

**MANTENIMIENTO Y FALLAS
EN
EQUIPOS DE RAYOS X**

ASPECTOS BASICOS DEL CORRECTO MANTENIMIENTO Y FALLAS HABITUALES EN EQUIPOS GENERADORES DE RAYOS X

1. INTRODUCCION:

1.1 Como premisa fundamental debemos considerar al equipo de Rayos X, como a un conjunto de elementos que requieren sean correctamente manipulados y sometidos periódicamente a operaciones de mantenimiento a saber: inspección, ajuste, reparación o cambio.

1.2 Para asegurar un correcto manejo es necesario:

- a) Poseer los conocimientos radiológicos mínimos.
- b) Exigir junto al aparato el manual de operaciones.
- c) Seguir al pie de la letra las instrucciones de dicho manual y en caso de duda consultar al vendedor.
- d) Si el equipo es manejado por varios, el dueño o encargado deberá vigilar el uso correcto del equipo por parte de los restantes operadores.
- e) Respetar las características operativas de los tubos de Rayos X.

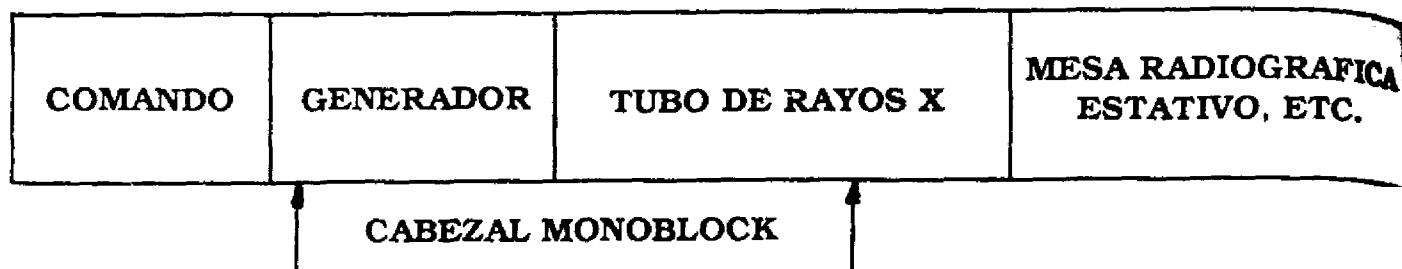
1.3 Operaciones de mantenimiento:

- a) Las operaciones de mantenimiento deben ser periódicas y su frecuencia dependerá de las características y función de los distintos componentes.
- b) El médico radiólogo puede contribuir muy eficazmente (como veremos más adelante) con esta tarea.
- c) Para facilitar esta tarea debe exigirse al comprar el aparato la siguiente documentación técnica mínima
 - Manual de operaciones
 - Diagrama de circuitos
 - Características eléctricas y dimensiones del o los tubos de Rayos X suministrados con el aparato
 - Listado de componentes.

2. ASPECTOS BASICOS DEL CORRECTO MANTENIMIENTO

2.1 Consideramos al equipo de Rayos X formado por los siguientes conjuntos:

Equipo de Rayos X



2.2 En el caso de equipos de cabezal Monoblock, el tubo y el generador de Rayos X se encuentran dentro de un recipiente común, por lo que constituye un solo conjunto.

2.3 Si bien el mantenimiento eléctrico y mecánico, es factor primordial para el funcionamiento del equipo de radiodiagnóstico es también importantísimo en lo que respecta a apariencia y conservación.

Hemos rescatado algunos equipos dados de baja por su deplorable aspecto exterior no obstante haber comprobado posteriormente muy buen rendimiento.

2.4 Como reglas fundamentales podemos citar:

- a) Mantener un programa de inspección preventiva.
- b) No escatimar al técnico de mantenimiento la visita periódica o el recambio de elementos.
- c) Exigir dentro de lo posible repuestos originales.

2.5 En caso de no poder mantener un programa de inspección el radiólogo deberá llevar registrada "la historia clínica" del aparato, es decir anotar cronológicamente las fallas, reparaciones y repuestos utilizados para guía del futuro reparador.

2.6 Cuadro ilustrativo de acuerdo a los conjuntos en que hemos dividido al aparato de Rayos X por tareas personal que la ejecuta y frecuencia.

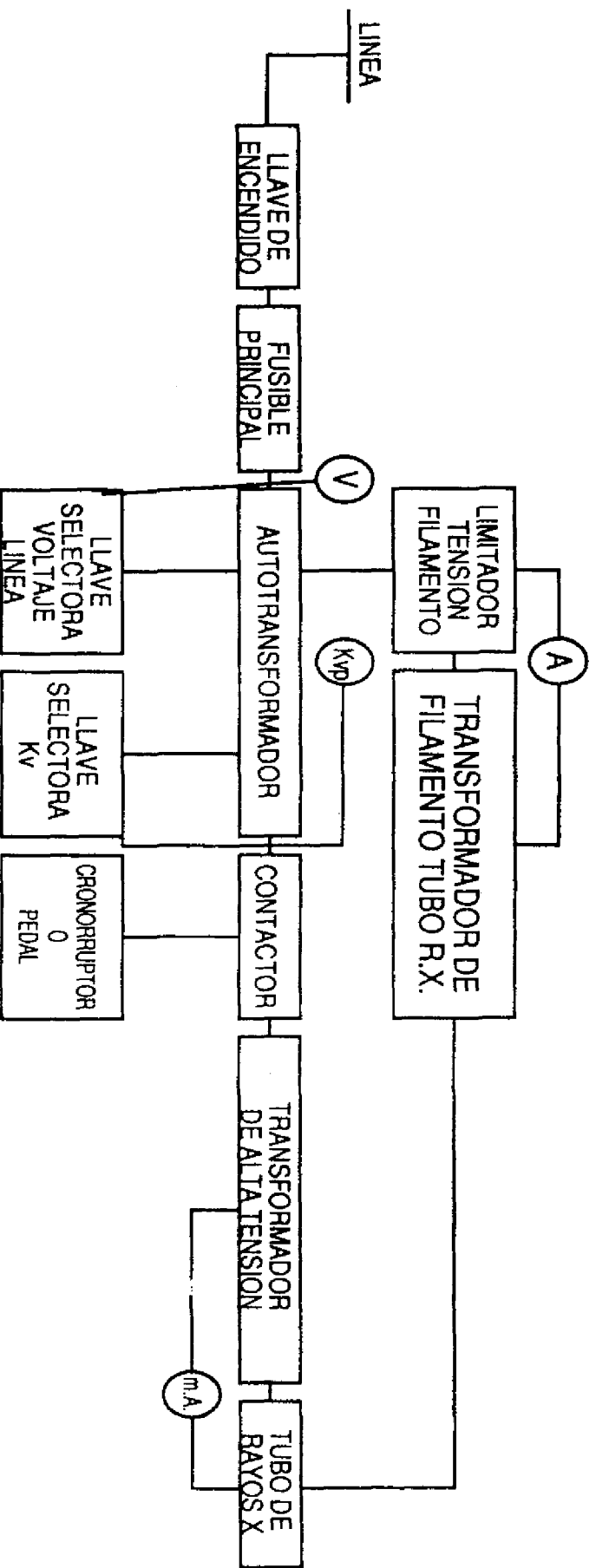


DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE RELACION ENTRE PARTES PRINCIPALES DEL APARATO DE RAYOS X Y SUS DISPOSITIVOS DE MEDICION CONTROL Y MANDO (AUTORRECTIFICADO)

