

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Radiaciones ionizantes: Estudio y protecciones**

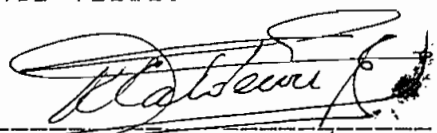
Tesis previa a la obtención del Título  
de Ingeniero en Electrónica y Control

**Patricio Armas Brito**

**Quito – Agosto - 1987**

CERTIFICADO

Certifico que el Señor Patricio  
Armas Brito realizó íntegramente  
la presente Tesis.



Ing. Antonio Calderón.  
DIRECTOR DE TESIS.

#### AGRADECIMIENTOS

A mi familia y a todos aquellos que de una u otra forma colaboraron en mi carrera y en esta Tesis; en especial:

- Al Personal Docente de la Facultad de Ingeniería Eléctrica.
- Al Ingeniero Antonio Calderón, Director de Tesis.
- M. Goldstein y demás personeros del I.E.O.S y de la C.E.E.A.

## INDICE GENERAL

	PAGINAS
Introducción y Antecedentes	1
1.NATURALEZA Y PRODUCCION DE LAS RADIACIONES IONIZANTES	
1.1 Física de las radiaciones ionizantes	4 y
1.2 Materiales radiactivos	8
1.3 Radiaciones producidas por el hombre	10
1.4 Efectos físicos de las radiaciones ionizantes	13
1.5 Radiaciones ionizantes en medicina	16
2.EFECTOS FISIOLOGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES	
2.1 Unidades de medida de las radiaciones ionizantes	21
2.2 Efectos de las radiaciones ionizantes en los organismos biológicos	24 x
2.3 Niveles permisibles de radiación	30
3.EQUIPOS DE RAYOS X	
3.1 Historia	33
3.2 Exposición radiográfica y exposición fluoroscópica	34
3.3 El tubo de rayos X	38
3.4 Equipo radiológico básico	44
3.5 Sistemas complementarios	56

#### 4. SALAS RADIOLOGICAS

4.1 Descripción	61
4.2 Características	66
4.3 Blindaje	72
4.4 Señalización	78

#### 5. PROTECCION CONTRA RADIACIONES IONIZANTES

5.1 Protección al medio.	
5.1.1 Revisión y calibración de equipos	80 *
5.1.2 Mantenimiento de los sistemas de blindaje y calibración	85
5.2 Protección a las personas	
5.2.1 Protección al público	85
5.2.2 Protección al paciente	86
5.2.3 Protección al operario	88 *

#### 6. PROGRAMA DE DOSIMETRIA

6.1 Qué es el control dosimétrico?	91
6.2 Personal sometido al control dosimétrico	91
6.3 Periodicidad del control dosimétrico	92
6.4 Reportes	92

7. COMENTARIOS	107
----------------	-----

## INTRODUCCION Y ANTECEDENTES.

El peligro existente debido a la sobreexposición de radiación de alta energía, fue considerado desde los albores de la era nuclear; sin embargo no fue antes de trágicas experiencias que este tema pasó a un primer plano.

Uno de los primeros trabajadores con materiales radiactivos, Pierre Curie, deliberadamente expuso una parte de su piel a la acción de radiaciones radioactivas obteniendo serias quemaduras que tardaron en cicatrizar. Su esposa, Marie Curie, y su hija Irene Joliot Curie quienes pasaron su vida trabajando con materiales radiactivos, ambas murieron con leucemia, muy posiblemente como consecuencia de la exposición acumulativa a la radiación. Otros precursores en este campo de investigación murieron de cáncer antes de que se comprenda cabalmente la necesidad de una extrema cautela.

Los daños a los seres humanos por la radiación pudieron ser analizados en gran escala por primera vez entre los sobrevivientes de las bombas nucleares de Hiroshima y Nagasaki en 1945. De esta manera se pudieron observar marcados síntomas del "mal de radiación". Este mal a menudo llevó a quienes lo sufrían a la muerte aunque una pequeña recuperación es a veces posible.

En general la radiación de alta energía, daña las moléculas complejas dentro de una célula, interfiriendo con su química al

punto, en casos extremos, de propiciar su muerte. La delicada estructura de genes y cromosomas es particularmente vulnerable al impacto de la radiación de alta energía. Mutaciones pueden producirse por estas causas.

Las radiaciones ionizantes, específicamente los rayos X como una forma de radiación de alta energía, constituyen una fuente de exposición que no debe pasar desapercibida en nuestros días.

En la actualidad los rayos X, empleados para el diagnóstico médico, contribuyen más a la exposición de la población que todas las demás fuentes artificiales de radiación en conjunto.

Es importante recalcar que como ningún otro equipo, los equipos radiológicos trabajan diariamente teniendo una incidencia directa en el medio y personas. Cabe preguntarnos, cuántas veces es más frecuente una radiografía que cualquier otra técnica de diagnóstico médico.

El presente trabajo tiene como objeto realizar un estudio lo suficientemente profundo de las radiaciones ionizantes en su aplicación médica, enfocado a la protección del medio y de las personas. Empezando con un recuento de lo que son las radiaciones ionizantes, avanzaremos por este camino analizando los efectos físicos y fisiológicos de estas radiaciones. A continuación centraremos la atención en los equipos radiológicos, salas radiológicas y lo que es más importante, mecanismos de protección a medio y personas. Por último se

## CAPITULO 1

# NATURALEZA Y PRODUCCION DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.

### 1.1 FISICA DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.

↗ La radiación electromagnética es un tipo de energía que se transmite por el espacio a enormes velocidades. Adopta muchas formas, siendo las más fácilmente reconocibles la luz, y el calor radiante. Manifestaciones menos evidentes son las radiaciones ionizantes, como los rayos X, luz ultravioleta, microondas, y las ondas de radio. ↘

Para caracterizar a muchas de las propiedades de la radiación electromagnética es conveniente adjudicar una naturaleza ondulatoria a su propagación y describir estas ondas con parámetros como velocidad, frecuencia, longitud de onda, y amplitud. No obstante, en contraste con otros fenómenos ondulatorios como el sonido, la radiación electromagnética no requiere medio de apoyo para su transmisión y pasa fácilmente por el vacío.



El modelo ondulatorio para la radiación no explica completamente los fenómenos asociados con la absorción o emisión de energía radiante; para estos procesos es necesario considerar la radiación electromagnética como un flujo de partículas discretas o fotones. La energía de un fotón es proporcional a la frecuencia de radiación. Este doble punto de vista de la radiación como partículas y como ondas no son mutuamente excluyentes.

Como vemos, el término radiación tiene un sentido muy amplio y abarca emisiones como la luz y las ondas de radio. Sin embargo suele emplearse por lo general para designar a la radiación "ionizante", es decir la que altera el estado físico de los átomos en los que incide, haciendo que queden cargados electricamente o ionizados. Además estamos considerando conveniente la dualidad de las teorías ondulatoria y corpuscular, para la explicación de los fenómenos asociados con ella; así pues, las radiaciones ionizantes son corrientes o flujos de partículas que surgen a enormes velocidades, u ondas que se emiten de átomos inestables. Los cuatro tipos básicos de radiación electromagnética son : Rayos Alfa, Rayos Beta, Rayos Gamma y Rayos X. 7

→  
Rayos Alfa. Es un tipo de radiación electromagnética ionizante, que consiste de partículas de carga positiva emitidos por átomos de elementos tales como el uranio y el radio. De los cuatro tipos de radiación ionizante, los rayos alfa son los que

presentan el menor poder de penetración siendo impotentes de penetrar el cuerpo humano.

Rayos Beta. Es una radiación constituida por electrones, con mayor poder de penetración que los rayos alfa pudiendo penetrar el cuerpo humano e inclusive barreras de aluminio.

Rayos Gamma y Rayos X. Como se había indicado anteriormente, la radiación no era sino energía viajera, la misma que tenía asociada una frecuencia y una longitud de onda característica (entre otras variables asociadas). Como sabemos, por la teoría corpuscular de la luz, esta energía está cuantificada en fotones, cumpliéndose la relación :

$$E = h * f$$

Donde : E es la energía en ergios.

h la constante de Planck (  $6,62 * 10^{-27}$  erg.s ).

f la frecuencia en  $s^{-1}$  de la onda asociada.

Los fotones emitidos en la desintegración radioactiva son llamados rayos gamma. Los emitidos en la aceleración y desaceleración de partículas cargadas son los llamados rayos X.

De esta manera decimos que los Rayos X pueden definirse como los rayos producidos cuando un haz de electrones moviéndose a gran velocidad es detenido bruscamente, durante esta detención parte de su energía se convierte en calor (99,98 %) y una pequeña parte en radiación electromagnética de muy corta longitud de onda (0,02 %).

Dichos rayos son fundamentalmente distintos de los rayos catódicos, ya que no son como éstos una radiación formada por partículas, sino que son una manifestación pura de la energía electromagnética, se transmiten en forma ondulatoria, y se caracterizan por propiedades comunes a otras manifestaciones de este tipo de energía.

La frecuencia de oscilación de los rayos X está en estricta relación con la diferencia de potencial que se aplica entre el ánodo y el cátodo del tubo de Rayos X, de esta frecuencia depende la longitud de onda.

Entre las propiedades de los rayos X podemos citar a las siguientes:

- Los rayos X se propagan en línea recta con la velocidad de la luz, no siendo desviados por campos magnéticos o eléctricos.
- Sufren refracción, reflexión y polarización en estructuras cristalinas y a veces amorfas.
- Atraviesan los cuerpos opacos a la luz, siendo absorbidos por ellos en función del espesor y peso atómico.

- Impresionan la placa fotográfica, por la propiedad química de descomponer el bromuro de plata de que está constituida la misma.
- Vuelven luminiscentes a numerosos cuerpos tales como el platinocianuro de bario, el tungstato de calcio y los sulfuros de cadmio.
- Los rayos X, como ya hemos dicho, ionizan los gases, convirtiéndolos de malos conductores de electricidad, en buenos conductores de la misma.
- La incidencia de los rayos X sobre un cuerpo provoca la aparición de radiación secundaria (emitida por el mismo cuerpo) que es perjudicial en radioterapia y en radiodiagnóstico.
- Los rayos X actúan biológicamente sobre el organismo humano provocando modificaciones físico químicas en sus células.

## 1.2 MATERIALES RADIOACTIVOS.

→ Cuando hablamos de materiales radiactivos debemos entender a aquellos elementos que espontáneamente presentan la propiedad de la radioactividad; esto es, una propiedad asociada con la inestabilidad nuclear. En efecto, en las épocas iniciales de investigación de la estructura atómica de la materia se observó en determinados elementos propagación de energía radiante en forma de ondas o partículas. La radioactividad incluye los

rangos de radiación electromagnética desde las ondas de radio, rayos infrarrojos, luz visible, luz ultravioleta y rayos X hasta los rayos gamma. Puede incluir además haces de partículas de las que los mejores ejemplos son: electrones, positrones, neutrones, protones, y partículas alfa.

En suma, la radiactividad procede de la inestabilidad nuclear gobernada por la particular combinación y arreglo de neutrones y protones en un núcleo dado. Un núcleo inestable trata de conseguir estabilidad cambiando su configuración interna o relación neutrones, protones a través de espontáneas desintegraciones las que en resumidas cuentas llevan a la emisión radiactiva. A esto se debe que el núcleo, en su proceso de transición de energía, pierde partículas por radiación pasando a un estado más estable.

↙ Ahora bien, podemos indicar que existen dos tipos básicos de elementos radiactivos, los naturales y los artificiales.

Por materiales radiactivos naturales debemos entender a todos aquellos que presentan espontáneamente la propiedad de la radiactividad sin que para ello sean sometidos a procesos de ninguna clase. Es el caso por ejemplo de átomos de metales pesados, el Uranio y el Torio los que constantemente, aunque lentamente, se desintegran produciendo en este proceso rayos alfa, beta y gamma. Esos elementos naturalmente radiactivos, si bien no son de los más comunes, se encuentran ampliamente esparcidos, así podemos decir que prácticamente podemos

encontrar minerales conteniendo pequeñas cantidades de uranio y torio casi en todas partes.

Además podemos citar entre ésta radiactividad natural, a aquella presente en nuestro medio ambiente; radiaciones en bajas intensidades son parte de nuestro medio natural. A esta radiación se la conoce como "radiación de fondo". Parte de ella proviene de capas de la estructura terrestre, además toda la Tierra está bombardeada con rayos cósmicos provenientes del espacio exterior y con corrientes de partículas de alta energía provenientes del Sol.

→ Llamamos radiactividad artificial a aquella que ha sido producida por el hombre con un fin específico como pueden ser aplicaciones médicas, industriales u otras.

Como hemos dicho anteriormente la radiactividad tiene que ver con la inestabilidad del núcleo; así, la forma de producir materiales radiactivos por excelencia es la alteración del equilibrio existente en la estructura nuclear de determinados elementos, materia a tratarse a continuación.

### → 1.3 RADIACIONES PRODUCIDAS POR EL HOMBRE.

El hombre incursionó en el campo de las radiaciones a partir del año de 1890. En 1895, los rayos X fueron descubiertos y desde entonces hemos aumentado su uso en el diagnóstico y terapia médica y en la industria. En 1896, la radiactividad fue

descubierta y sustancias radiactivas fueron concentradas en laboratorios para que puedan ser estudiadas.

Posteriormente, en 1934 se encontró que formas radiactivas de elementos no radiactivos podían lograrse y desde entonces su uso vino a ser ampliamente difundido en universidades, hospitales e industrias.

