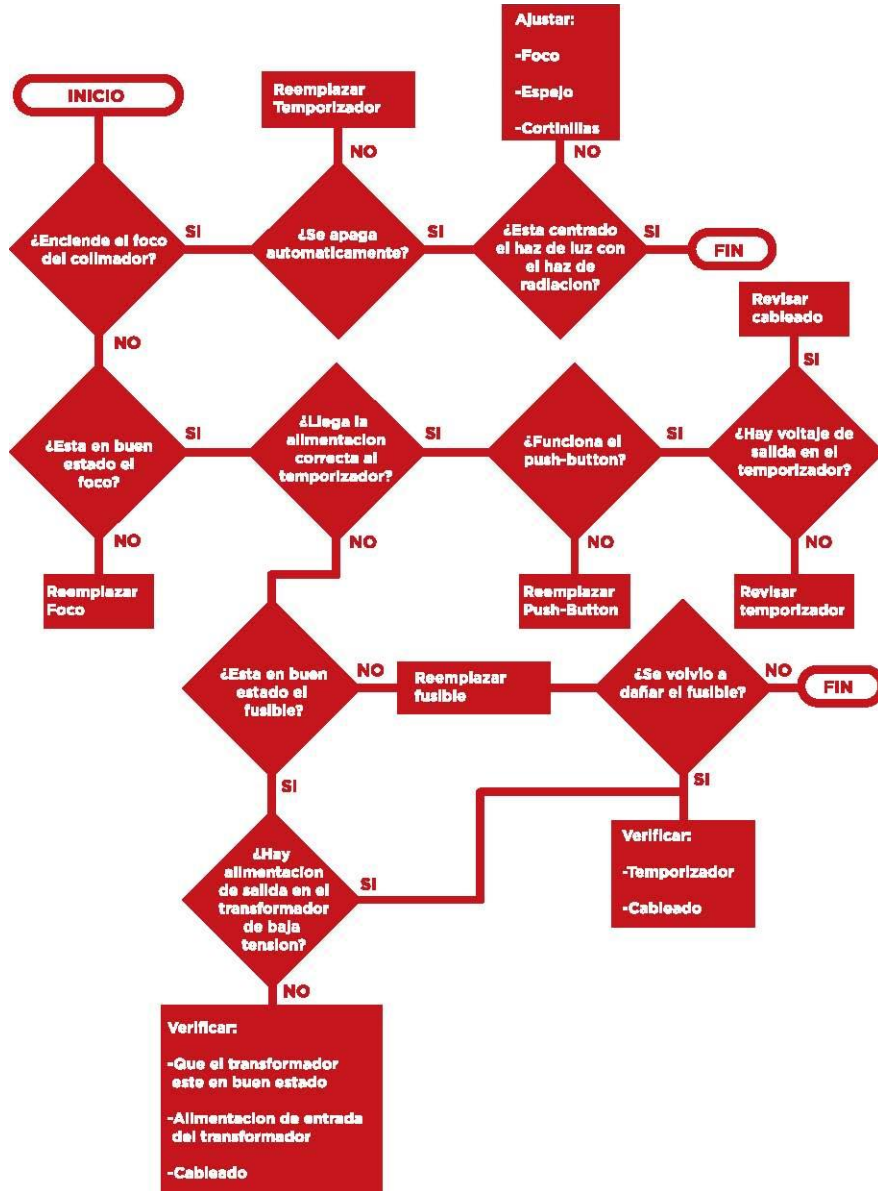


Fig. 4.3

### 4.7 MOVIMIENTOS EN LA MESA BASCULABLE

Cuando no hay movimientos en la mesa basculable se procede como se indica en la figura 4.4 si dicha mesa es controlada por medio de potenciómetros, y como en la figura 4.5 si es controlada con microswitch.