3. Fallas habituales en equipos Generadores de Rayos X

3.1 Más del 80% de las fallas habituales en estos equipos son debidas a los elementos de mando auxiliares.

3.2 a) Muchas veces como consecuencia de errores cometidos en la reparación, de los circuitos auxiliares, o la ausencia de un control periódico de los mismos se ocasionan costosas averías.

b) La mayoría de estos equipos en especial tubos y rectificadores son de alto valor.

c) Es por esto importante la contratación de un servicio de mantenimiento preventivo a la casa vendedora y en caso de no poder optarse por este sistema, contratar para las reparaciones, técnicos de reconocida capacidad.

3.3 Partes principales de los equipos generadores de Rayos X, elementos de control, medición y mando. Definiciones y fallas más comunes.

3.3.1 Entrada de suministro eléctrico : Se entiende por tal, los cables que llegan hasta la llave general, ésta, su fusible de protección y los cables que saliendo de los fusibles conectan con el comando.

En el caso de equipo portátil los cables de conexión al toma-corriente, éste, la ficha macho correspondiente y los cables de conexión al comando.

Su instalación o funcionamiento incorrecto puede ocasionar:

- a. Que el equipo no encienda**
- b. Bajo rendimiento**
- c. Oscilación y falla en los medidores**
- d. Funcionamiento incorrecto en mesa radiológica**

3.3.2 Fusibles: Abren el circuito cuando circula por él una corriente de mayor valor que la admisible.

Su valor en amperes debe ser el estipulado por el fabricante. Si es bajo pueden impedir el trabajo del equipo en máxima carga. Si por el contrario es alto, no cumplirán su función de protección pudiendo dañarse el circuito.

3.3.3 Interruptor principal: Habilita o interrumpe el paso de energía eléctrica al autotransformador.

Si su mecanismo fallase podría ocasionar que el equipo "no encienda" o por el contrario no se desconecte al accionar el interruptor.

3.3.4 Autotransformador: Está constituido de un núcleo de hierro cerrado y un solo arrollamiento que hace las veces de primario y secundario. Las principales funciones que cumple en el equipo de Rayos son:

- a) Compensar las variaciones de la tensión de línea.
- b) Obtener del transformador de alta tensión diferentes valores de Kv. alimentando en forma variable su primario.

Correctamente dimensionados no presentan fallas.

3.3.5 Limitador de tensión de filamento: Es una resistencia o serie de ellas cuya función es entregar un voltaje variable al transformador de filamento de manera de regular la corriente que circula por el filamento del tubo de acuerdo con sus características de emisión (valores de mA correspondientes a la corriente que circula por el filamento del tubo para un Kv. determinado). Funcionando incorrectamente puede ocasionar:

- a- Que el tubo no encienda
- b- Bajo rendimiento de mA
- c- Destrucción del tubo.

3.3.6 Transformador de filamento: Es un transformador reductor con relación de transformación fija que produce valores apreciables de corriente a bajo voltaje. La función de esta corriente es calefaccionar el filamento del tubo de Rayos X hasta la incandescencia para lograr la emisión de electrones.

Fallas usuales:

a- Transformador en cortocircuito o interrumpido el circuito primario o secundario, en ese caso puede suceder:

1) Que no encienda el tubo; 2) Que el miliamperímetro no acusé lectura al conectarse la alta tensión; 3) Que la lectura del miliamperímetro no corresponda a la calibración del equipo.

b- Perforación en el material aislante. En ese caso se producirán los siguientes comportamientos anormales: 1) el miliamperímetro se irá a tope u oscilará violentamente. 2) Un descenso brusco del kilovoltímetro. 3) La desconexión del aparato por acción de su sistema de protección.

3.3.7 Transformador de alta tensión: Es un transformador elevador (de relación fija que varía entre 1/400 y 1/1000) cuya función es producir una diferencia de potencial de miles de voltios necesarios para generar los Rayos X.

Fallas usuales:

a- Cortocircuito o interrupción del primario o secundario, ocasionará efectos similares a lo descrito en el punto anterior (3.3.6 a).

b- Perforación del material aislante: También producirá efectos similares al punto anterior (3.3.6 b).

EN CASO DE QUE EN SU EQUIPO SE PRODUZCAN ANORMALIDADES CITADAS EN PUNTO b) SUSPENDA EL FUNCIONAMIENTO DEL MISMO Y SOLICITE EL SERVICIO TECNICO DE INMEDIATO.

3.3.8 Rectificador: Su objeto es detener la media onda negativa de la corriente de alta tensión.

En los equipos autorectificados el tubo de Rayos X deja pasar corriente durante medios ciclos positivos intermitentes, pero durante la detención de la media onda negativa acumula calor. El calor es un factor que limita la carga y el tiempo de funcionamiento del tubo. Este problema del calor es fundamental en el diseño del mismo. La introducción del rectificador en el circuito evita que el tubo se sobrecargue de calor innecesario con el trabajo de rectificación. En la actualidad se emplean los siguientes sistemas de rectificación: para equipos de Rayos X: a) Autorectificados. b) Rectificación de media onda (casi no se usa). c) Rectificación de onda completa de: dos pulsos, (monofásicos o bifásicos) seis pulsos (hexafásicos), 12 pulsos (dodecafásicos). Estos dos últimos para potencias superiores a 500 mA. d) generación de alta frecuencia rectificada (Los más modernos).

La rectificación se realiza por intermedio de válvulas rectificadoras de alta tensión "Kenotrones" o por intermedio de rectificadores de silicio, estos últimos han suplantado en la actualidad a las válvulas, no obstante se encuentran en funcionamiento en nuestro país numerosos equipos con rectificación valvular.