Entonces, en 1945, se desarrolló la bomba atómica con la fisión del uranio o del plutonio lo que producía una explosión nuclear acompañada de intensa radiación gamma. Además, como residuos de esta explosión quedaba una variedad de radioisótopos de los átomos fisionados. Estos fragmentos de la fisión son ampliamente esparcidos por la atmósfera llegando inclusive a la estratósfera descendiendo despues de meses e incluso años.)

Es difícil de tratar de estimar cuanta radiación adicional está siendo absorbida por los seres humanos fuera de estas fuentes de radiación producidas por el hombre. La caída de la radiación no es uniforme sobre la tierra, pero tiene una mayor incidencia en las zonas donde se han producido pruebas atómicas con mayor frecuencia.

~~Como se expuso~~ anteriormente, la manera de producir materiales radiactivos consiste en alterar el equilibrio nuclear de un determinado elemento para de esta forma forzar a éste a que busque su estado estable, lo que como sabemos conlleva a la emisión de radiación. Lo que se hace es introducir en un núcleo, cantidades variables de neutrones los que producen el

desequilibrio buscado, habida cuenta que en un átomo estable la cantidad de protones y neutrones en el núcleo es igual. El elemento así logrado, cae dentro de la definición de lo que es un isótopo es decir, un elemento cuya relación entre neutrones y protones es mayor que uno.

Existen varios métodos de preparación de isótopos radiactivos, o radioisótopos como también se los conoce, de los que veremos tres : producción por pila nuclear, por ciclotrón y los isótopos producidos clínicamente.

Para la producción de isótopos radiactivos por pila nuclear se utiliza un reactor, y es el método más utilizado para usos industriales, médicos y de investigación. En el reactor, la fisión del uranio da lugar a una gran cantidad de neutrones. Un neutrón de cada átomo fisionado de uranio se utiliza para mantener la reacción. Los restantes neutrones o son empleados para producir plutonio, son perdidos de la masa crítica o son usados para producir materiales radiactivos mediante la interacción de los neutrones con materiales específicos que han sido insertados en la pila. Esto es conocido como la "activación por neutrones". Por lo tanto hay dos clases de sustancias radiactivas útiles derivadas de la pila : aquellas producidas como productos de la fisión y aquellas producidas por la activación por neutrones.

Los isótopos producidos por ciclotrón son el producto de acelerar determinadas sustancias a altas velocidades (inclusive muy cerca de la velocidad de la luz y por lo tanto poseyendo



tremenda energía) para ser contenidas en un blanco situado en el camino del haz acelerado. Como ejemplo podemos citar un isótopo de Sodio que es preparado en esta forma por la interacción de deuterones de alta velocidad con magnesio.

Los radioisótopos producidos clínicamente son aquellos que se producen con fines de pruebas clínicas como su nombre lo indica. Son isótopos de corta vida media para administración interna. El aparato utilizado para la consecución de los radioisótopos es realmente una columna de intercambio de iones similar a las empleadas en cromatografía. La columna contiene una resina la que ha absorbido un nucleido de larga vida. La desintegración radioactiva del mismo da lugar a nucleidos de corta vida media. Los isótopos así producidos pueden tener vida media de unas seis horas pudiendo ser transportados y producidos convenientemente.

#### 1.4 EFECTOS FISICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.

Los rayos X, los rayos gamma, los rayos cósmicos y otras clases de radiación se denominan colectivamente radiaciones ionizantes porque ionizan algunas de las moléculas que se encuentran en su trayectoria. La exposición de los tejidos vivos a las radiaciones ionizantes derivadas de cualquier fuente se caracteriza por la transferencia de energía de las radiaciones a las moléculas celulares. Con esta energía suplementaria, tales moléculas pueden experimentar reacciones químicas

bastante anormales. } Posteriormente definiré las unidades más  
comunmente empleadas para medir las radiaciones ionizantes,  
tales como el rad y el rem.

En la mayoría de los exámenes radiológicos la dosis recibida  
afecta básicamente a la región cutánea por donde se introduce  
el haz. Disminuye progresivamente en los tejidos corporales más  
profundos, siendo mucho más reducida para los tejidos que  
quedan fuera del haz directo de rayos X. } Como término medio,  
un rad ioniza una molécula entre 10.000 de tejido vivo. } Estos  
fenómenos moleculares ocurren al azar y probablemente la  
mayoría de ellos no tienen repercusiones biológicas; sin  
embargo, algunas funciones celulares dependen de moléculas muy  
específicas, tales como las moléculas del ADN. Si una de estas  
moléculas críticas queda afectada por la cadena de reacciones  
químicas anormales que pueden seguir a la ionización, cabe la  
posibilidad de que la célula sufra una alteración permanente. }

Generalmente muere o es incapaz de reproducirse, pero algunas de  
estas células pueden continuar viviendo y multiplicarse en  
forma alterada, lo que en sí constituye un cáncer. Puede  
ocurrir que el efecto general o sistemático de esta alteración  
nunca se manifieste o que no aparezca hasta después de  
numerosas generaciones celulares. }

Ciertos efectos de la irradiación no se manifiestan hasta  
transcurridos años, o incluso decenios, después de la  
exposición. La carcinogenesis constituye un ejemplo de este  
fenómeno. Hasta recientemente, estos últimos efectos solo se  
habían identificado como secuelas de las radiaciones en

personas expuestas a grandes dosis de radiación. Pero en estos últimos años, varios estudios epidemiológicos retrospectivos de buena calidad no han logrado confirmar estos resultados, que en realidad son ahora objeto de controversia. Es prudente en el momento actual suponer que pueden iniciarse efectos en una célula y que no hay ningún límite inferior a la dosis de radiaciones que pudiera considerarse perjudicial.

Así pues, aunque debe presumirse la existencia de un riesgo somático teórico ligado a la exposición durante la radiología para el diagnóstico, este riesgo es muy pequeño y no debe impedir llevar a cabo los exámenes que sean indicados en beneficio del paciente.

La determinación experimental del riesgo de lesiones somáticas para el ser humano en dosis bajas de radiación tropieza con barreras de carácter práctico. Todos los efectos conocidos hasta la fecha que produce la radiación ionizante con tales dosis ocurren también espontáneamente y también pueden ser producidos por otros agentes, tales como el calor o las sustancias químicas. Las observaciones estadísticas en grupos de individuos pueden revelar cierta cantidad de exposición a las radiaciones, pero el aumento de la exposición que probablemente causarían las actuales dosis de exposición con fines de diagnóstico es tan pequeño que el tamaño de la población que debería estudiarse para detectarlo sería muy grande.

En el siguiente capítulo abordaré con mayor énfasis el aspecto fisiológico de los efectos de las radiaciones.

### 1.5 RADIACIONES IONIZANTES EN MEDICINA.

↳ Las radiaciones ionizantes juegan un papel importante en la metodología médica de nuestros días, y muy en particular los rayos X, que son la clase de radiación ionizante más familiar para nosotros. )

→ ( Los procedimientos radiológicos más empleados en nuestro medio en estos días son la radiografía, fluoroscopia, tomografía (axial o lineal) y la gammagrafía. ) A continuación veremos algunos aspectos generales comunes para estas técnicas radiográficas así como algunos criterios de uso desde el punto de vista de la medicina.

→ El más importante de los factores de propagación de los rayos X es su marcha en línea recta, parten del ánodo del tubo productor, abriéndose en un cono, cuyo vértice corresponde al punto de partida de la radiación, debiéndose aclarar que la zona de origen de los rayos nunca llega a ser puntiforme.

Si el haz de rayos tropieza con un objeto en su camino, es detenido parcial o totalmente, pero si se recoge el haz después de chocar con el objeto sobre una pantalla fotosensible como la fluoroscópica o sobre una película radiográfica, se observará que se reproducen los contornos del objeto interpuesto, y dentro de la silueta se ve la estructura del cuerpo, siempre

que el objeto posea la transparencia adecuada para ser atravesado por los rayos X.)

La imagen radiográfica es por lo tanto, la proyección plana del cuerpo o sea que nos proporciona el ancho y el largo del mismo, pero no nos informa nada sobre su espesor.

(Desde poco después del descubrimiento de los rayos X en 1895, se inició el desarrollo de las tecnologías conducentes a la explotación de esta nueva herramienta, la misma que en manos de la medicina ha experimentado notables avances. Este desarrollo viene a la par del estudio de seguridad radiológica puesto que desde un inicio se ha tenido conocimiento de que éstos podían dañar las células vivas y de que la exposición excesiva podía causar graves lesiones en el hombre.)

En la actualidad, los rayos X, empleados para el diagnóstico médico contribuyen a la exposición de la población, más que todas las demás fuentes artificiales de radiación en conjunto.

(Los exámenes radiológicos son importantes para el diagnóstico de la mayoría de las personas afectadas por enfermedades graves o que se enfrentan con la posibilidad de contraerlas. Su importancia en programas de medicina preventiva, tales como estudios teóricos en masa, ha quedado demostrada, y probablemente también tengan cabida en los reconocimientos médicos periódicos.)

Si bien el examen propiamente dicho lo lleva a cabo un especialista en radiología, normalmente incumbe al médico de

cabecera decidir cuando un paciente debe someterse a ese examen de diagnóstico. Su criterio clínico determina en gran parte la frecuencia de los exámenes e influye en la clase de procedimientos y su alcance.

→ En casi todos los casos, cuando un médico estima que existe una esperanza razonable de que el examen radiológico beneficie la salud de un individuo, el peligro de irradiación no constituye una contraindicación.) El principio rige incluso para las embarazadas. La dosis de radiación recibida con anterioridad al embarazo no constituye un dato relevante a los efectos de decidir si un determinado procedimiento puede ser utilizado.

→ En cada caso el médico debería juzgar si existe una esperanza razonable de obtener información útil del examen propuesto. Al tomar esta decisión debe tener en cuenta el riesgo teórico existente.) (A menudo la consulta con el radiólogo sobre el problema médico de un paciente determinado permite seleccionar el procedimiento más apropiado y reducir al mínimo la exposición innecesaria. A veces, se puede abreviar un examen sin perjuicio de la información diagnóstica. Por reducido que sea el riesgo potencial, este varía con la edad del paciente y la parte del cuerpo que se examine.)

→ En el caso de mujeres embarazadas, el futuro hijo es el objeto de interés principal. Cuando se trata de procedimientos radiológicos que incluyen el útero de mujeres que están, o podrían estar, embarazadas, se requieren normas especiales en cuanto a la selección y el momento oportuno para el examen.) Las

exploraciones de otras partes del cuerpo pueden efectuarse en cualquier momento, siempre que sea en condiciones en que la exposición a las radiaciones se limite a la cantidad necesaria para llevar a cabo un examen adecuado.

El período de preferencia para efectuar exámenes abdominales y pélvicos en mujeres en edad de concebir son los primeros 14 días del ciclo menstrual, a menos que exista absoluta certeza de que se encuentran embarazadas. Durante el resto del ciclo menstrual de las mujeres que puedan estar embarazadas, el médico determinará si se procederá al examen radiológico.

Finalmente, dentro de las aplicaciones de las radiaciones en medicina, concluiremos con las aplicaciones de los radioisótopos, los mismos que son empleados en dos maneras diferentes : como fuentes radiactivas, o como trazadores. Como fuentes radiactivas su principal rol es en terapia donde su uso es guiado por las propiedades de la radiación requerida para tejidos particulares y órganos bajo tratamiento. En terapia no cuentan las propiedades ni la estructura de los isótopos. Los radioisótopos como trazadores son usados principalmente para propósitos de diagnóstico.

Como ejemplos de radioisótopos en terapia podemos citar:

El isótopo 198 del Oro es introducido como suspensión coloidal dentro de tumores interaccionando con este tejido.

El isótopo 192 del Iridio es utilizado en terapia de tumores intestinales.

El isótopo 131 del Yodo, en casos de hipertiroidismo destruye tejidos por la producción de radiación dentro de la glándula.

[ Como ejemplos de radioisótopos en diagnóstico podemos citar: ]

El hidrógeno radiactivo, tritio, puede ser usado para determinar la cantidad total de agua en el cuerpo.

A veces es útil el saber el tiempo de circulación de un fluido orgánico y su localización; es el caso de la aplicación del isótopo 24 del Sodio, el que es ideal para las medidas cardíacas debido a que su presencia es fácilmente determinable.

Las técnicas basadas en determinación de la concentración de isótopos en el organismo y su rango de metabolismo son las más comunes. Determinando el metabolismo o concentración de determinado isótopo se puede diagnosticar alguna deficiencia.

[ El ejemplo mas claro lo constituye la aplicación del Yodo 131 en diagnósticos de la glándula tiroides. ] Otras medidas de la concentración de isótopos incluyen :

- Detección de anemia por isótopo 59 del Hierro.
- Determinación del metabolismo del colesterol gracias al isótopo 14 del Carbono.
- Funcionamiento del hígado con Yodo 131.
- Test de la función renal con el Fósforo 3.
- Determinación de tumores gastrointestinales, gastrourinarios, pulmonares y de pecho con Fósforo 3.



## CAPITULO 2

# EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

### 2.1 UNIDADES DE MEDIDA DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

#### JOULE

Unidad de trabajo en el sistema MKS (metro, kilogramo, segundo) y es el trabajo realizado por una fuerza igual a un Newton, cuando el punto al cual se le aplica dicha fuerza, se desplaza un metro en la dirección de la misma.

#### UNIDAD DE CARGA ELECTROSTATICA

Es una cantidad de electricidad tal, que repele a otra igual, colocada a la unidad de distancia, con una fuerza igual a la unidad cuando el dieléctrico es el aire.