MESA CONTROLADA CON POTENCIOMETROS

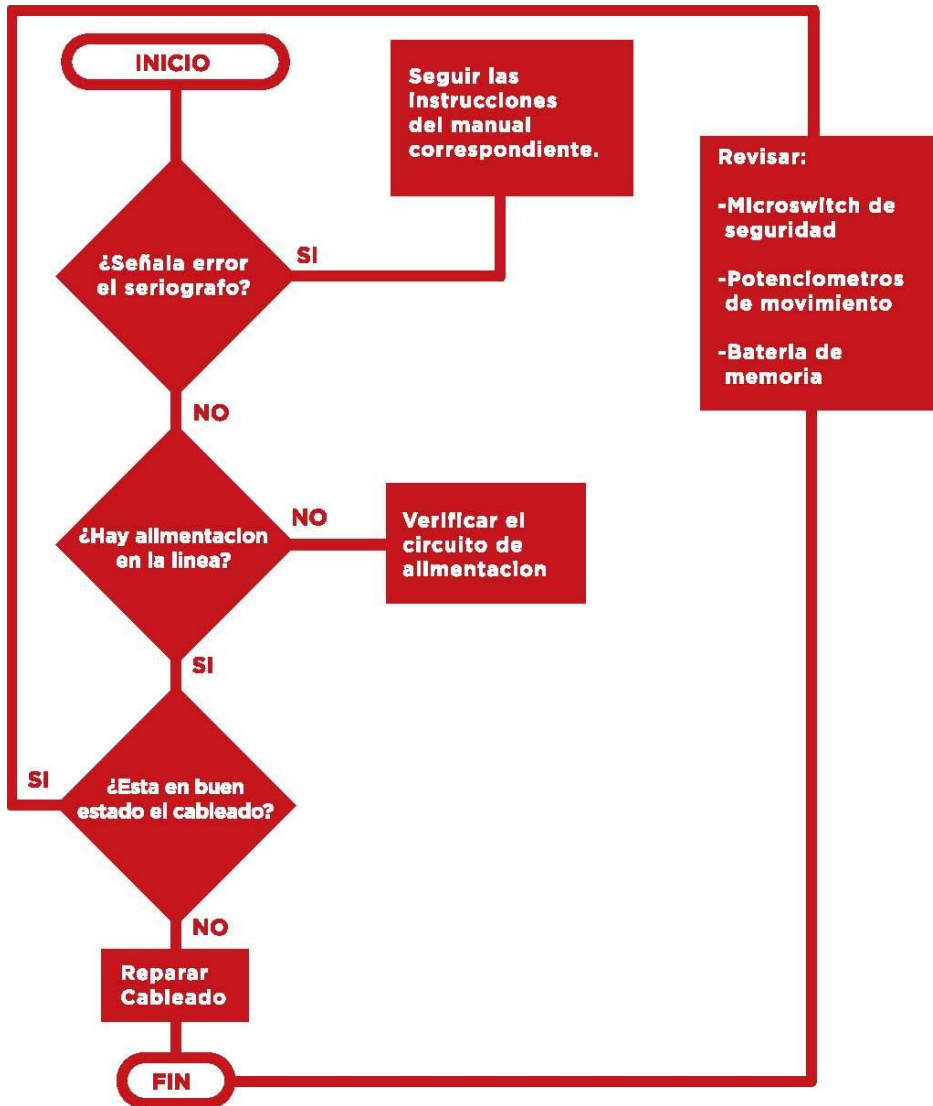


Fig. 4.4

## MESA CONTROLADA POR MICROSWITCH

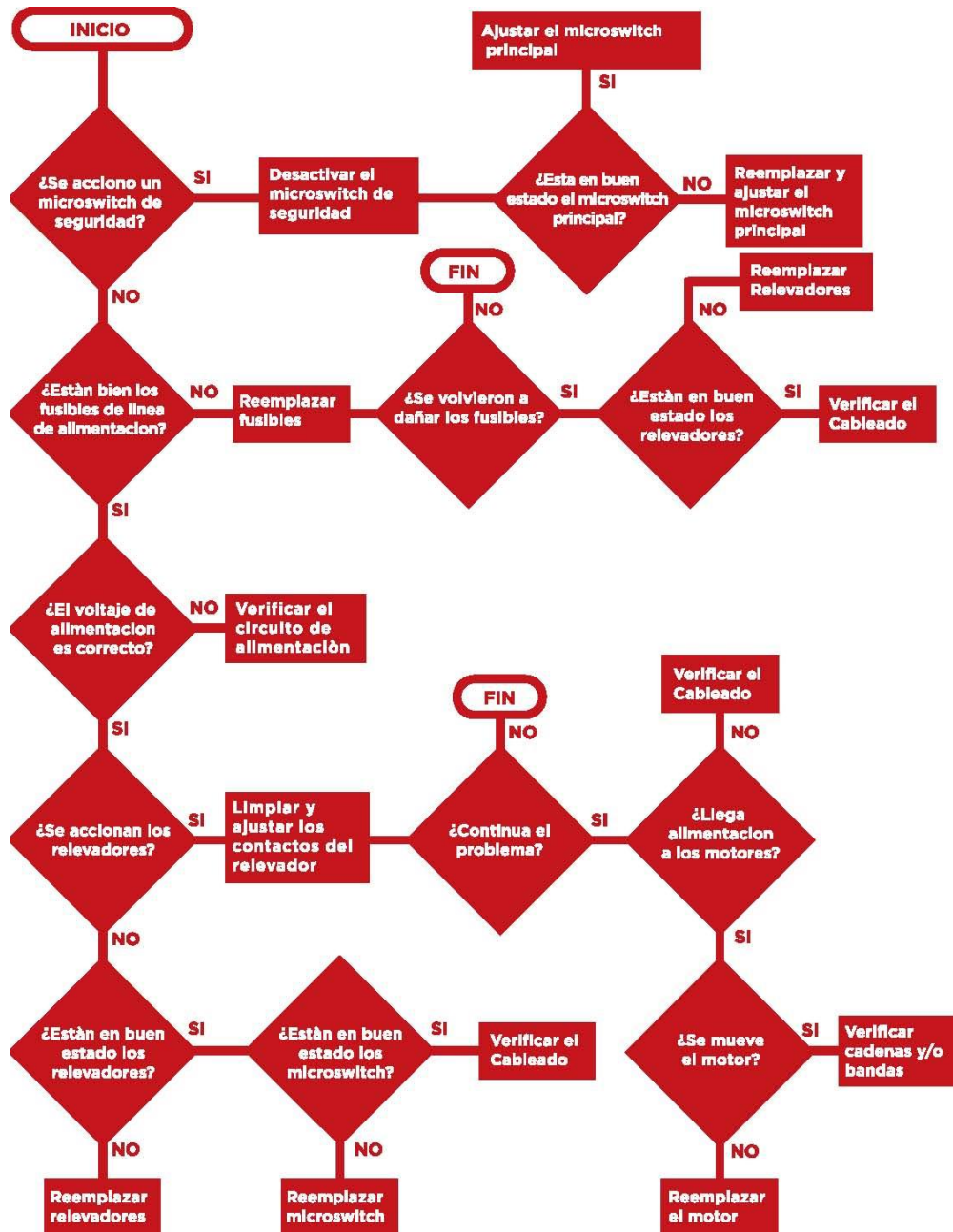


Fig. 4.5

### 4.8 FLOUROSCOPIA

Los equipos que tienen fluoroscopia nos permiten ver en tiempo real en un monitor el interior del cuerpo humano a diferencia de una placa convencional que se hace el disparo similar a una fotografía y luego se tiene que llevar a revelar la placa. Cuando hay alguna falla en el sistema de fluoroscopia se procede como se indica en la figura 4.6.:

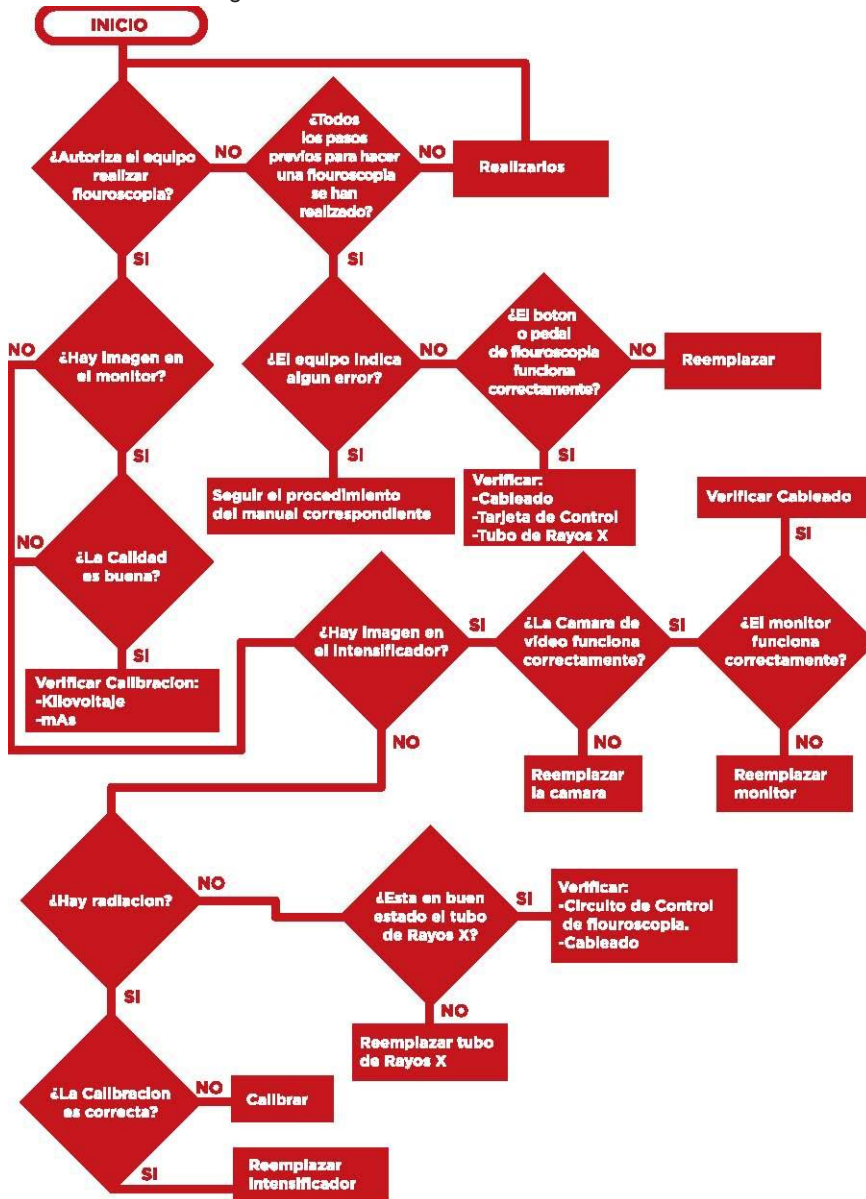


Fig. 4.6

## 4.9 GENERADOR Y TUBO DE RAYOS X

El generador es la parte del equipo en donde se encuentra tanto la etapa de control como de potencia para el suministro de alta tensión al tubo de rayos X. Cuando hay problemas con el generador se procede como se indica en la figura 4.7 si es monofásico ó trifásico y como la figura 4.8 si se trata de un generador de alta frecuencia.