Fallas habituales:

a- Transformadores de filamentos de válvulas con perforación en el material aislante. Ocasionará efectos similares a los descritos en el punto 3.3.6 b.

b- Válvulas quemadas: Ocasionará que en el miliamperímetro no acuse lectura al conectarse la alta tensión.

c- Válvulas rectificadoras gasificadas o rectificadores secos perforados: El miliamperímetro acusará valores que no corresponderán a la calibración del equipo.

Elementos de control y mando:

3.3.9 Cronorruptor o reloj disparador, o temporizador: Su función es regular el tiempo de emisión de Rayos X. Actúa sobre el contador que habilita el primario del transformador de alta tensión.

Funcionando incorrectamente puede ocasionar:

- 1- Que los tiempos de emisión no sean los preseleccionados.
- 2- Que no accione el contactor de A.T.

3.3.10 Contactor del Primario de alta tensión: Su función es abrir y cerrar el circuito que componen el autotransformador y el transformador de A.T.

Fallas usuales:

1. Contactos erosionados y asiento irregular, ocasionarán bajo rendimiento del equipo.
2. Fusión y soldadura de los contactos. El equipo queda en disparo permanente.
3. Bobina de accionamiento quemada o desconectada. El equipo no disparará.

3.3.11 Llave reguladora de línea o mecanismo equivalente. Su función es conmutar un número variable de vueltas del autotransformador para compensar las variaciones de tensión de la línea de suministro.

Esta compensación se hace también mediante llaves selectoras motorizadas en forma manual o automática.

Fallas usuales (de las llaves giratorias mecánicas)

- a- Que giren arrastrando todo el mecanismo. No se podrán seleccionar técnicas y existirá la posibilidad de desprendimiento de algunos cables.
- b- Contactos que no asientan bien, producirán oscilación en el instrumento de lectura de línea, rendimiento irregular del equipo y con el tiempo destrucción de estos contactos.
- c- Las fallas de los sistemas motorizados de accionamiento manual o automático dependerán del sistema, construcción y calidad de los componentes empleados.

3.3.12 Llave selectora de Kilovoltage o mecanismo equivalente: Su función es conmutar un número variable de vueltas del autotransformador con objeto de entregar al primario del transformador de alta tensión valores de voltajes correspondientes a valores de kilovoltajes utilizados en las distintas técnicas radiográficas.

Las fallas que presenta son similares al punto anterior apreciándose las oscilaciones por efectos de contactos en el kilovoltímetro.

Instrumentos indicadores:

3.3.13 Voltímetro: Indica las desviaciones de la tensión correcta con la que el autotransformador ha de alimentar al resto del equipo. Debe ser consultado permanentemente.

Fallas usuales:

- a- Que no indique lectura.
- b- Que falsee los valores. Puede ocasionar bajo rendimiento, o destrucción de la aislación eléctrica.

3.3.14 Kilovoltímetro: Nos da la idea del kilovoltage que vamos a aplicar al contactor de A.T.

Fallas usuales:

- a- Que no indique lectura.
- b- Que falsee los valores. Errores en las técnicas radiológicas.

3.3.15 Amperímetro de Calefacción: Nos da una idea de la corriente que circula por el filamento del tubo de Rayos X y por consiguiente del rendimiento de mA que tendrá. Tiende a desaparecer en los equipos actuales.

Fallas usuales:

- a- Que no indique la lectura.
- b- Que falsee los valores.

3.3.16 Miliamperímetro: Indica la corriente que circula en el circuito de alta tensión en el momento del disparo.

Fallas usuales:

- a- No acusa lectura.
- b- Que falsee los valores.

3.4 TUBO DE RAYOS X: Recomendaciones para alargar la vida del mismo:

- a- El filamento del tubo se vaporiza drásticamente con altas intensidades

- REDUCIR EL TIEMPO DE PREPARACION GRAFIA.

- b- Una técnica cuya carga esté por encima de la permitida provocará la fusión de la pista anódica.

- RESPETAR LOS ABACOS DE CARGA.

c- Las secuencias demasiado rápidas pueden calentar excesivamente el ánodo.

- CONSIDERAR SIEMPRE LA CURVA DE ENFRIAMIENTO-RESPETAR LAS PAUSAS.

d- Fuertes cargas sobre el ánodo frío pueden producir dilataciones diferentes en el metal agrietándolo o rajándolo.

- PRECALENTARLO CON DOS DISPAROS DE BAJA CAPACIDAD.

e- Todo tiempo que está girando el ánodo reduce la vida de los rodamientos

- EVITAR QUE GIRE EL ANODO INUTILMENTE

f- Un exceso de temperatura del tubo en su conjunto y del aceite, reducirá su vida

- ASEGURAR UNA BUENA REFRIGERACION

5. CIRCUITOS AUXILIARES

a- Estabilizador de filamento: Su objeto es estabilizar la caída de tensión del transformador de filamento y consecuentemente el valor de la corriente que circula por el filamento del tubo.

b- Compensador de carga espacial: Su objeto es reducir el aumento de miliamperaje para un mismo valor de corriente de calefacción que se produce al aumentar el kilovoltaje.

6. CIRCUITOS DE PROTECCION MAS IMPORTANTES

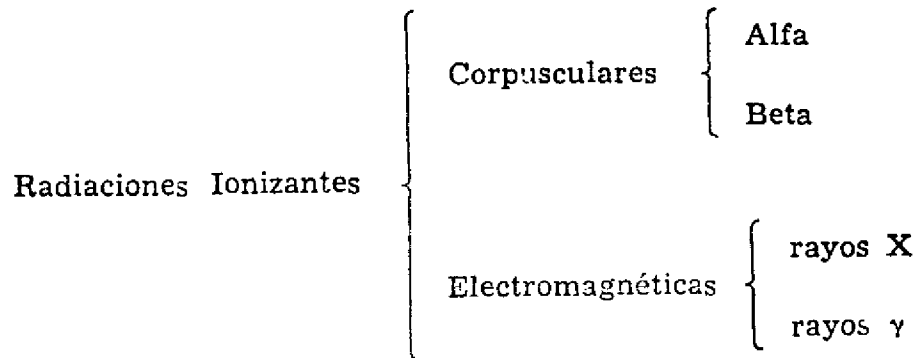
6.1 Caja de arranque: Su misión es intervenir en el arranque y posterior

funcionamiento del mecanismo de rotación del ánodo del tubo impidiendo que el equipo dispare antes de que sea alcanzada la velocidad del régimen.

6.2 Circuito de bloqueo por sobrecarga: Impide que el equipo sea disparado cuando las combinaciones de kilovoltios, miliamperes y segundos, sobrepasan los admisibles para el tubo.