La radiación se mide en Roengten y las dosis de radiación en Rads o Rems.

#### ROENG TEN

Unidad de radiación ionizante, fundada en la energía absorbida por el aire cuando está expuesto a dicha radiación.

Se define un Roengten como una cantidad de radiación X o gamma, que en su emisión produzca en el aire, por 0,001293 gr.del

mismo, un número de iones que transporten una unidad de carga electrostática. Esta cantidad de radiación suministra 83 Ergios de energía por gramo de aire.

La misma radiación (un roengten) cederá cantidades de energía al tejido humano en un valor aproximado de 90 a 100 Ergios según la naturaleza del mismo.

#### RAD

Es la unidad de radiación absorbida, es decir, la energía absorbida por sustancias tales como los tejidos. Cuando es absorbida por el cuerpo humano produce efectos equivalentes a la liberación de 100 Ergios por gramo de tejido.

Con rayos X un roengten produce generalmente un rad de radiación absorbida por los tejidos blandos.

#### REM

Es la unidad de radiación absorbida en la que se toma en cuenta la diferente efectividad biológica relativa de los distintos tipos de radiación (por ejemplo los rayos alpha); tiene el efecto equivalente al de un roengten de rayos X a 250 KV.

Un rem equivale a un rad y puede considerarse como un rad-equivalente-hombre.

#### CURIE

Unidad de actividad que corresponde a  $3,7 \cdot 10^{10}$  desintegraciones por segundo.

Por ser el Curie una unidad demasiado grande, en la práctica se utilizan los submúltiplos propios como el Milicurie, Microcurie, etc.

A continuación veremos una equivalencia en joules de las siguientes energías:

TABLA # 1. (\*)

1 mA.s a 100 KV	$10^2$ J.
Fotón de 100 KV.	$1,6 \times 10^{-22}$ J
1 Roentgen	$8,8 \times 10^{-7}$ J
1 Gram Rad	$10^{-5}$ J
1 Caloria	4,2 J
1 Joule = $10^7$ Ergios	1 Watt-s.

mA.s es el producto de los miliamperios por los segundos de exposición de radiación.

(\*) Fuente : National Council on Radiation Protection and Measurements. Report # 34.

## 2.2 EFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN LOS ORGANISMOS BIOLÓGICOS

Las radiaciones ionizantes, cuando no son adecuadamente empleadas pueden causar daños en los organismos biológicos y obviamente en el hombre, daños que van desde reacciones locales como la depilación, atrofia, úlceras, hasta modificaciones genéticas, malformaciones, esterilidad, cáncer y por último la muerte.

Cada día se obtiene más información sobre los peligros de la radiación y su importancia. Hace más de 80 años que estamos usando radiaciones, producidas por el hombre y durante este tiempo se han observado sus efectos sobre el organismo sometido a la exposición clínica o profesional. Se ha estudiado el efecto de las armas atómicas y se han realizado muchos experimentos e investigaciones en radiobiología. La física radiológica y los aparatos modernos nos permiten calcular con exactitud la radiación y estudiar científicamente sus efectos sobre los tejidos vivos.

El peligro de las radiaciones ionizantes aumenta a medida que se expone mayor cantidad al cuerpo y llega a su máximo cuando todo o gran parte del cuerpo ha sido irradiado. Ciertos tejidos, por ejemplo, en el cuerpo humano la médula ósea, son más sensibles que otros y existen peligros genéticos al exponer las gónadas. En este último caso, el tiempo que transcurre después de la exposición es muy importante ya que ciertos

efectos, como el cáncer, no se manifiestan sino después de muchos años !

A continuación analizaremos los efectos de las radiaciones ionizantes en los organismos vivos desde los siguientes puntos de vista:

Grandes cantidades de radiación: - A todo el cuerpo  
 - A porciones limitadas del cuerpo

Pequeñas cantidades de radiación:- A todo el cuerpo  
 - A porciones limitadas del cuerpo ]

## GRANDES CANTIDADES DE RADIACION

### A TODO EL CUERPO ( EXPOSICION AGUDA )

Esta es la clase de exposición producida por armas atómicas y por accidentes con energía nuclear. La probabilidad de que se produzca esta exposición con los rayos X de uso diagnóstico es muy remota. Si todo el cuerpo recibe grandes cantidades de radiación con gran rapidez, puede ocurrir lo siguiente:

de 0 a 25 rads            no hay efecto manifiesto

de 25 a 50 rads	posible modificación de las células sanguíneas, sin lesión aparente.
de 50 a 100 rads	modificación de las células sanguíneas, lesión moderada, sin invalidez.
de 100 a 200 rads	lesiones, posible invalidez
450 rads o mas	muerte probable.

#### A PORCIONES LIMITADAS DEL CUERPO ( Aguda y crónica )

Esta clase de exposición es con frecuencia necesaria para el tratamiento del cáncer y otras enfermedades graves, aceptándose el peligro inherente con tal de aliviar al enfermo.

Tales exposiciones pueden ocurrir de las siguientes maneras:

- accidentalmente.
- a consecuencia de explosiones de armas atómicas.
- del abuso de las exploraciones radioscópicas, tanto para el paciente como para el radiólogo.
- y de procedimientos radiográficos demasiado largos y repetidos.

Para dar una mejor idea de estas exposiciones daremos algunos ejemplos cuantizados:

Una pequeña cantidad de 25 rads administrada a un embrión en el período de su desarrollo en que es más sensible (hasta los tres meses) puede producir malformaciones.

Exposiciones de 200 rads en la región tiroidea de los niños puede influir en el índice ulterior de cáncer del tiroides.

Exposiciones agudas de 200 a 500 rads en las gónadas pueden producir esterilidad temporal; depresión de la hematopoyesis en la médula ósea, etc. Sin embargo, pueden tolerarse de 2000 a 6000 rads en zonas locales, tratadas por cáncer, manifestandose solamente reacciones agudas reversibles y modificaciones moderadas de atrofia tardía. Hay que vigilar, sin embargo, la posible aparición de otras malformaciones tardías tales como el cáncer, necrosis ósea aséptica, cataratas por radiación, etc., en años ulteriores.

Durante ciertas aplicaciones terapéuticas de rayos X y de isótopos radiactivos, algunos volúmenes muy limitados de tejidos pueden recibir de 10.000 a 50.000 rads con reacción local grave, pero sin que al parecer haya algún efecto general dañino.

### PEQUEÑAS CANTIDADES DE RADIACION

#### A TODO EL CUERPO ( Exposición Crónica )

Esta es la clase de radiación que como parte del medio ambiente natural todos recibimos durante nuestra vida como exposición

crónica. La exposición profesional es similar, pero en algunas regiones como en las manos que, pueden sufrir más exposición que el resto del cuerpo. Se considera que los límites máximos de exposición permisible: para quienes reciben exposición profesional, después de los 18 años de edad, es de 0,3 rem por semana para todo el cuerpo (pero sin exeder un promedio de 5,0 rem por año) y 1,5 rem por semana para las manos. Una décima de estas cantidades sería el máximo permisible para el promedio de la población por lo que se refiere a las radiaciones producidas por el hombre.

Si se siguen estas observaciones, el último efecto nocivo que podría encontrarse es el acortamiento de la probabilidad de vida, que en la actualidad se estima aproximadamente en un día por 1,0 r de exposición total del cuerpo. Si se exeden estas recomendaciones, puede encontrarse, leucemia, cáncer, degeneración de la médula ósea, etc.

#### LA PORCIONES LIMITADAS DEL CUERPO

Los Peligros Somáticos.- Durante cualquier exploración radiológica es necesario producir algo de irradiación, pero en el caso de diferentes exploraciones una región del cuerpo puede absorber cantidades variables tan pequeñas como de 10 a 50 miliroentgens (0,01 a 0,05 r) o tan grandes como de 25r, con dosis de absorción comparables.

La radiación también se extiende a otras porciones del cuerpo alejadas del haz primario. Los efectos somáticos pueden ser



críticos solamente cuando: se administran las dosis mayores, cuando se hacen exposiciones repetidas, y cuando se incluyen tejidos muy sensibles. La situación más crítica es cuando se incluye un embrión en desarrollo. Como las exposiciones limitadas pueden añadirse a las que se reciben por otros medios, deben considerarse como adiciones a los peligros locales.

Peligros Genéticos. - Los peligros de orden genético, a la larga son para la raza y son considerados como adiciones a las mutantes que llevan los genes en las gónadas de la población entera. El mayor efecto genético de la radiación parece estar en la adición de mutaciones indeseables: es un efecto acumulativo a largo plazo en la población y también parece ser acumulativo por lo que respecta a la exposición de las gónadas individuales antes de la procreación. En este caso parece ser que no hay cantidad alguna de radiación que pueda considerarse inocua; estadísticamente, incluso la más pequeña cantidad se añade al peligro total en proporción directa a la dosis.

Algunos geneticistas aceptarían como razonable un lastre adicional de factor mutante producido por una dosis en las gónadas de 10 millones de rems aproximadamente por cada millón de personas desde la concepción hasta los 30 años de edad, aparte de la radiación recibida en su medio ambiente natural.

Hay que subrayar dos puntos importantes :

(1) este peligro afecta sólo al segmento potencialmente procreador de la población: niños, jóvenes, mujeres embarazadas, etc. No afecta a los enfermos en período terminal ni a las mujeres después de la menopausia, ni a todos aquellos que no pueden procrear o que no procrearán después de la irradiación;

(2) se refiere a la población como un todo y no a los individuos; el promedio de exposición es un punto importante aun cuando los promedios sean el resultado de las exposiciones individuales.

### 2.3 NIVELES PERMISIBLES DE RADIACION

Aquí nuevamente tenemos que distinguir entre las personas que por su trabajo con determinados tipos de radiación están más expuestas a las mismas (personas en áreas de trabajo) que el público en general.

Los siguientes son los límites máximos permisibles de exposición externa de personas en áreas de trabajo con radiaciones por un período de 13 semanas. Los tipos de radiación considerados son: Alfa, Beta, Gamma, Rayos X, y Neutrones.

TABLA # 2. (\*)

PARTE DEL CUERPO	NIVEL PERMISIBLE (rem)
Cráneo	1,25
Cristalino del ojo	1,25
Tiroides	7,50
Costillas	1,25
Piel	7,50
Corazón	5,00
Hígado	5,00
Estómago	5,00
Antebrazo	18,75
Píloro	5,00
Intestino Delgado	5,00
Manos	18,75
Intestino Grueso	5,00
Pelvis	1,25
Vejiga	5,00
Gónadas	1,25
Tobillo	18,75
Pie	18,75
Pulmones	5,00
Riñones	5,00
Cúbito	7,00
Radio	7,00
Uretra	5,00
Carpo	7,00
Metacarpo	7,00
Falanges	7,00
Fémur	7,00
Rótula	7,00
Tibia	7,00
Perone	7,00
Tarso	7,00
Metatarso	7,00
Falanges	7,00
Húmero	7,00
Diafragma	5,00
Bazo	5,00
Páncreas	5,00

(\*) Fuente : Manual de Procedimientos Radiológicos. OPS.

La dosis de radación que puede recibir la población en general por irradiación externa no deberá exeder al 10 % de los valores especificados en la tabla número 2.

En cuanto al medio ambiente como fuente de radiación suministra niveles bajos de radiación como se indica a continuación:

TABLA # 2.a (\*)

	Dosis por año (rem)
Rayos C3smicos	0,030
Tierra	0,050
Atm3sfera	0,002
Radioactividad Interna	0,025

Los datos anteriores nos dan un total aproximado de 0,1 rem por a~o.

(\*) Fuente : Manual de Procedimientos Radiol3gicos. OPS.

## CAPITULO 3

### EQUIPOS DE RAYOS X

#### 3.1 HISTORIA.

La historia del equipo radiológico data desde el descubrimiento mismo de los rayos X, pues su aplicación era completamente revolucionaria especialmente en el campo médico; así que el desarrollo de la tecnología para la construcción del equipo radiológico no podía esperar.

Además tenemos que recordar que ya existía para fines del siglo pasado una naciente tecnología que había sido la promotora de las investigaciones con los tubos de vacío. El tubo de rayos X no era sino una válvula de vacío a la que se le había suministrado alta tensión de tal manera que los electrones sean atraídos por el ánodo con una energía de tal magnitud que emitía "rayos X", desconocidos entonces.

Los primeros equipos obviamente eran muy simples puesto que no disponían de los controles suficientes para una radiología eficiente y segura. Consideremos además que no se tenía entonces un conocimiento cabal sobre los peligros que podían acarrear estas nuevas radiaciones "X" y por lo tanto los pioneros de la construcción de equipos radiológicos no pensaban en tantos limitantes como posteriormente se supo que debían

considerarse. Las investigaciones de los esposos Curie sobre las radiaciones marcaron la pauta para establecer los parámetros mínimos de seguridad en los equipos radiológicos, habida cuenta que Marie Curie fue asesora en la construcción de los mismos en la primera guerra mundial.

### 3.2 EXPOSICION RADIOGRAFICA Y EXPOSICION FLUOROSCOPICA

La exposición radiológica puede ser básicamente de dos tipos: radiográfica y fluoroscópica. La diferencia entre ellas radica en la utilización de los factores envueltos en la realización de la técnica radiológica. Por ese motivo veremos primero estos factores que son: Calidad de la radiación X, Cantidad de radiación X, y Tiempo.