GENERADOR MONOFASICO O TRIFASICO

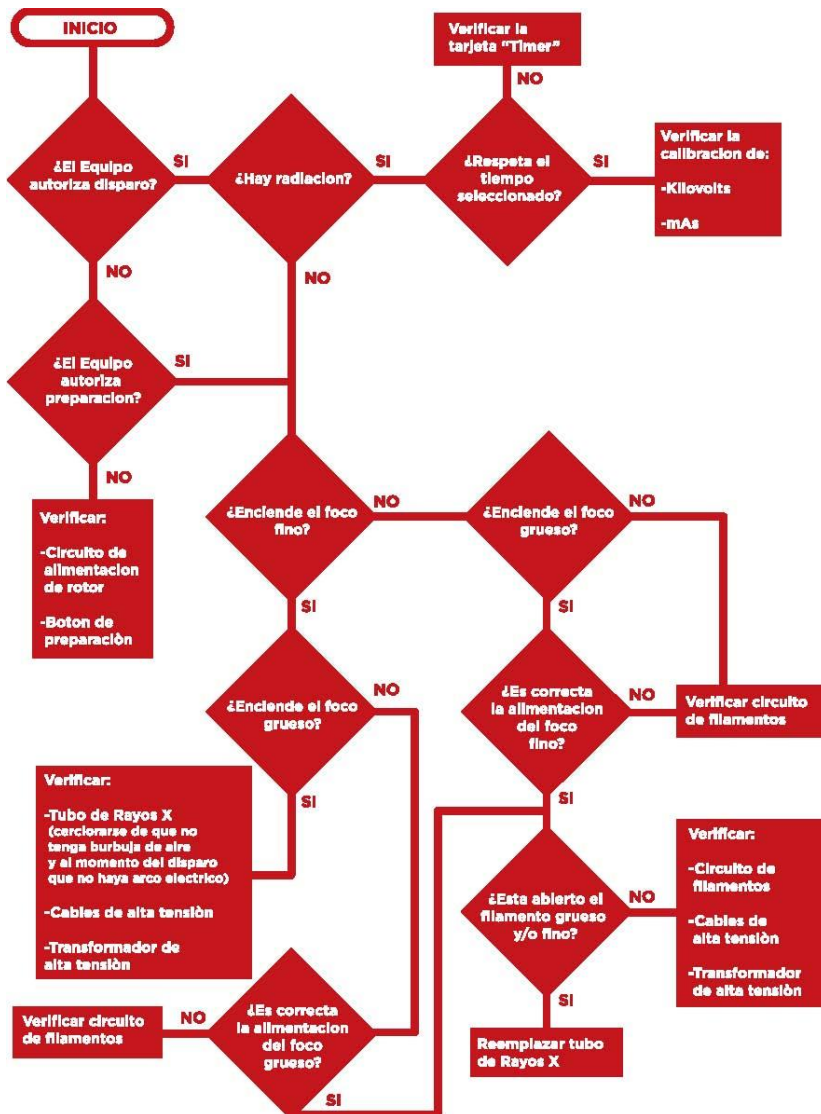


Fig. 4.7



## GENERADOR DE ALTA FRECUENCIA

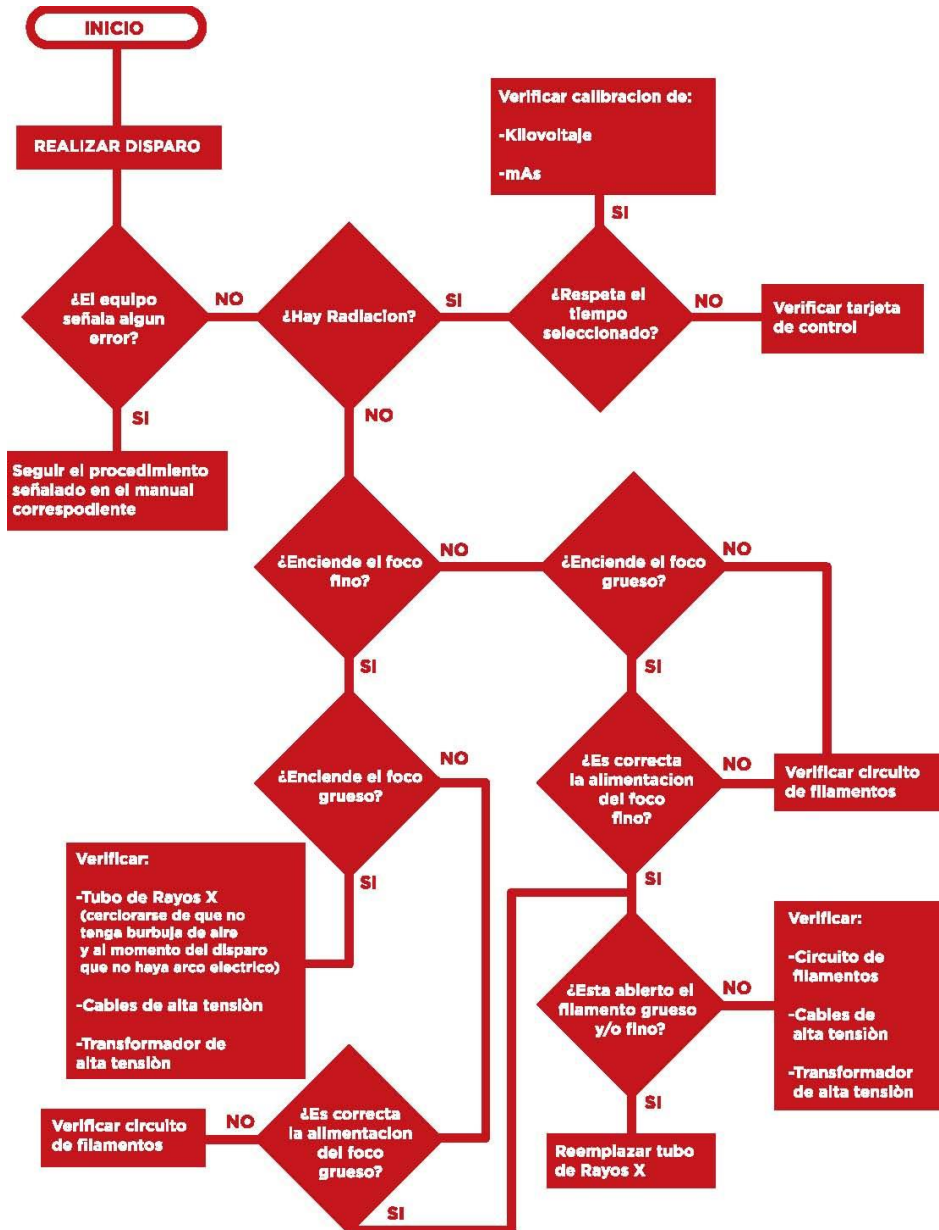


Fig. 4.8

#### **4.10 TERMINO DEL SERVICIO DE REPARACION**

Al concluir los trabajos de mantenimiento correctivo se debe de llenar la orden de servicio en la que se deben de incluir los siguientes datos: fecha de realización del servicio, nombre de la unidad médica, marca, modelo, número serie y número de inventario del equipo y localización del mismo. Después de esto se debe de indicar el trabajo que se realizo y si se emplearon refacciones también se debe de indicar.

Una vez llenada la orden de servicio la debe de firmar tanto el técnico que realizo el servicio, el médico responsable del equipo y el ingeniero de conservación y se vuelve a llenar la bitácora de trabajo, indicando de igual forma que en la orden de servicio, el trabajo que se realizo.

my ...  
Lorenz: Wie ...  
flügel ...  
wird ...  
Laflyng ...  
so ...  
ist ...  
Laflyng ...  
der ...

Los equipos de rayos X son de suma importancia en el campo de la medicina; puesto que mediante la imagen que estos generen, ya sea, en un monitor o en película radiográfica los médicos hacen su diagnóstico y es por esto, que se debe de dar un servicio de calidad, para que la proyección que estos equipos den, sea lo mejor posible y así facilitar a los médicos su diagnóstico.