INTERACCION DE LA RADIACION CON LA MATERIA

En los capítulos anteriores se han visto los distintos tipos de radiaciones ionizantes, que pueden clasificarse de la siguiente manera:



Toda vez que un medio material se interpone en el paso de la radiación, parte de la energía que transmite tal radiación es absorbida por dicho medio. Tratándose de radiaciones ionizantes, esa energía provoca la ionización de los átomos del material interpuesto o la excitación de los mismos.

Los mecanismos a través de los cuales se produce esa ionización difieren según el tipo de radiación ionizante de que se trate.

INTERACCION ALFA

Como se vio anteriormente, una partícula alfa se compone de dos protones y de dos neutrones, todos fuertemente unidos mediante fuerzas nucleares. Si se aproxima una partícula alfa a un electrón orbital (carga negativa) éste experimentará una fuerza de atracción electrostática que tenderá a extraerlo del átomo produciéndose de esta manera la ionización del mismo.

Las partículas alfa a pesar de la alta energía que suelen llevar (3 a 10 MeV) se detienen después de recorrer algunos cm de aire y pueden ser frenadas totalmente por una hoja de papel. No obstante estas partículas tienen, en razón de su gran masa, un elevado poder ionizante, es decir que a pesar de su corto recorrido son capaces de producir un gran número de pares iónicos (de 5.000 a 8.000, dependiendo de la energía de la partícula alfa).

INTERACCION BETA

La masa en reposo de una partícula beta es igual a la de un electrón orbital, y por consiguiente mucho menor que la masa del núcleo de los átomos que componen el medio de absorción. Dado que las partículas beta y los electrones orbitales tienen cargas iguales, experimentan una repulsión electrostática cuando ambas se encuentran cerca, pero una partícula posee carga opuesta a la del núcleo atómico, experimentando una atracción electrostática conforme aquella se aproxime al núcleo.

Normalmente una partícula beta pierde energía en un gran número de procesos de ionización y excitación, en forma similar a la partícula alfa. Por el menor tamaño y carga del electrón existe una pequeña probabilidad de que la radiación beta interactúe con el medio. Debido a esta circunstancia el alcance de esta partícula es mucho mayor que el de una alfa de energía similar.

Además de la excitación e ionización, una partícula beta puede interactuar con algún núcleo, resultando la producción de rayos X. Toda beta altamente energética puede penetrar en la nube electrónica que rodea al núcleo del átomo, y al ser sometida a la fuerza electrostática de éste variará su velocidad emitiendo rayos X con un espectro de energía (tal clase de radiación X se denomina Bremsstrahlung o radiación de frenamiento).

INTERACCION GAMMA

Los rayos X y gamma se diferencian sólo en su origen, no pudiéndoselos distinguir por su naturaleza. Ambos son ondas electromagnéticas (o cuantos) tal como las ondas de radio y de luz visible, diferenciándose de estas por sus longitudes de onda que son más cortas.

Los rayos gamma se generan dentro del núcleo, mientras los rayos X lo hacen fuera de él (en la nube electrónica que rodea al núcleo).

Existen diversos mecanismos de interacción de la radiación electromagnética con la materia. En particular nos interesan en este curso dos de esos mecanismos: el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton.

Efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico consiste en la interacción de un fotón con un electrón fuertemente ligado al átomo (o sea de órbitas cercanas al núcleo). El fotón entrega toda su energía al electrón el que de este modo puede escapar de la atracción del núcleo. El exceso de energía no consumida en la ionización es conservada por el electrón como energía cinética. Dicha energía cinética tiene el valor dado por la siguiente expresión:

$$E_{\text{cin}} = E_f - E_k$$

donde E_k es la energía de enlace del electrón.

E_i es la energía del fotón incidente y es igual a $h.f$, donde h es la constante de Planck y f es la frecuencia.

Dicho electrón que recibe el nombre de fotoelectrón tiene energía suficiente para golpear a otros electrones de las órbitas de los átomos y producir pares iónicos secundarios hasta consumir toda su energía.

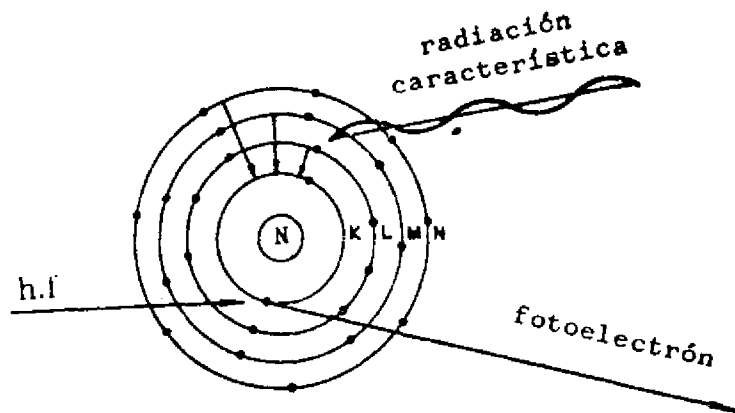


FIGURA 1

Luego de un corto tiempo otro electrón de una órbita exterior puede pasar a llenar la vacante producida por la eyección del fotoelectrón, produciéndose de esta manera la generación de una radiación electromagnética denominada radiación característica.

Razonamientos teóricos que escapan al alcance de esta publicación permiten demostrar que el coeficiente másico de atenuación por efecto fotoeléctrico depende del cubo del número atómico del material.

Por lo tanto, las características de un material que determinan su capacidad de absorción son:

- su número atómico
- su densidad
- y la energía de los fotones incidentes

Efecto Compton

En este tipo de interacción el fotón incidente pierde parcialmente su energía. En este caso la interacción se realiza con los electrones poco ligados al átomo, es decir los más exteriores. La transferencia de energía del fotón al electrón se realiza parcialmente, quedando aquél debilitado. Dicho electrón, conocido como electrón «Compton» produce ionizaciones secundarias mientras que el fotón original debilitado continúa gastando su energía en ionizaciones posteriores.