En la figura # 1 se puede observar un esquema en el cual la fuente de alto potencial es la batería B2. También hay un tubo de rayos X que, conectado como en el diagrama, podría funcionar si la batería B2 tuviera una cantidad de potencial lo suficientemente grande. B1 es una fuente de corriente continua que nos sirve para alimentar a los filamentos, mientras que B2, también una fuente de tensión continua, es el voltaje que se aplica entre el cátodo K (parte del tubo de rayos X donde se encuentran los filamentos) y el ánodo A. Este voltaje B2 tiene que ser del orden de los kilovoltios para que una emisión de rayos X tenga lugar.

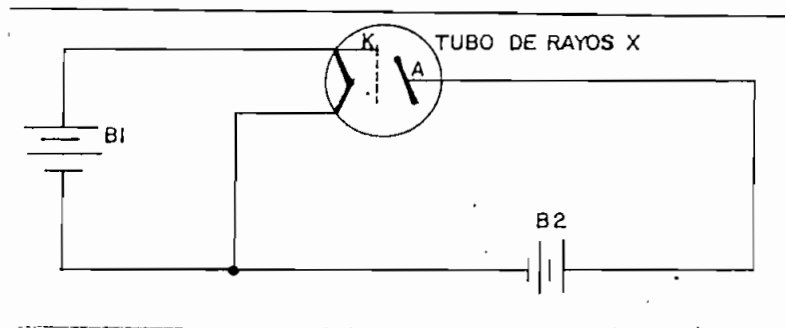


FIGURA # 1.

### Calidad de la Radiación X

La calidad penetrante de la radiación X está determinada por su longitud de onda. A más corta longitud de onda, mayor habilidad de penetración de los rayos X.

Quando el potencial a través del tubo de rayos X se incrementa, la longitud de onda de los rayos emitidos disminuye y su habilidad de penetración aumenta. Los potenciales requeridos para producir una radiación de calidad aceptable son del orden de los 35.000 voltios.

### Cantidad de Radiación X

La radiación X es una función del voltaje y de la corriente del tubo. Un incremento en cualquiera de estos aumentará la cantidad de radiación emitida.

Si la corriente del tubo se duplica y todos los demás factores permanecen constantes la cantidad de rayos X será el doble, esta corriente se puede incrementar aumentando la temperatura del filamento.

En los aparatos radiológicos más comunes el rango de la corriente va desde 1 a 500 miliamperios.

La brillantez de la imagen es mayor al aumentar la cantidad de radiación por lo que ésta se puede alterar cambiando el miliamperaje.

### Tiempo

Es la medida de duración de la emisión de radiaciones. En la figura #1, el tubo de rayos X funcionara hasta que las baterías caigan debajo de cierto nivel de potencia o hasta que un desperfecto ocurra en el circuito. En la práctica la duración de las emisiones es controlada con medidores especiales y un circuito de desviación.

Como hemos visto anteriormente, en la evolución de la técnica radiológica se encuentran inmiscuados tres parámetros



fundamentales, que tienen que ver cada uno con los factores: calidad, cantidad y tiempo; estos son voltaje, corriente, y tiempo respectivamente. Experimentalmente se ha determinado los valores óptimos que pueden tener estos parámetros para que la técnica radiológica pueda llevarse a cabo con éxito. De la manipulación de estos parámetros es lo que podemos diferenciar más objetivamente entre la técnica radiográfica y la técnica fluoroscópica, como sigue:

La técnica radiográfica consiste en obtener los resultados de la experimentación con radiaciones en un acetato o impresión aprovechando la propiedad de los rayos X de impresionar la placa fotográfica. Generalmente se consigue gracias a la aplicación de campos intensos, mayores que 40 kilovoltios, en tiempos preferentemente bajos, menores que 0,1 segundos. La intensidad de la corriente, así como el kilovoltaje dependen de la profundidad del cuerpo o parte de aquél que se quiera radiografiar. En la práctica el radiólogo posee una tabla que le proporciona los valores adecuados de voltajes, corrientes y tiempos para una óptima radiografía, dependiendo de la región del cuerpo que se trate.

La técnica fluoroscópica en cambio, consiste en un monitoreo continuo del cuerpo sometido a experimentación de tal manera que podamos observar procesos y detalles que suceden en el interior de este con fines prácticos. En Medicina, de hecho, tenemos la gran mayoría de aplicaciones para la técnica fluoroscópica, y así podemos apreciar directamente el proceso

de circulación de determinado líquido contrastante (o sea que va a poder ser monitoreado fácilmente) en áreas específicas del organismo sujetas a análisis. En este caso los valores de corriente anódica son bajos (menores a 50 miliamperios) dado que el tiempo va a ser largo, varios segundos, y durante todo este proceso existe emanación de radiación. En medicina, muchas de las veces la fluoroscopia es un paso previo de la radiografía, es decir primero localizamos la parte del cuerpo exactamente para luego radiografiar con precisión.

### 3.3 EL TUBO DE RAYOS X

El tubo de rayos X es uno de los elementos esenciales dentro del equipo, por esa razón hacemos especial referencia a este elemento.

Los tubos modernos de Rayos X son muy diferentes a los antiguos tubos de gas. Estos tubos modernos, usan altas energías, por lo que generan rayos más penetrantes acortando además los tiempos de exposición, dando lugar a radiografías de una gran calidad, que no se podían lograr con los tubos antiguos.

## CLASIFICACION

### a) Tubos Termoiónicos o de Gas

Los tubos termoiónicos no tienen utilidad práctica, pero debido a su valor histórico haremos una breve descripción de los mismos. Se componen de los siguientes elementos:

- 1) Un bulbo o ampolla de vidrio
- 2) Dos o tres electrodos, según el tipo de tubo
- 3) Dispositivo de control de vacío
- 4) Dispositivo de refrigeración o radiador.

El tubo termoiónico conectado a una fuente de alimentación de alta tensión, produce una descarga gaseosa parecida a la de un tubo de neón, el aire residual del mismo se ioniza dividiéndose en partículas positivas y negativas, estas últimas son poderosamente atraídas por el ánodo, produciéndose los rayos X.

### b) Tubo Coolidge o de cátodo caliente

Es un diodo de construcción especial en el cual el voltaje de filamento, y por tanto la emisión de electrones puede ser controlada a voluntad, mediante dispositivos especiales. Según se aprecia en la figura # 2.

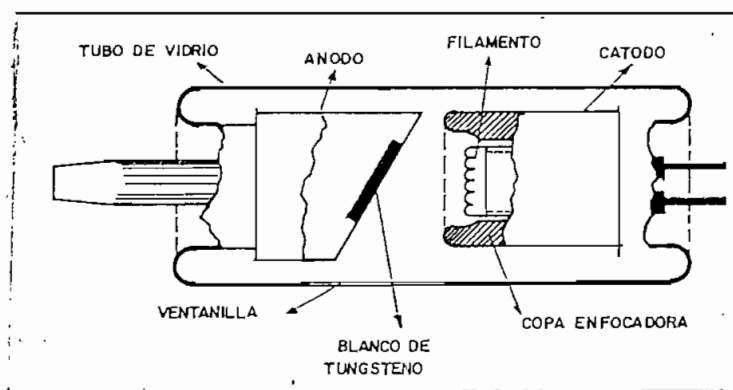


FIGURA # 2.

El tubo de rayos X más sencillo consiste en un bulbo o ampolla de vidrio herméticamente sellado al vacío conteniendo dos electrodos, el ánodo y el cátodo. Generalmente el ánodo es de cobre con una plancha de tungsteno en el extremo que sirve de blanco a los electrones. Se ha escogido al tungsteno como blanco por su elevado punto de fusión y su alto número atómico lo que le hace un eficiente emisor de rayos X.

El cátodo es un filamento de tungsteno enrollado en forma de espiral de 1/8 de pulgada de diámetro aproximadamente colocado en una copa de una pulgada de ancho, medidas estas que cambian de acuerdo al fabricante y a las características del tubo de Rayos X.

El bulbo o ampolla de vidrio tiene dos funciones: una sostener y aislar los electrodos, y la otra es mantener la condición de vacío. Estas exigencias requieren cualidades aislantes casi perfectas para poder soportar los altos potenciales, una gran resistencia a la presión que demanda el alto vacío y permitir la salida de los rayos X.

La calidad y el tipo de vidrio tienen mucha importancia en el rendimiento eléctrico del tubo. La pared interior del mismo se carga con un alto potencial de signo negativo durante el funcionamiento y esta carga negativa de la cara interna impide la dispersión de los electrones hacia las paredes del tubo, tendiendo a concentrar el haz central, cosa que no sucedería si el tubo se volviera ligeramente permeable a la electricidad.

El objeto del alto vacío es para evitar que los electrones en su tránsito de cátodo a ánodo no encuentren moléculas, ya que la presencia de éstas alteraría el funcionamiento del tubo de rayos X y el rendimiento del mismo.

### c) Tubo con Anodo Giratorio

A pesar de que el ánodo de todos los tipos de tubos de rayos X es refrigerado mediante algún dispositivo de enfriamiento, esto no es siempre suficiente para preservar al ánodo de alteraciones producidas por el bombardeo de electrones y que se manifiestan en un desgaste progresivo del mismo.

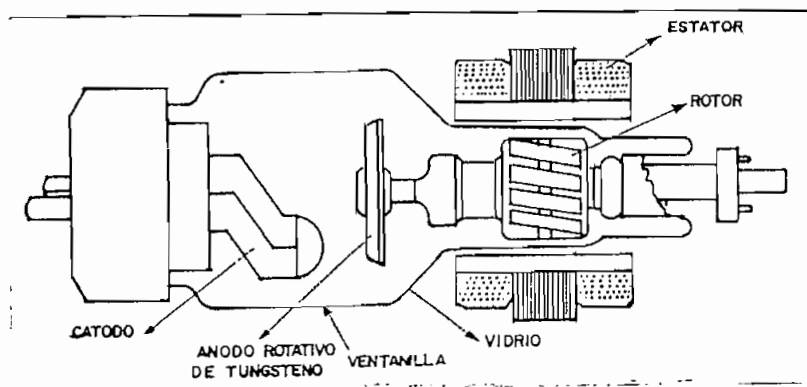


FIGURA # 3.

El tubo de ánodo rotatorio (figura # 3), fue desarrollado para aumentar la capacidad térmica del ánodo y como su nombre lo indica, el ánodo gira sobre un eje en el centro del tubo. El filamento está situado de tal modo que el haz de electrones es dirigido contra el área biselada de un disco de tungsteno. Manteniéndose fija la posición del filamento, el ánodo gira durante la exposición y de esta forma siempre proporciona una superficie fresca para recibir la corriente de electrones conservando el área focal con una superficie tan grande como el área biselada del disco giratorio.

## RENDIMIENTO DE UN TUBO DE RAYOS X

Durante el choque de los electrones contra el ánodo sólo una fracción muy pequeña de la energía es emitida en forma de rayos X, la mayor parte se transforma en calor, siendo tal la temperatura del blanco, que si no se determina el régimen de trabajo para las características de construcción del tubo, se puede llegar al punto de fusión. La siguiente fórmula da una idea del rendimiento aproximado y de la cantidad de calor desarrollado en un tubo de rayos X:

$$\text{Eficiencia} = Z * V * 10^{-7} \quad [ \% ]$$

Z = Número atómico del blanco

V = Voltaje aplicado al tubo de rayos X.

Ejemplo : Supongamos que se aplica un potencial de 50.000 voltios a un blanco de tungsteno, de peso atómico igual a 74, y queremos saber la eficiencia del tubo, entonces procedemos como sigue :

$$Z * V$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{-----}}{1.000.000.000}$$

$$1.000.000.000$$

$$\begin{aligned}
 & 74 * 50.000 \\
 & = \frac{\quad}{1.000.000.000} = 0,0037 \\
 & = 0,37 \%
 \end{aligned}$$

Si el flujo electrónico a través del tubo es de 20 mA.  
tendremos :

$$\text{Potencia} = 50.000 * 0,02 = 1.000 \text{ vatios.}$$

$$\text{Potencia útil} = 1.000 * 0,37 \% = 3,7 \text{ vatios.}$$

$$\text{Potencia perdida} = 1.000 - 3,7 = 996,3 \text{ vatios.}$$

### 3.4 EQUIPO RADIOLOGICO BASICO

El esquema de la mayoría de los circuitos de rayos X se puede reducir a 5 circuitos básicos que son a saber:

- 1) Línea de alimentación del autotransformador
- 2) Circuito del filamento del tubo de rayos X.
- 3) Circuito del primario del transformador de alta tensión
- 4) Circuito del secundario del transformador de alta tensión
- 5) Circuitos de control.



### 1) Línea de alimentación del autotransformador

Este circuito provee los medios para vencer las variaciones de la potencia normal de entrada y da al operador los valores específicos del voltaje para la operación de un aparato de rayos X. Con este circuito nosotros energizamos todos los demás circuitos de la unidad, ya que éste se encuentra localizado entre la unidad y la línea de servicio.

La fuente de potencia varía según la línea y el día dependiendo de las demandas del lugar. Algunas unidades de rayos X operan con voltajes específicos y es por ello que se requieren ciertos ajustes para compensar estas variaciones de la línea. La calidad y la cantidad de los rayos X generados será variable debido a la variación del voltaje aplicado al circuito.

Para suplir el voltaje correcto a la unidad de rayos X se deberán controlar los voltios por relación de vueltas del autotransformador.