Al tratarse de un equipo médico con el cual se pueden detectar enfermedades o traumatismos el hecho de que el equipo se encuentre fuera de servicio puede traducirse en que no se detecte una enfermedad o una lesión a tiempo.

Por lo tanto; son de suma importancia los mantenimientos preventivos, puesto que mientras mejor realizados sean estos, podremos reducir el número de mantenimientos correctivos y por lo tanto minimizar el tiempo que el equipo este fuera de servicio.

Durante los mantenimientos correctivos, es importante tener una rutina a seguir, puesto que esto; nos va a reducir el tiempo en la detección del problema y por consiguiente en la solución del mismo.

Van Der Plaats, G.J. "Técnica de la radiología medica".  
Ed. Paraninfo. Segunda edición. Madrid, España. 1972.

Hoxter, Edwin. "Técnica radiográfica". Ed. Grupo  
Técnica Medica. Primera edición. 1972.

O'Brien, Richard C. "Radiología Dental". Ed. Nueva Editorial  
Interamericana". Segunda edición. 1975.

Domínguez Anaya, Carlos Enrique. "Curso de proteccion y seguridad  
radiológica en el diagnostico medico con rayos X". Ed. ININ.

<http://www.geocities.com/fisicaquimica99/radiacion11.htm>

[http://www.uv.es/jros/tema5\\_rpr.pdf](http://www.uv.es/jros/tema5_rpr.pdf)

<http://www.smf.mx/boletin/Oct-95/ray-med.html>