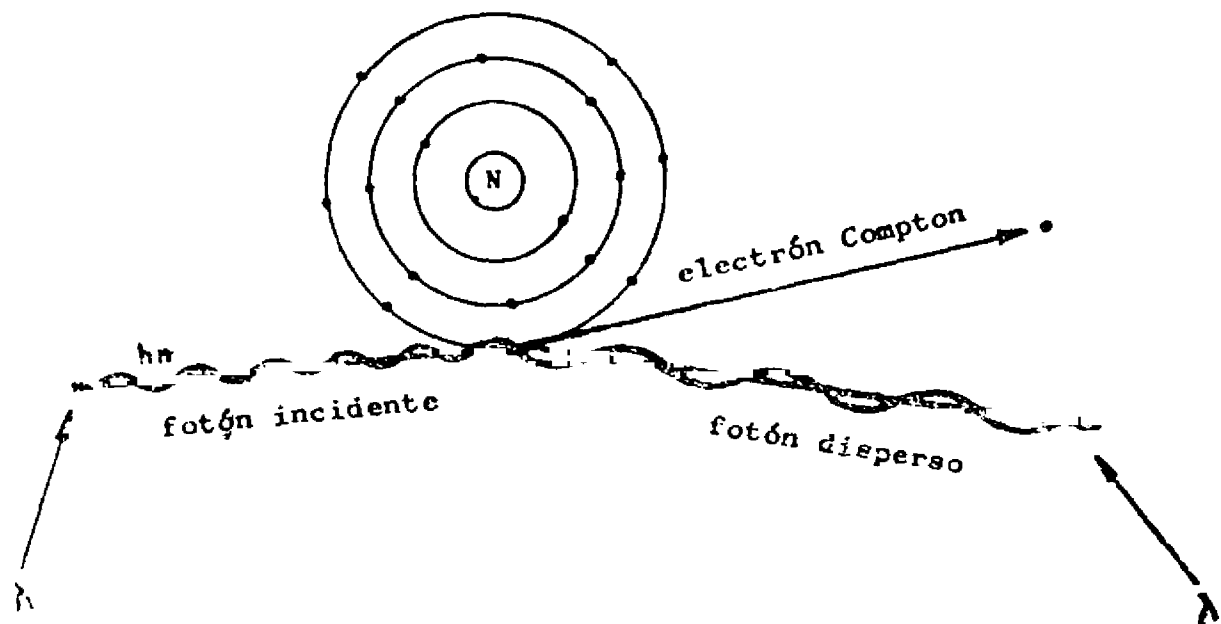


FIGURA 2

En la interacción Compton la dirección del fotón disperso es distinta de la original, por lo que este proceso se llama también «dispersión Compton».

El coeficiente másico de atenuación por efecto Compton NO depende del número atómico. Dado que la energía de los fotones no influye sensiblemente en la absorción, el único factor determinante de la capacidad de absorción es la densidad. Es por ello que diversos materiales con distinto número atómico pero de similar densidad producen la misma atenuación por unidad de masa interpuesta.

Importancia relativa de los diferentes tipos de interacción

Cada vez que ocurre una interacción entre un haz de fotones y un medio absorbente, un fotón es removido del haz y se pone en movimiento un electrón por efecto fotoeléctrico o efecto Compton. El número relativo de estos electrones puede calcularse teóricamente y los resultados se dan en la tabla siguiente.

IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS
DE ABSORCION EN AGUA

Energía del fotón KeV	Número relativo de electrones (%)		% de energía transportada por los electrones	
	Fotoelectrones	Compton	Fotoelectrones	Compton
10	95	5	100	0
20	70	30	99	1
26	50	50	96	4
30	39	61	93	7
40	20	80	80	20
50	11	89	61	39
57	8	92	50	50
60	7	93	43	57
80	4	96	20	80
100	1	99	9	91
150	0	100	0	100
200	0	100	0	100

Se observa que a 20 KeV el 70 % de los electrones son fotoelectrones y el 30 % Compton. A 26 KeV el 50 % es de cada tipo, mientras a 100 KeV el 99 % son Compton y el resto fotoelectrones.

Cuando se pone en movimiento un fotoelectrón, éste posee prácticamente la misma energía que el fotón que lo puso en movimiento, mientras que un electrón Compton tiene una energía mucho menor. El porcentaje de energía

transportado por los diferentes tipos de electrones puede calcularse en forma teórica y los resultados se dan en la tabla anterior. Se observa que a 57 KeV, a pesar de que el 8 % de los electrones son fotoelectrones, éstos transportan el 50 % de la energía.

En resumen, es posible afirmar que la interacción de la radiación X con la materia se efectúa por efecto fotoeléctrico predominante hasta los 50 KeV y por efecto Compton predominante entre 100 y 2.000 KeV. Por encima de estas energías los mecanismos de interacción son diferentes.

ATENUACION DE RAYOS X

Como se vio anteriormente, al incidir un haz de fotones sobre un determinado material existen fotones que interaccionarán por efecto fotoeléctrico, y serán absorbidos, y otros que interactuarán por efecto Compton y serán dispersados.

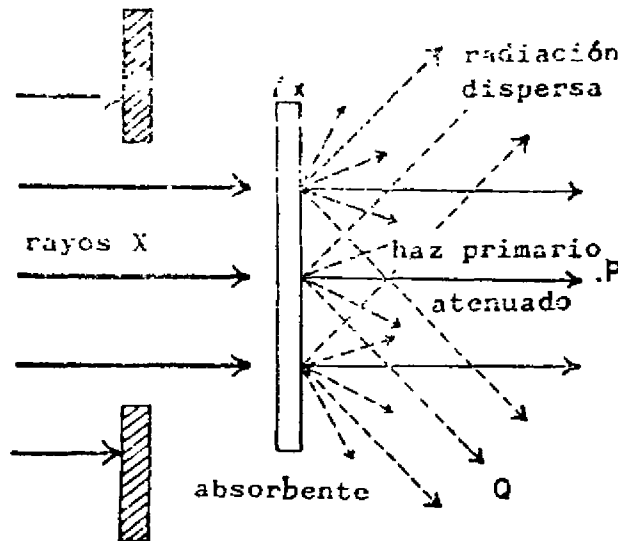


FIGURA 3

En consecuencia, si nosotros pudiéramos medir el número de fotones que pasan por el punto P con y sin material interpuesto, su relación nos dará la atenuación producida por el material, que como veremos será la suma de la absorción más la dispersión.

$$\text{ATENUACIÓN} = \text{ABSORCIÓN} + \text{DISPERSIÓN}$$

Se define como *coeficiente lineal de absorción* a la relación:

$$\mu_{ab} = \frac{\Delta N}{N} \cdot \frac{1}{\Delta x}$$

donde N: número de fotones incidentes

ΔN : número de fotones que NO alcanzan al punto P, es decir que son removidos del haz