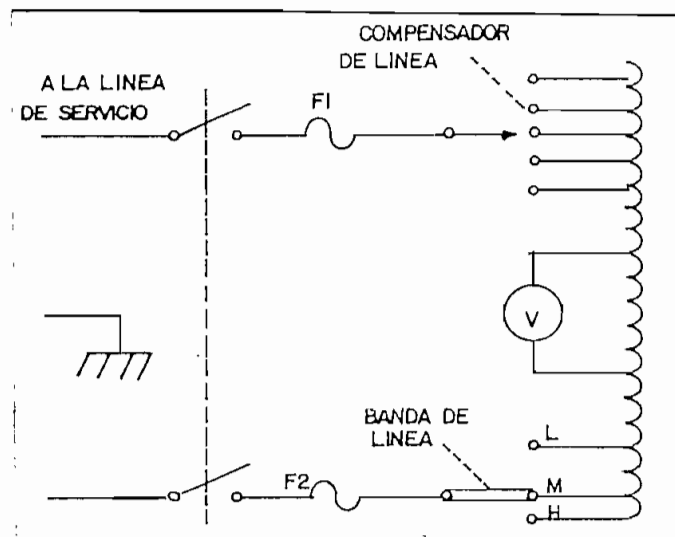


FIGURA # 4.

## 2) Circuito del filamento del tubo de Rayos X

Este circuito nos provee el nivel de potencia eléctrica requerida para calentar el filamento del tubo de rayos X y de los medios necesarios para variar la temperatura del filamento, o sea que controla la corriente en el tubo y de esta forma la cantidad de rayos X emitidos. La fuente generadora de electrones, filamento del tubo de rayos X, debe ser calentada a la incandescencia y para lograr esta temperatura una corriente relativamente alta será necesaria.

El autotransformador es la fuente de potencia, y alimenta a un transformador reductor que produce alta corriente a bajo voltaje. El transformador del filamento también aísla el alto voltaje que aparece a través del tubo proveniente del circuito del autotransformador. Nótese que los filamentos son alimentados con una corriente alterna suministrada por el circuito del secundario del autotransformador.

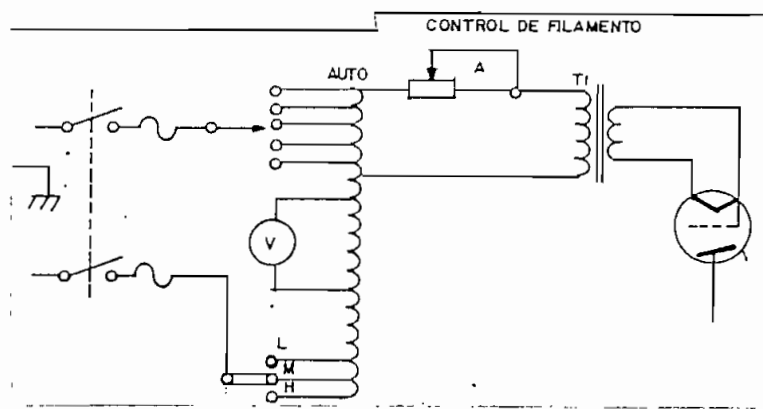


FIGURA # 5.

### 3) Circuito del Primario de Alta Tensión.

El circuito de alta tensión generalmente emplea un transformador elevador con relaciones de 1 : 400 hasta de 1 : 1000 para así lograr los miles de voltios necesarios para producir los rayos X.

El circuito primario de alta tensión tiene los medios para variar el voltaje primario y así poder cambiar el voltaje en el tubo de rayos X, (a través del voltaje secundario de alta tensión). Al poder variar el voltaje en el tubo podemos variar la calidad (o habilidad de penetración) de los rayos.

Este circuito incluye: selectores de kilovoltaje pico (KVP) . contactor o interruptor automático (CP) y un medidor de KVP (ver figura # 6).

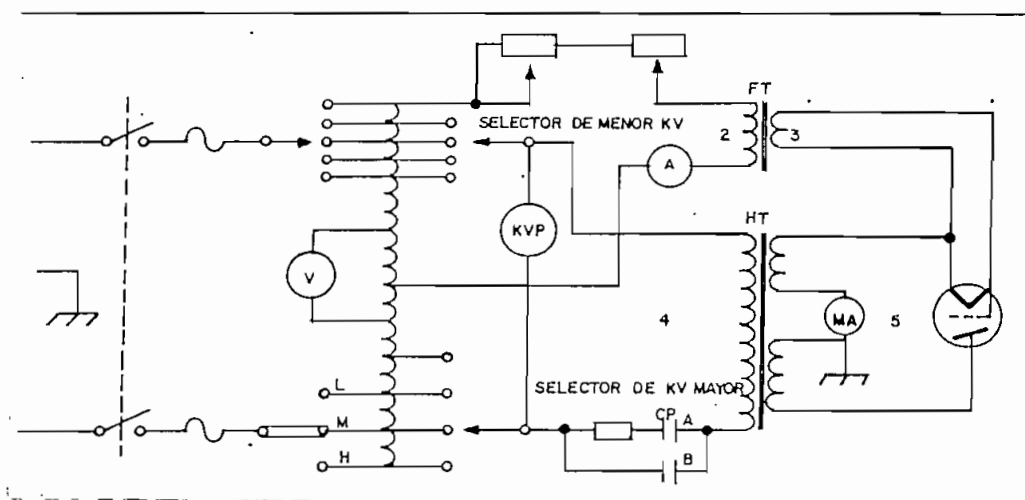


FIGURA # 6.

#### 4) Circuito del Secundario de Alta Tension

Este circuito consiste del bobinado secundario del transformador de alta tensión, del tubo de rayos X y un medidor.

En la figura # 7, se puede observar un circuito básico donde el tubo de rayos X está conectado directamente al bobinado secundario del transformador de alta tensión y recibe todo el voltaje de salida del transformador HT. El voltaje de salida del transformador es una función del voltaje de entrada del selector de KV y de la relación de vueltas del transformador.

El voltaje a través del tubo de rayos X es de corriente alterna pero debido a la acción rectificadora del tubo la corriente en el circuito se transforma en pulsaciones de corriente directa.

Y es por eso que el medidor empleado en este circuito es un mecanismo indicador de corriente directa.

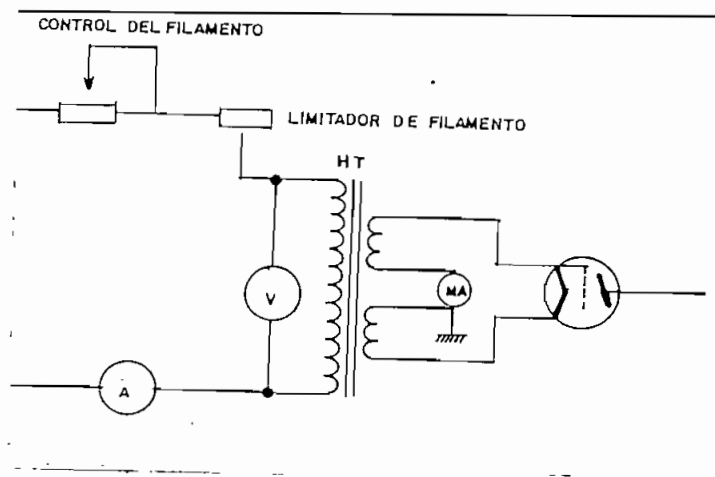


FIGURA # 7.

### 5) Circuito de Control

Este circuito controla el tiempo de operación del tubo de rayos X, es decir controla la producción de rayos X y también el período de tiempo durante el que los rayos son generados.

Muchos aparatos de rayos X pueden controlar tiempos de exposición de  $1/20$  segundos y otros más recientes controlan exposiciones de  $1/120$  de segundo.

La generación de rayos X se logra cerrándose los puntos de contacto en el circuito primario del transformador de alta tensión (Figura # 6). Al cerrar estos puntos se produce un alto voltaje en el tubo de rayos X lo que produce dichos rayos. Abriéndose los puntos de contacto eliminamos este alto voltaje y se detiene la generación de rayos X.

Lo dicho anteriormente se logra mediante el accionamiento de un interruptor temporizado (timer).

Para concluir realizaremos el análisis de un equipo real de rayos X, el GILARDONI CHIRURGICO SUPER que es uno de los equipos más difundidos en el país a razón de ser el equipo radiológico de los Centros de Salud Hospital que en número de 21 existen en funcionamiento. A continuación tenemos entonces la explicación del esquema funcional para lo que adjuntamos la figura # 8 :

## 1) CONECCION DE LINEA.-

La conexión de la planta se efectúa accionando el conector (K4). Dicho conector se compone de más contactos (capacidad de cada contacto 15 A aproximadamente) dos de los cuales, y precisamente el " f " y el " g " tienen un cierre retardado respecto a los demás . Esto para permitir de pre conectar el autotransformador de línea (T1) a través de la resistencia (R1) la cual queda después definitivamente cortocircuitada por los contactos antes mencionados.

Por medio de la operación de pre conexión se limitan sensiblemente los fenómenos de extracorrente que inevitablemente se producen al conectar repentinamente una inductancia (autotransformador) a la línea.

## 2) REGULACION Y COMPENSACION DE KILOVOLTAJE.-

El autotransformador (T1 4,5 KVA aproximadamente) está formado por dos devanados (bobinados) el primero conectado a la línea y provisto con numerosas tomas de salida aptas para proporcionar, a través del conmutador (K5), una gama de voltajes al primario A.T. del generador ; y el segundo perfectamente aislado que sirve para alimentar los servicios en baja tensión de la mesa (iluminación, potter, etc.).

De los dos conmutadores que seleccionan las tensiones a suministrar al primario del generador de alta tensión, el conmutador (K5) efectúa una selección gruesa, mientras el

conmutador (K7) efectúa una selección fina, para obtener valores intermedios entre una selección y otra del conmutador (K5).

El kilovoltímetro (S2) indica el preleído (es decir, antes de hacer los rayos X) los KV efectivos que se aplican al primario al momento de la emisión de rayos. Esto se realiza poniendo en serie al instrumento el transformador (T7) el cual simula, según los mA seleccionados, una caída de tensión proporcional (Variación de 10 KV aproximadamente por cada 100 mA). Esta tensión se la sustrae naturalmente a la tensión suministrada por los conmutadores (K5) y (K7)

El primario queda alimentado al cierre de los contactos del telerruptor (Z10) uno de los cuales, pre conectado respecto al otro, lleva en serie la resistencia (R2) que sirve para limitar los fenómenos inevitables de extracorrientes que se producen a la conexión de los rayos.

La cuchilla bimetálica (KLB) puesta en serie al primario de A.T. y, oportunamente calibrada, funciona como seguridad "memoria de carga máxima" . Es decir que dicha cuchilla, operando sobre el micro (K13) el cual a su vez ocasiona la excitación de (Z11) provee a impedir la repetición de cargas de grafía demasiado elevadas .

### 3) ALIMENTACION DE FILAMENTOS CATODICOS.-

Estos filamentos o focos, están alimentados por una tensión perfectamente estabilizada, tomada del estabilizador de hierro saturado (T4).

Esta tensión está más o menos regulada por la resistencia ajustable (R10) según la técnica mA seleccionada .

Los focos quedan automáticamente predispuestos para la técnica mA seleccionada por medio del relé (Z12) y en más detalle :

- FOCO PEQUEÑO para técnica 50 mA. y 100 mA.
- FOCO GRANDE para técnica 200 mA.

El foco no utilizado queda de todas formas mantenido en condiciones de pre encendido oportunamente alimentado bajo los valores normales por la resistencia (R9).

Cuando ninguna de las técnicas está seleccionada (teclas de mA. no apretadas) el filamento (foco pequeño en este caso) queda mantenido pre encendido a 4 mA.

### 4) ALIMENTACION ESTATOR ANODO ROTATORIO.-

Trátase en este caso de un estator monofásico de inducción. Inicialmente ello está alimentado por un breve instante (1 segundo aproximadamente) por una tensión plena para facilitar su arranque y alcanzar al mismo tiempo la velocidad de régimen.



Sucesivamente está subalimentado a través de la impedancia (L1).

El relé (Z4) relé de voltaje, puesto en paralelo al condensador de la etapa capacitiva, y el relé (Z5) relé de corriente, puesto en serie a la etapa inductiva, y se excitan solamente si ambas etapas están alimentadas, es decir, solamente si el rotor se halla en rotación.

Los contactos de dichos relés funcionan por lo tanto como seguridad " ánodo en rotación " y actúan sobre el circuito de mando grafía impidiendo o permitiendo la misma grafía.

## 5) PREPARACION DE RAYOS .-

### a) PREPARACION.

Es ésta la operación anterior a la grafía . Apretando el pulsador (K2) se excitan instantaneamente los relés (Z7) y (Z8) los cuales predisponen a la grafía los circuitos colocados en las secciones a continuación :

Sección 3 - Circuito regulación mA. filamentos catódicos. Z8

Sección 4 - Circuito alimentación motor ánodo rotatorio. Z7

Sección 7 - Alimentación relé cuentagolpes (Z7).

Sección 8 - Alimentación motor potter (Z8).

El relé (Z8) funciona además (en sintonía con el selector de técnicas mA.) sobre el relé (Z12) que supervisa la repartición

de los focos (numeral 3). El relé (Z7) actúa sobre el relé temporizado (Z2) retardado a la excitación de 1 segundo aproximadamente). Este último a su vez actúa sobre su relé auxiliar (Z3)

La excitación de (Z2) y (Z3) determina:

Seccion 4 - subalimentación del estator A.R. después del arranque inicial.

Seccion 5 - Predisposición del circuito de mando grafía .

b) GRAFIA.-

Apretando (K1) manteniendo apretado continuamente el mando de preparación (K2), si todos los permisos estan arreglados (Z11 - Z3 - Z4 - Z5) el relé Z6 se excita.