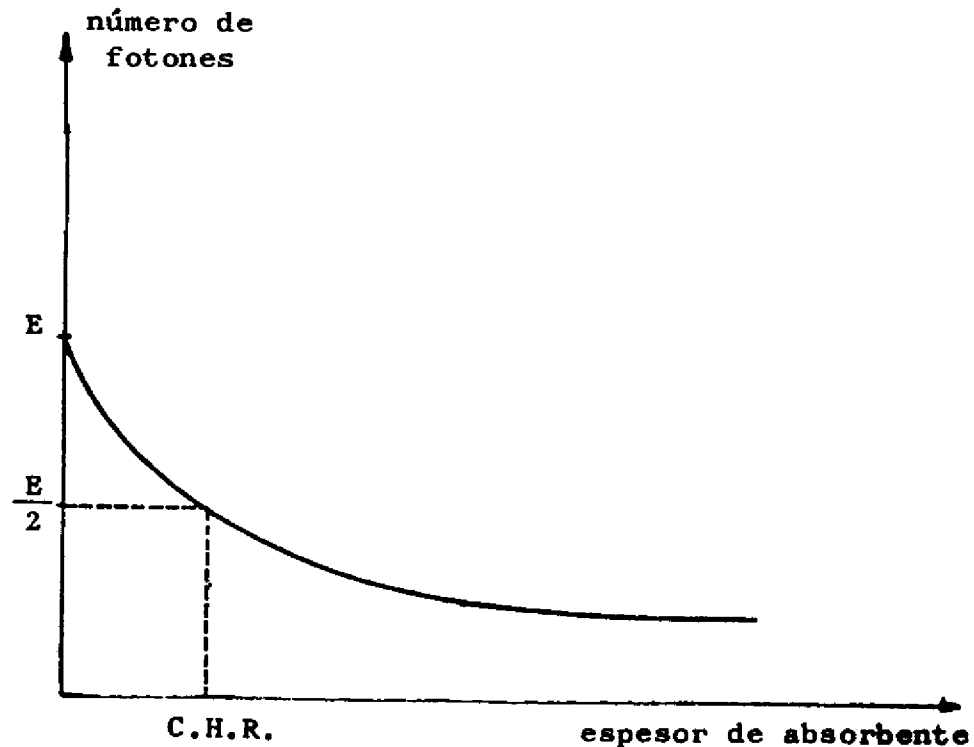
Δx : espesor del material interpuesto

Análogamente se define el *coeficiente másico de absorción* a la relación:

$$\mu_m = \frac{\mu_{ab}}{\delta}$$

donde δ es la densidad del material absorbente.

Si se grafica el número de fotones transmitidos del espesor absorbente interpuesto, la curva es de la siguiente forma.



en el caso de que los fotones fueran monoenergéticos la curva sería una exponencial.

De particular interés es el espesor del absorbente, que disminuye el número de fotones a la mitad. Dicho espesor se denomina capa hemirreductora (CHR) y permite expresar la capacidad de penetración de una radiación determinada. Para Rayos X generados entre 50 y 150 Kv la C.H.R. se expresa en mm de Al, entre 150 y 400 se utiliza el Cu y para radiaciones más energéticas en mm de Pb.

LA FORMACION DE LA IMAGEN RADIOLOGICA

El objetivo del diagnóstico radiológico es interpretar la información adquirida por el examen de opacidad de un sistema biológico a los rayos X. La obtención de la información se obtiene mediante tres pasos:

- 1) La parte a ser examinada es expuesta al haz de rayos X.
- 2) El haz de rayos X es perturbado al interactuar con la parte examinada.

3) La información transportada por el haz de rayos X es trasladada a una forma conveniente para su interpretación (placa radiográfica o pantalla radioscópica).

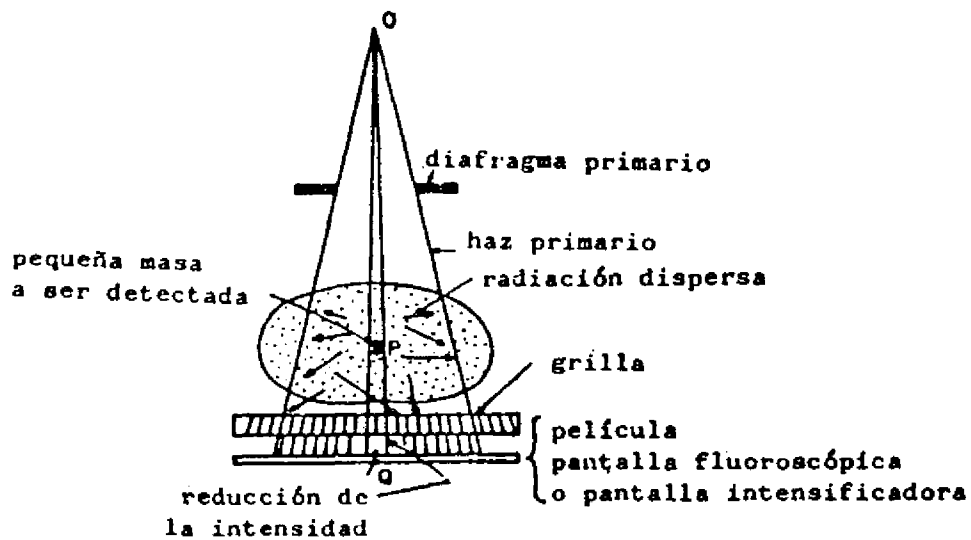


FIGURA 5

Espectro de la energía de los rayos X

Como se mencionó anteriormente, los fotones emergentes de un equipo de rayos X no tienen todos la misma energía, sino que existe lo que se denomina espectro de energías. En la figura 6 se muestra cómo varía el espectro de fotones X generados por diferentes potenciales aceleradores.

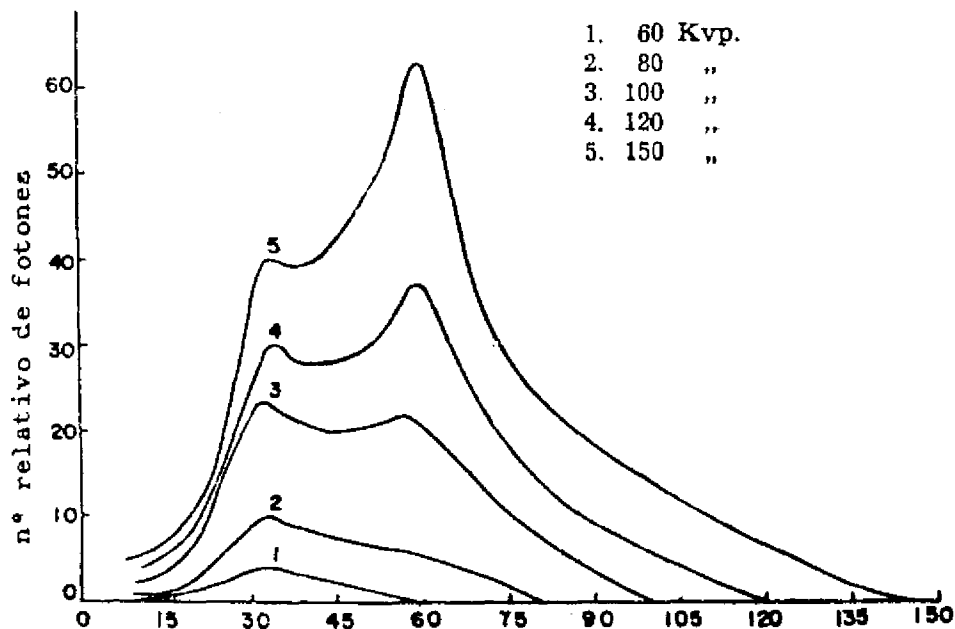


FIGURA 6

Se observa que al variar el kilovoltaje, la exposición aumenta en forma más que proporcional. En nuestra zona de interés esta relación es aproximadamente cuadrática, es decir que al duplicarse el kilovoltaje se cuadruplica la exposición.

No obstante, como se verá más adelante, un aumento de kilovoltaje trae aparejado un aumento de número de fotones que interaccionarán por efecto Compton, con lo que el contraste de la placa disminuirá.

Debe destacarse que un aumento de milliamperaje no trae aparejado ningún cambio en la distribución espectral. Además la relación entre el milliamperaje y el número de fotones es lineal, o sea que al duplicarse el milliamperaje se duplica el número de fotones.

FILTRACION

Del gráfico anterior se observa que existe una gran cantidad de fotones de baja energía que no van a llegar a impresionar la placa, dado que son absorbidos por el paciente, por lo que no tienen ninguna utilidad en el diagnóstico radiológico, aumentando innecesariamente el número de fotones que inciden en la piel del paciente. Para evitar este problema se coloca a la salida del tubo de rayos X espesores de absorbente que tienen la propiedad de atenuar en mayor medida los fotones de baja energía, por lo que el espectro se modifica de la manera indicada en la figura.

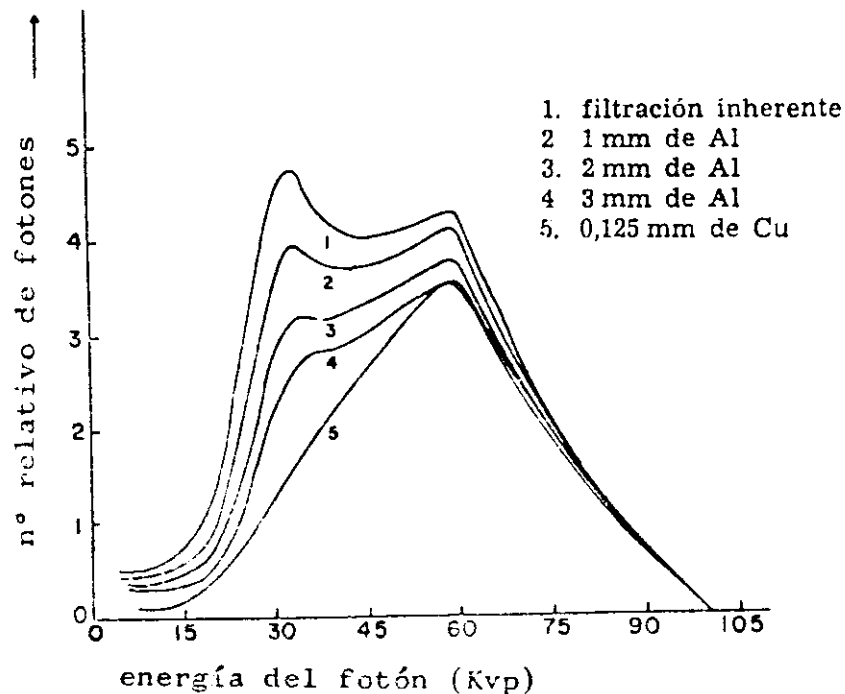


FIGURA 7

Debe destacarse que la radiación emergente de un tubo de rayos X es ya filtrada por diversos absorbentes, cuya presencia se requiere para el correcto funcionamiento del tubo. Esta filtración es la denominada filtración inherente y en los equipos modernos de rayos X es debida a: 1) la cubierta de vidrio del tubo; 2) el aceite aislador que rodea al tubo; 3) la ventana de plástico de la carcasa del tubo.

Idealmente debería utilizarse como filtro adicional aquel que atenuará únicamente los fotones de baja energía. Sin embargo los filtros reales atenúan, aunque en mucho menor grado, los fotones de alta energía, por lo que se hace necesario para exponer correctamente la placa aumentar el número de fotones que emerge del tubo. Esto se logra aumentando los miliamper-segundos, cuidando de no sobrepasar las condiciones de disipación del tubo.

La formación de la imagen

Como se mencionó anteriormente, el haz de rayos X es perturbado al atravesar el paciente. Dos estructuras adyacentes pueden distinguirse sólo si existe una diferencia entre los coeficientes de atenuación a los rayos X de las estructuras.

En la sección de interacción de la radiación con la materia se mencionó, además, que el coeficiente de atenuación por efecto fotoeléctrico depende de la tercera potencia del número atómico del material, mientras el coeficiente de atenuación por efecto Compton no depende del mismo. También se mencionó que el efecto fotoeléctrico es predominante en las zonas de bajas energías, por lo que se deduce que el contraste de una placa (es decir la capacidad de discriminación entre zonas de distintas características) disminuye al aumentar el kilovoltaje. Como datos ilustrativos se indican a continuación los valores típicos de número atómico equivalente:

Tejido adiposo:	6,3
Músculo:	7,4
Agua:	7,4
Hueso (fémur)	11,6

Es decir que a bajas energías el contraste depende de:

- 1) Diferencias de número atómico del material
- 2) Diferencias de espesor
- 3) Diferencias de densidad

Mientras que a altas energías éste depende de:

- 1) Diferencias de espesor
- 2) Diferencias de densidad

o sea que es independiente del número atómico.

Existen órganos y estructuras anatómicas que no pueden visualizarse por medio de rayos X en razón que exhiben la misma atenuación que los tejidos aledaños. Sin embargo la atenuación de los rayos X en tales estructuras puede alterarse introduciendo una sustancia, denominada de contraste, que posee un coeficiente de atenuación diferente. Dicho medio de contraste puede exhibir un coeficiente de atenuación superior o inferior que el de la estructura que se desea visualizar. La aplicación más obvia de este método es la introducción de material de contraste en cavidades, como ser el recto, el colon, el esófago, el útero y otras.

Reducción de la radiación dispersa

Es evidente de que en todo proceso radiológico debe reducirse al mínimo la radiación dispersa. Una de las maneras más importantes de lograrla es mediante la utilización de conos o diafragmas, cuyo objetivo es de reducir el tamaño del haz a la zona que interesa radiografiar y evitar así la generación innecesaria de radiación dispersa en regiones que no deben ser sometidas a radiación.