La excitación del relé (Z6) produce la alimentación (a 24V aproximadamente) instantánea del temporizador, el cual a su vez provee a suministrar entre sus salidas 14 y 15 una señal con una duración igual al tiempo seleccionado con el conmutador (K14). Dicha señal, aplicada entre los puntos K y G del Triac D10, lo lleva en conducción permitiendo de tal manera la excitación del telerruptor de rayos (Z10).

Al acabar el tiempo, el temporizador provee a quitar la señal al triac por lo que el mismo se bloqueará y determinará la desexcitación de (Z10).

#### 6) SENALIZACION.-

A2 es la luz indicadora de rayos; ella quedará continuamente encendida durante toda la duración de la emisión de rayos.

De A8 a A12, son lámparas incorporadas en los pulsadores para la selección de mA. e indican visualmente, iluminándose, cuál de los pulsadores ha sido apretado. A1 es la lámpara que senaliza la intervención de la cuchilla bimetálica. Hasta cuando dicha lámpara quede encendida, la grafía no podrá tener lugar.

#### 7) ALIMENTACION SERVICIOS 30 Vcc.-

Esta sección está predispuesta para recibir eventuales conexiones y enlaces de accesorios con servicios de 30 Vcc. El relé medidor Z0 procede su alimentación de los bornes de estos servicios. Dicho relé proporciona un leído igual al número de las preparaciones efectuadas.

#### 8) ALIMENTACION POTTER CENTRADOR LUMINOSO.-

Es esta la sección que supervisa la alimentación (24 Vcc.) del potter y del centrador luminoso colocado en el diafragma.

### 3.5 SISTEMAS COMPLEMENTARIOS

Entre los principales dispositivos complementarios usados en radiodiagnóstico tenemos los siguientes: conos localizadores, diafragma luminoso, compresores, antidifusores. Todos estos

mecanismos los podemos encontrar como accesorios de la mesa radiográfica que en sí es el elemento auxiliar por excelencia.

### Mesa Radiográfica

La mesa radiográfica, conjuntamente con el estativo (soporte del tubo de rayos X) y los accesorios de la misma, tales como la pantalla fluoroscópica, el seriógrafo, y el diafragma Potter Bucky, constituyen un juego de implementos muy importantes para la técnica de radiodiagnóstico, ya que de ellos depende en gran parte la posibilidad de ejecutar estudios de investigación para el diagnóstico, razón por la cual los fabricantes de equipos de rayos X, han extremado los detalles de la construcción de los mismos, hasta el punto que se han diseñado mesas radiográficas de urología, ginecología, traumatología, tomografía, etc.

### ACCESORIOS

#### Conos Localizadores

Uno de los recursos más simples, para reducir la cantidad de radiación secundaria emitida por el sujeto radiografiado, se consigue con el uso de conos y cilindros de diferentes tamaños aplicados al soporte del tubo de rayos X.

No sólo se logra mayor nitidez con el uso de los mismos, sino que permiten manejar con facilidad la incidencia de los rayos en el objeto sometido a estos exámenes; por ejemplo en la ejecución de ciertas radiografías del cráneo.

### Diafragma Luminoso

Sirve para limitar el haz de rayos en la zona expuesta al impacto de los mismos.

### Compresores

Las radiografías de las regiones muy espesas del organismo acarreamos dos inconvenientes:

- 1) Necesidad de usar grandes potencias de carga.
- 2) Formación de gran cantidad de radiación secundaria.

Para atenuar en parte estos inconvenientes, se recurre a los compresores.

### Antidifusores

Cuando un haz de rayos X hace impacto en un cuerpo da lugar a que el cuerpo atravesado por la radiación primaria emita en todas las direcciones una radiación secundaria, radiación que no tiene la misma dirección que el rayo central. Estos rayos son divergentes con respecto a los que van a formar la imagen siendo la causa de velo y la falta de contraste en radiografías obtenidas a través de cuerpos de gran densidad radiológica.

Para corregir este inconveniente se usan los antidifusores o rejillas que realmente son filtros de rayos X. La rejilla es colocada entre la parte a ser irradiada y la película

(cassette). La radiación que no viaja en la misma dirección que el rayo central será absorbida por las laminillas de plomo.

Entre los antidifusores el más empleado es el llamado Potter Bucky, construido por laminillas de plomo, el cual va colocado debajo de la tapa de la mesa radiográfica.

Animado por un movimiento sincrónico al de la descarga de rayos X durante la exposición, el antidifusor elimina la radiación secundaria sin que aparezcan marcadas las laminillas de plomo, cosa que ocurriría si el Bucky estuviese fijo al hacer el disparo.

El antidifusor fijo Lysholm, en el cual las laminillas de plomo han sido reemplazadas por una serie de alambres de escasas centésimas de milímetro por cuya causa la imagen de su estructura es de mínima significación, es muy útil para tomar radiografías en la cama del enfermo.

Hoy en día se fabrican muchos chasis radiográficos con pantallas Lysholm.

El antidifusor Bucky y el interruptor de exposiciones están interconectados eléctricamente uno con otro. Asegurando así que la exposición no comience hasta tanto el difusor no esté en movimiento.

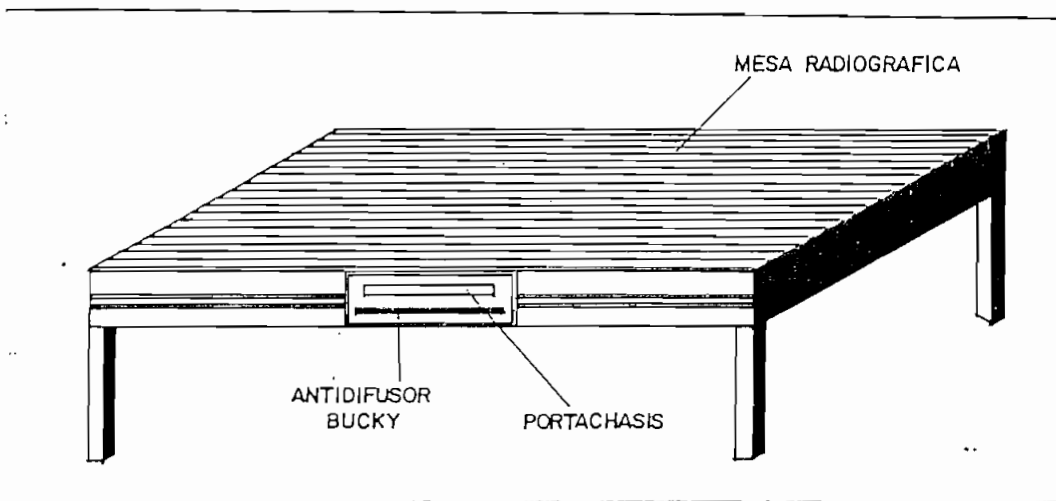


FIGURA # 82

## CAPITULO 4

### SALAS RADIOLOGICAS

#### 4.1 DESCRIPCION

Las salas radiológicas de un Hospital están conformadas por una serie de locales donde se van a realizar diferentes actividades y se van a tener diferentes circulaciones dependiendo si se trata de personal del departamento, pacientes de consulta externa o pacientes hospitalizados.

La ubicación del departamento debe ser en el área de servicios intermedios y debe estar cerca de los servicios de urgencias, cirugía y consulta externa, o tener fáciles vías de acceso (corredores o ascensores).

El área del departamento y su número de salas de rayos X dependen del nivel de atención médica del hospital y del volumen de trabajo.

De esta manera en nuestro medio, se ha logrado determinar una escala para la dotación del equipamiento en función de la capacidad del centro hospitalario y son datos proporcionados por la División de Proyectos de la Dirección Nacional de Establecimientos de Salud.



Es importante mencionar que previo al análisis de la sala radiológica, existe un estudio estadístico para determinar la capacidad global de un hospital a construirse (no sólo en el área de radiología) en función de la población a la que va a servir, que no es objeto del presente estudio. Para la realización de este trabajo se parte de los hospitales con los equipos que allí existen en funcionamiento y de las salas radiológicas con que cuentan.

Se dice que un hospital se dimensiona de acuerdo con el número de camas de hospitalización que mantiene; de esta forma podemos darnos cuenta del tamaño del hospital.

Así, para nuestro medio tenemos la siguiente clasificación:

Hospital Regional Especializado

Hospital Regional No Especializado, o Base

Centro de Salud Hospital

Subcentro de Salud

Puesto de Salud

#### El Hospital Regional Especializado

Es el mayor centro hospitalario en cuanto a su dimensionamiento; se denomina "regional" por cuanto está destinado a cubrir un amplio radio de acción, verdaderas

regiones de nuestro país. Se le denomina especializado porque dispone entre sus servicios de atenciones consideradas específicas tales como servicio de rehabilitación, unidad de cuidados intensivos, unidad de quemados, entre otros.

Su capacidad oscila entre las 220 y las 600 camas, está dirigido a una concentración de 120.000 a 600.000 habitantes. Como ejemplos de estos hospitales tenemos: El Hospital de Ibarra, El Hospital Eugenio Espejo (Quito), Hospital del Sur (Quito), Hospital Regional de Ambato, Hospital Vicente Corral Moscoso de Cuenca.

Este tipo de Hospital cuenta por lo general con 3 salas radiológicas (en un mismo departamento de radiodiagnóstico). Cuenta con un equipo de Rayos X de 600 a 1000 mA. el mismo que cuenta con una mesa basculante, intensificador de imagen para la realización de fluoroscopías, estativo vertical para las radiografías que se pueden ejecutar con el paciente de pie, tal como el standar de torax. Este tipo de equipo incluye a veces el servicio de tomografía.

Existen también dos equipos de Rayos X universales de 300 mA. con mesa fija, estativo vertical. Además cuentan con uno o dos equipos radiológicos móviles para ser usados en quirófanos o en emergencia; la capacidad de estos equipos es de alrededor de 125 mA.

### Hospital Regional no Especializado u Hospital Base

De menor capacidad en servicios que el anterior pero igualmente está destinado a servir a un apreciable núcleo de habitantes. Su capacidad varía entre 120, 220 y 320 camas .

Cuenta con dos salas radiológicas por lo general, una para un equipo de 800 mA. con mesa basculante, intensificador de imagen, estativo de pared; y otra sala para un equipo universal de 300 mA. mesa fija y estativo de pared.

Además de estos equipos cuenta con un equipo radiológico móvil de 125 mA. para ser empleado en emergencias o en quirófanos.

Ejemplos de este tipo de hospital son: Hospital de Tulcán, Hospital de Santo Domingo, Hospital de Guaranda (actualmente en construcción), Hospital del Niño (Guayaquil).

### Centro de Salud Hospital

Este es el centro hospitalario mayormente difundido en nuestro medio. Gracias a un contrato que data de los años sesenta, se llegaron a construir 24 de estos en diferentes lugares de nuestro país. Posteriormente se construyeron (con algunas modificaciones al diseño original) 21 Centros de Salud más. Todos ellos idénticos, suman 45 en la república.

Construidos en una sola planta, sus características responden a las de una pequeña clínica, contando sin embargo con todos los servicios indispensables.

En cuanto a servicios radiológicos, cuentan con una única sala que alberga un equipo universal de 300 mA., mesa fija, estativo de pared. La capacidad de este Centro de Salud es de 15 camas y está dirigido a un núcleo de 10.000 a 50.000 habitantes especialmente de zonas alejadas que presentan dificultades de acceso.

En la provincia de Pichincha tenemos los siguientes Centros de Salud Hospital: Sangolquí, Yaruquí, Machachi, en el resto del país tenemos como ejemplo en: Lago Agrio, Vilcabamba, Limón Indanza, Amaluza, Limones, Saraguro, etc.

#### Subcentros de Salud

No cuentan con servicios de medicina interna, están destinados a una población de 3000 a 8000 habitantes. Sirven por lo general a comunas campesinas, no cuentan con servicio radiológico.

#### Puestos de Salud

Es el núcleo mas pequeño en la escala de la infraestructura de salud en nuestro país, destinado a servir de 500 a 2000 habitantes, no disponen de servicios radiológicos.

Además hay que considerar en todos los casos anteriores, con excepción de los subcentros de salud y los puestos de salud, que se cuenta con un equipo radiológico dental por lo general de 50 mA.

Los datos anteriores son el fruto de un censo del equipamiento radiológico en nuestro país, en base a la clasificación hospitalaria vigente. Como es de esperarse, existen algunas variaciones que no afectan al promedio general. Recalco que tanto en los Centros de Salud Hospital como en los Hospitales Regionales Especializados, la sala radiológica se encuentra formando parte de los servicios intermedios, llamados así por encontrarse entre la consulta externa (atención al público en general) y los servicios de hospitalización como cirugía, esterilización.

#### 4.2 CARACTERISTICAS.

Por ser las salas radiológicas más difundidas en nuestro país, vamos a realizar un análisis de las características de una sala radiológica del Centro de Salud Hospital (situación actual) y las características ideales del departamento de dos salas radiológicas, gracias al censo nacional en cuanto a este tipo de área.

Un departamento de radiología que contemple dos salas radiológicas, deberá incluir las siguientes áreas:

##### Oficina de Recepción y Administrativa

Sirve para dar citas e instrucciones a los pacientes. Controla la sala de espera y los archivos de radiografías. La superficie ideal para este servicio es de 9,2 m<sup>2</sup>. Necesita 2 tomas

eléctricas de 110V. una iluminación de 350 luxes, 1 teléfono de extensión, 1 intercomunicador .