Estos dispositivos presentan la ventaja adicional de disminuir la exposición recibida por el paciente. El principio de funcionamiento de los diafragmas se muestra en la figura.

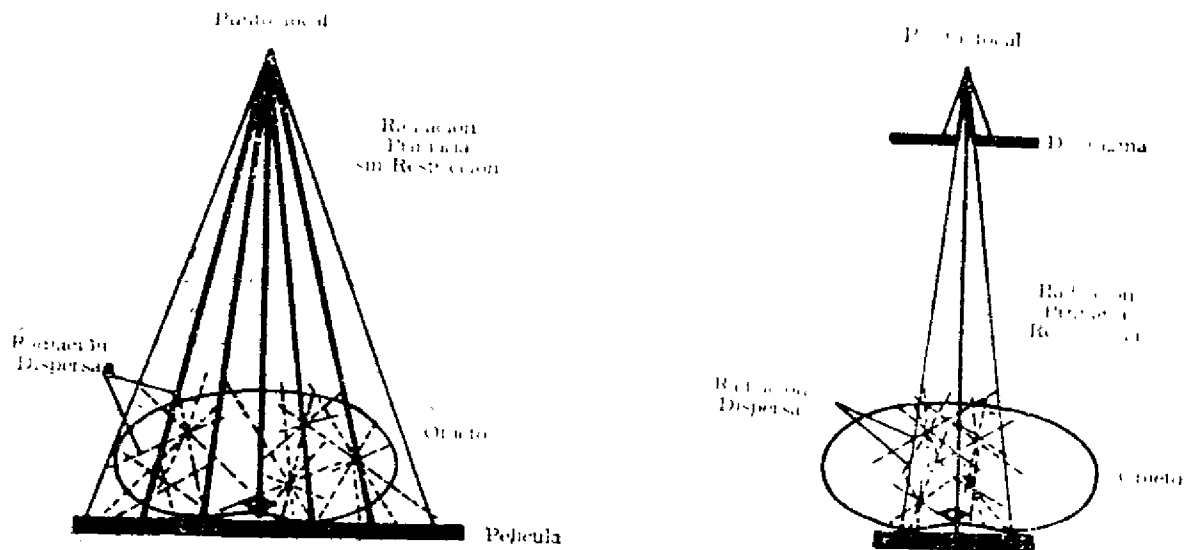


FIGURA 8

Otros dispositivos utilizados para la disminución de la radiación dispersa que llega a la placa son las rejillas (también denominadas grillas), que son bandas alternadas de plomo y de un material radiotransparente, aluminio por ejemplo, colocadas entre el paciente y la placa. Las bandas de plomo absorben gran cantidad de radiaciones dispersas oblicuas, es decir rayos que no viajan en la dirección del haz primario, mientras que las bandas radiotransparentes permiten el paso de la mayoría de los rayos primarios hasta la película.

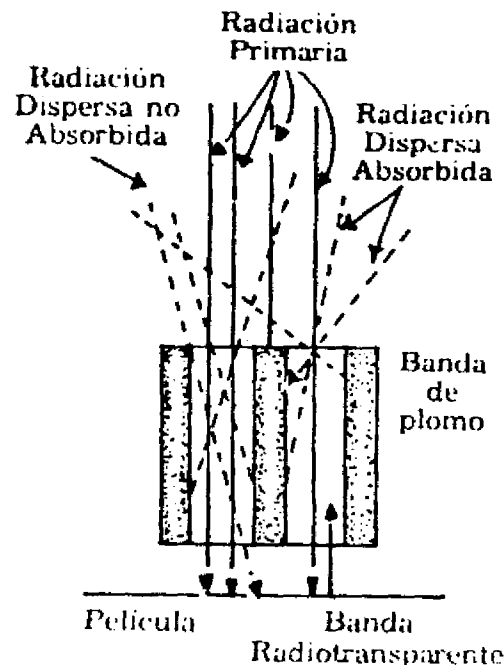


FIGURA 9

Cuando se emplea rejilla fija, las sombras proyectadas por las fajas de plomo se superpone a la imagen radiográfica, por lo que es necesario emplear una rejilla con bandas muy delgadas y uniformemente espaciadas. Para eliminar estas líneas no hay más que mover la rejilla durante la exposición en ángulos rectos a las fajas, de modo que las líneas aparezcan borrosas y no se distingan.

Existen aparatos compuestos de una rejilla y un mecanismo para moverla, denominados diafragma antidifusor Potter-Bucky o simplemente «Bucky», cuyo principio de funcionamiento se indica en la figura.

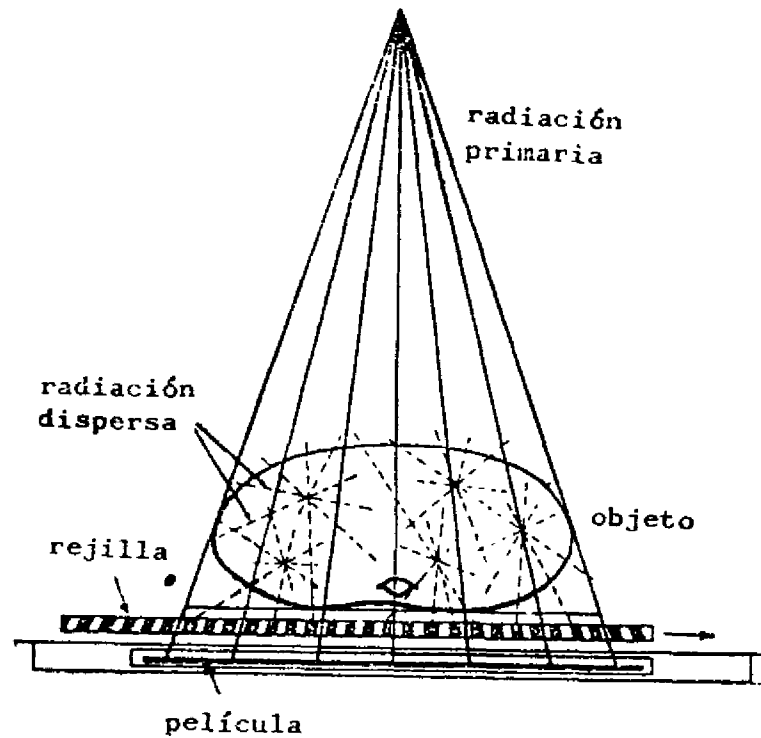


FIGURA 10

Debe destacarse que la rejilla también absorbe parcialmente el haz primario, por lo que es necesario aumentar los mA segundo para compensar su uso.