### Sala de Radiofluoroscopia

Contiene el equipo radiológico más completo, con mesa basculante y capacidad para realizar fluoroscopías. Necesita de total oscurecimiento en el caso de que el equipo no tenga intensificador de imagen (en este caso el equipo puede realizar fluoroscopías gracias a la inserción de una pantalla sensible). Colinda con el cuarto de revelado y sanitario; requiere protección radiológica para las personas próximas a la sala. Su área ideal es de 22,5 m<sup>2</sup>. Necesita de una toma especial de fuerza para el equipo; una iluminación de 100 luxes, además de una iluminación especial adicional (luz roja). Tiene un intercomunicador y funciona mejor si tiene aire acondicionado con ventilación apropiada.

### Area de Control de Equipo

Contiene los controles de los equipos radiológicos, y como estamos hablando de una sala radiológica que contempla dos equipos, tenemos dos áreas de control, una para cada uno de éstos. Debe proteger al operador de los Rayos X, proporcionando a éste, una aceptable visibilidad hacia la sala del equipo (esto se consigue con la utilización de vidrio plomado). Debe garantizar además la comunicación verbal operador paciente.

Cada área de control de equipo debe tener al menos 4,5 m<sup>2</sup> y 100 luxes de iluminación.

#### Sala de Rayos X. (Radiografías Simples)

Contiene el equipo universal de mesa fija para la realización de radiografías comunes. Debe permitir el desplazamiento de camillas y sillas de rueda; colinda con el cuarto oscuro; requiere de protección radiológica para las personas próximas a la sala. Para esta sala se recomienda una altura de 3m. Debe tener un área de 22,5 m<sup>2</sup>; necesita de una toma de fuerza para el equipo, 100 luxes de iluminación y un intercomunicador; igualmente puede funcionar mejor si dispone de aire acondicionado y ventilación apropiados.

#### Cuarto de Revelado

Debe ser oscurecible totalmente, además de tener una iluminación especial de luz filtrada; su área ideal es de 7.5 m<sup>2</sup>. Necesita de las siguientes instalaciones: 3 puntos de agua fría, 3 puntos de agua caliente, 3 puntos de drenaje, una toma eléctrica de 220V un intercomunicador y servicio de extracción de aire.

#### Cuarto de Archivo de Radiografías.

Este es un cuarto en el que idealmente se pueden guardar las radiografías durante la vida del paciente. Debe tener un área

ideal de 20 m<sup>2</sup>. Debe contemplar dos tomas eléctricas de 110V y una iluminación de 300 luxes.

En el departamento radiológico tenemos también las siguientes áreas de menor interés:

Vestidor de pacientes

Sanitario de pacientes

Preparación del paciente y reposo

Sala de espera

Sanitario de personal

Cuarto del equipo móvil.

En la figura # 9, podemos apreciar todas estas áreas mencionadas.



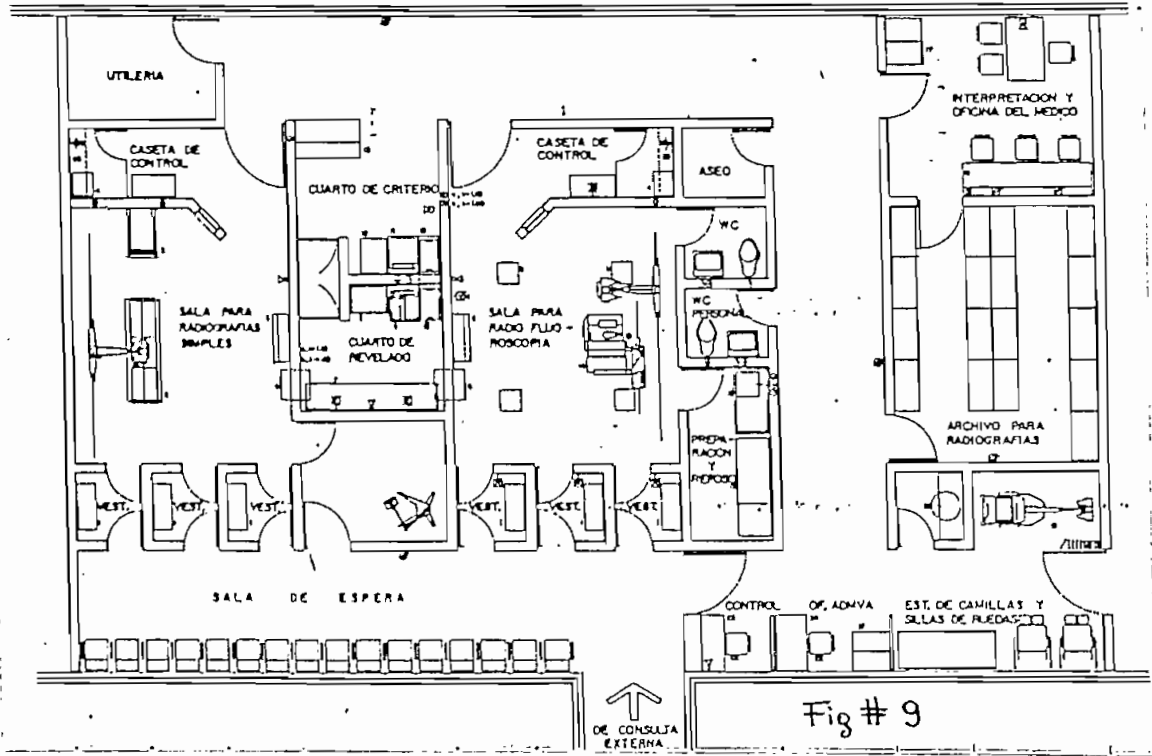


Fig # 9

En cuanto a la sala radiológica (única) del Centro de Salud Hospital, cuenta con las siguientes áreas:

#### Sala del Equipo

En la que albergamos al equipo universal de 300mA. con mesa fija y estativo de pared; esta sala tiene una altura recomendada de 3 m. lo que permite la instalación de la riel que facilita los movimientos del tubo de Rayos X. Tiene un área de 19,45 m<sup>2</sup>, proporciona protección radiológica a las personas cercanas al área. Contempla una toma especial de fuerza para el equipo radiológico.

#### Sala de Control

Contiene la consola de control del equipo; permite buena visibilidad entre el operario y el paciente, gracias a la instalación de una ventana de vidrio plomado. Además permite la comunicación verbal paciente operario. Su área es de 2,3 m<sup>2</sup>.

#### Cuarto de Revelado

Es el área de procesamiento de la película, tiene una iluminación especial filtrada y puede ser oscurecido totalmente. Tiene una toma de 220V y otra de 110V. Cuenta con dos puntos de agua fría y dos puntos de drenaje, no requiere de agua caliente porque la procesadora de películas tiene incorporado un termostato para ello. Su área es de 3,52 m<sup>2</sup>.

Todo esto se puede apreciar en la figura # 10.

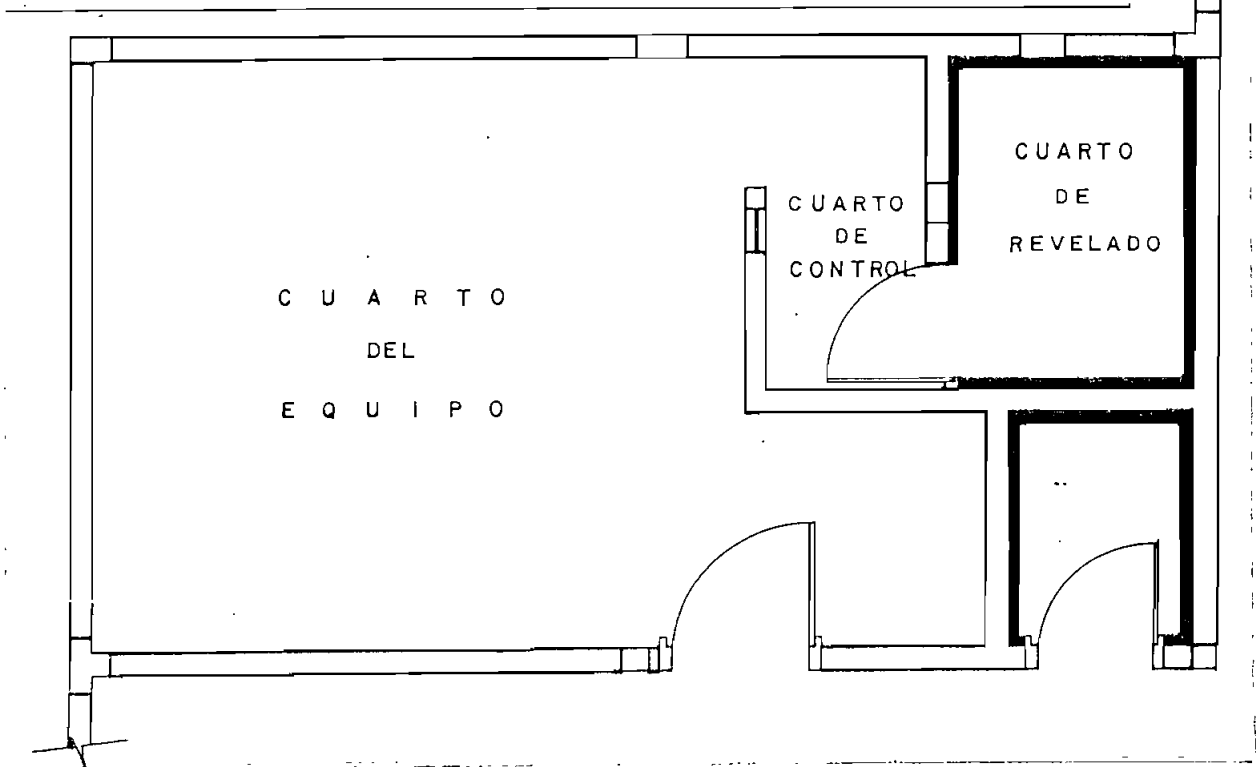


FIGURA # 10.

#### 4.3 BLINDAJE

Si consideramos los efectos biológicos de los Rayos X o gamma, debemos interponer entre la fuente de emisión y las personas encargadas del manejo de los equipos, tanto para trabajo de rutina, como trabajos técnicos dentro de cada especialidad, un elemento de protección, cuya composición material este constituida por un gran número de electrones; a mayor número de electrones mayor cantidad de radiación será detenida o absorbida.

El plomo por su densidad, es uno de los elementos que se utiliza con mayor frecuencia. La composición de cauchos y vidrios plomados es muy conocida por su uso, tanto en las

pantallas fluorescentes, como en los delantales y guantes de protección. Sin embargo para otro tipo de protección, el concreto de determinado espesor y densidad, ofrece las mismas características de absorción y su aplicación está bastante generalizada. La equivalencia entre el plomo y otros materiales empleados en la construcción será incluida en esta sección.

Los factores que intervienen en el cálculo del espesor de las barreras de protección (se entiende por barreras de protección a paredes, puertas, vidrios, biombo y demás elementos que sirvan de obstáculo a las radiaciones con fines de seguridad) son los siguientes:

DOSIS MAXIMA PERMISIBLE. Para áreas centrales es de 0,1 rem por semana y es un valor muy empleado en los cálculos de salas radiológicas.

FACTOR DE USO. U. Fracción de la carga de trabajo, durante la cual el haz útil está dirigido en una dirección determinada y se considera para piso  $U = 1$ , para paredes  $U = 1/4$ , y para techos  $U = 1/16$ .

FACTOR DE OCUPACION T.

Ocupación total  $T = 1$ . Se refiere a los ambientes próximos a las áreas de trabajo y de actividad permanente durante el trabajo en las salas de Rayos X.

Ocupación parcial  $T = 1/4$ . Se refiere a ambientes que no se usan por mucho tiempo, como corredores, salones de reposo, etc.

Ocupación ocasional  $T = 1/16$ . Se aplica generalmente a ambientes de uso eventual, como algunos lugares de tránsito alejados de los Rayos X.

DISTANCIA Y CARGA DE TRABAJO Estimadas en metros y en miliamperios minuto por semana respectivamente.

La siguiente es la fórmula práctica para determinar el espesor de las barreras de protección con ayuda de las curvas de atenuación que veremos posteriormente:

$$K = \frac{P * d^2}{W * U * T} \quad [ \text{rem/mA.minuto a un metro} ]$$

$P$  = Dosis máxima permisible [ rem / semana ]

$d$  = Distancia de la fuente de radiación al espacio [metros].

$W$  = Carga de trabajo [ mA. minuto / semana ]

$T$  = Factor de Ocupación

$U$  = Factor de Uso.

Ejemplo. Hallar el espesor del material protector necesario para un área controlada con los siguientes datos :

$d = 10$  m. (distancia desde la fuente de radiación al área de interés, donde colocaremos la barrera de protección.)

KV = 100 kilovoltios.

Factor de uso  $U = 1/4$ .

Factor de ocupación  $T = 1$ .

Carga de trabajo  $W = 1.000$  mA.minuto/semana.

Sustituyendo estos valores en la fórmula de  $K$  tenemos :

$$K = \frac{0,1 * 10^3}{1000 * 1/4 * 1} = 0,04 \text{ r/mA.minuto a un metro}$$

El resultado es de 0,04 r/mA.min a un metro. Para saber el espesor del material protector (plomo) nos referimos a las curvas de atenuación, ver figura # 11 .

Para  $K = 0,04$  a 100 KV. el espesor en plomo es de 0,4 mm. y el espesor equivalente en concreto de 2,2 g/cm<sup>3</sup> de densidad es de 0,4 mm. multiplicado por el factor de la tabla # 3, que para este material, densidad y kilovoltaje, es de 75. Recordemos que en caso de no tener un espesor específico en la tabla 3, como en este caso que tenemos en la tabla valores para 2, 5 y 10 mm de plomo, pero no para los 0,4 que calculamos, en este caso por seguridad se escoge el valor inmediatamente superior que es para 2 milímetros. Así  $0,4 * 75$  nos da 30 milímetros de concreto que es el valor buscado.

A continuación tenemos la tabla de factores de conversión para materiales de construcción relativas a milímetros de plomo.

TABLA # 3 . (\*)  
FACTORES DE CONVERSION

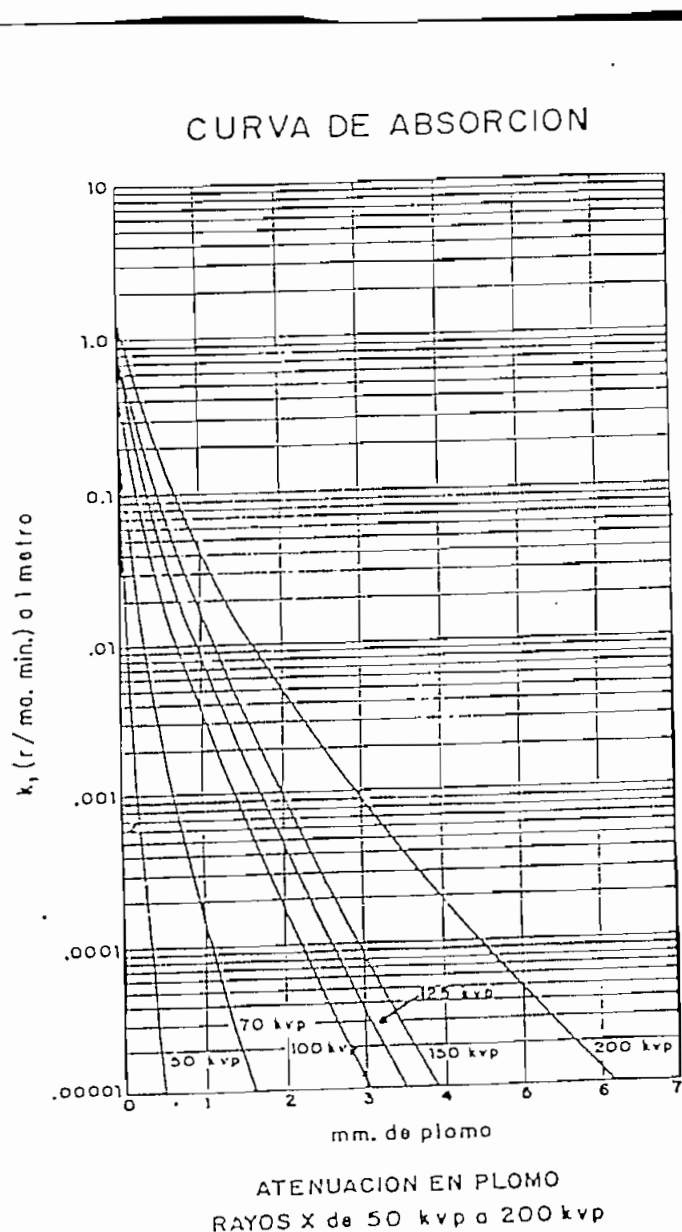


FIGURA: II

KV nominal	KV nominal				
	100	150	200	250	300
6	6	11	12	12	12
6	6	11	12	11	10
14	14	15	14	14	13,5
14	14	15	15	14	13
14	14	15	15	13	12
75	75	80	75	55	45
75	75	80	65	50	35
75	75	80	60	45	30
100	100	100	100	75	60
100	100	100	90	65	45
100	100	100	85	60	40
120	120	120	120	90	75
120	120	120	105	75	55
120	120	120	100	65	45

Así, si por ejemplo se requiere una protección de plomo de 2,5mm. a 200 KV. en ladrillo de densidad 1,9, vamos al cuadro de factores y vemos que este valor es de 100, entonces lo que tenemos que hacer es multiplicar el espesor en plomo por el factor encontrado, en nuestro caso multiplicamos 2,5 por 100, el resultado es 250 mm. de ladrillo equivalente, es decir 25 cm.

En el caso que se requiera una protección de plomo pero a pesar de esto necesitemos visualizar, tal como ocurre entre el operario y el paciente cuando se toma una radiografía, lo que hacemos es utilizar un vidrio especial plomado. Para este vidrio existen curvas para determinar de que espesor necesitamos el cristal con respecto a un espesor de plomo requerido. A continuación describiremos las principales características del vidrio protector contra radiaciones RWB.46 el mismo que es uno de los más empleados en este campo.

RWB.46 ha sido designado para proveer una protección contra las radiaciones producidas por equipos de diagnóstico e industriales inclusive. El cristal contiene un porcentaje elevado de elementos pesados, como plomo y bario, para dar una óptima protección contra equipos que funcionen entre el rango de 100 a 150 KV. manteniendo una relativa baja densidad.

El cristal es construido con los mismos procesos continuos que para elaborar lentes para óptica de precisión. Esta alta calidad permite al cristal ser utilizado para fotoscopia, u observación directa.



Las propiedades físicas del RWB.46 son:

Mínima transmitancia luminosa a 550 nm. para espesores superiores a 16mm.....	85%
Gravedad específica.....	4,8
Índice de refracción.....	1,757
Contenido de elementos pesados (% de peso).....	PbO.... 51%
	BaO.... 17%

#### 4.4 SEÑALIZACION.

La señalización es una de las herramientas más útiles para la prevención de radiaciones ionizantes innecesarias. Con una correcta señalización lo que primordialmente queremos lograr es proteger al público que poco o ningún conocimiento tiene de los peligros que las dosis excesivas de radiaciones ionizantes presentan; ya que se considera materia por demás conocida para personal y operarios de equipos emisores de radiaciones .

El símbolo de radiación internacional, y adoptado naturalmente también en el Ecuador según consta en el Reglamento de Seguridad Radiológica (publicado el miércoles 8 de Agosto de 1979 en el Registro Oficial con número 891), consiste en tres hojas en forma de trébol, de color magenta o púrpura sobre fondo amarillo como lo indica la figura #12:



FIGURA # 12.

Además de este símbolo deberán añadirse las señales de precaución correspondientes a cada área donde se genere o emita radiación; asimismo, todo envase de material radiactivo deberá llevar una etiqueta que identifique a una fecha determinada sus características: nombre del radioisótopo, período de semidesintegración, actividad o tasa de exposición. Según reza el citado reglamento vigente hasta la fecha.

## CAPITULO 5

### PROTECCION CONTRA RADIACIONES IONIZANTES

#### 5.1 PROTECCION AL MEDIO

##### 5.1.1. REVISION Y CALIBRACION DE EQUIPOS

Trabajo que al menos en el área de servicios públicos de salud, está encomendado al IEOS entidad en la que al momento presto mis servicios y específicamente en la División de Mantenimiento de Establecimientos de Salud. Estas pruebas que periódicamente se realizan en los equipos del Ministerio de Salud, consisten en lo siguiente :

##### CONTROL DEL NIVEL DE KILOVOLTAJE

Para lo cual contamos con un transformador de alta tensión reductor de 1 a 1000 de tal manera que podamos determinar el nivel justo y exacto de kilovoltaje que va a ser aplicado al tubo para su emisión de radiación ionizante. En caso de que el valor observado difiera del nominal lo que hay que hacer es reajustar las salidas de voltaje primario que van al transformador de alta tensión, provenientes por lo general de un autotransformador regulable para este fin.

Recordemos que el kilovoltaje nos da la energía de penetración de la radiación. )

### CONTROL DE LA CORRIENTE Y TIEMPO

La corriente que circula nos da una medida de la cantidad de radiación emitida ; este factor multiplicado por el tiempo de emisión nos da el factor MAS, miliamperios por segundo, el mismo que es susceptible de medirse con un metro especial denominado "másmetro" el mismo que se intercala en el circuito secundario de alta tensión de un equipo radiológico (la mayoría de los equipos vienen con terminales listos para ser conectados a un másmetro). De esta manera determinamos el nivel de corriente por unidad de tiempo. El rango de corriente circulante que en caso de no ser el que nominalmente debiera, es susceptible de corregirse variando resistencias de calibración que por lo general traen los equipos en el circuito de filamento, variando la tensión de alimentación a los mismos lo que a su vez es proporcional a la corriente que producen en el tubo.

Fudiera ser que el daño se encuentre en el temporizador del equipo por lo que éste debiera ser revisado previamente mediante el uso de un cronómetro de precisión o con un osciloscopio de memoria.

Cabe señalar que por regla general la calidad de una radiografía de una parte específica del cuerpo depende en mayor grado del producto miliamperios segundo (MAS).

Así por ejemplo, una mano se toma con 10 miliamper segundo por lo que las reglas de prevención recomiendan mantener el mismo nivel de MAS aumentando la corriente y para que el producto no se altere, reduciendo el tiempo; de esta manera el paciente recibe una menor cantidad de radiación con un mismo resultado final; el único afectado en este punto es el equipo que se ve forzado a trabajar en condiciones más críticas.

### CONTROL DE HAZ DE RADIACION

Este tipo de control tiene por objeto el determinar si no existe desviación alguna del haz de radiación. Como se indicó anteriormente cuando se habló de equipos radiológicos, el colimador es un dispositivo que nos permite radiar solo un área específica y no otra, susceptible de determinarse previamente a la radiografía gracias a la iluminación del área. El colimador consigue esto debido a que utiliza pantallas de plomo móviles según la voluntad del operario, tanto en los ejes horizontal y vertical. Ahora bien, cuando se desea comprobar que el haz de radiación coincide con el área colimada (como debería ser lo correcto), se procede de la siguiente manera:

Sobre una placa radiográfica, se colima un área menor a la de la placa (ver figura # 13), luego con tiras metálicas (se puede emplear también alambre) se enmarca esta área colimada. Posteriormente se toma una radiografía, la misma que una vez revelada debería mostrar que se ha radiado únicamente la zona enmarcada por las tiras metálicas las mismas que no deberán ser

muy gruesas para permitir una buena determinación. Un alambre metálico de unos tres milímetros de diámetro puede servir bien para este fin.

Cuando no está calibrado el haz con el colimador, tenemos como resultado que la radiación está actuando sobre un área distinta a la que el operario determina con los consecuentes riesgos. De aquí que esta prueba debe realizarse periódicamente a los equipos radiológicos.

En el caso de que se sence una descalibración de esta naturaleza lo que se hace es proceder a rectificar los engranajes que el colimador tiene para el efecto de tal manera que en una posterior prueba se determine que está bien centrado.

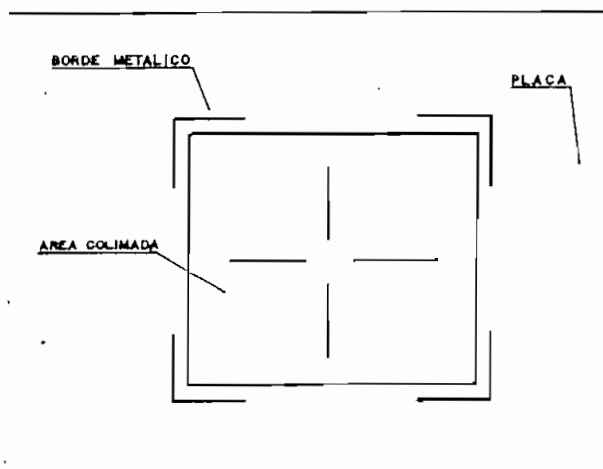


FIGURA # 13 .

## CONTROL DE LINEALIDAD DEL EQUIPO

Esta prueba se realiza contando con un dosímetro de haz directo, es decir que se lo coloca directamente bajo el haz principal de radiación, debiendo por tanto ser un equipo especialmente diseñado para este fin ya que la mayoría de dosímetros empleados no pueden ser ubicados directamente en el haz principal sin riesgo de daño.

De esta manera, primero se toma una lectura de la dosis de radiación absorbida directamente por el dosímetro, cuando le incide abiertamente el haz y se toma nota de este valor. Luego, se procede a ir añadiendo paulatinamente filtros sobre la ventana del dosímetro tomando en cada caso nota de las lecturas de radiación de las tomas así realizadas. Los filtros deberán ser todos del mismo tipo y grosor; si bien las radiaciones ionizantes tienen el carácter de probabilísticas y no debemos esperar dos lecturas iguales del dosímetro bajo idénticas condiciones, se entiende que las eventuales variaciones serán pequeñas y en términos generales podemos determinar un nivel promedio de radiación para unas condiciones dadas.

De esta manera podemos establecer una supuesta linealidad del equipo, observando su respuesta ante diferentes filtros.)

### 5.1.2 MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE BLINDAJE Y CALIBRACION

Este trabajo esta encomendado a la Comisión de Energía Atómica, la que también realiza visitas periódicas a las unidades de salud públicas y privadas. Consiste de una completa dosimetría para determinar eventuales fugas de radiación en los equipos, para el efecto se proceden a tomar medidas de radiación en distintas partes de la sala radiológica como por ejemplo en los alrededores del tubo de Rayos X y en áreas próximas a él.

Además este organismo, por ley, se encarga del control de los equipos empleados en los sistemas de blindaje y calibración, tales como dosímetros y filtros empleados por cualquier otro organismo o institución; para este efecto dispone de un laboratorio equipado con los elementos suficientes para este fin.

## 5.2 PROTECCION A LAS PERSONAS

### 5.2.1. PROTECCION AL PUBLICO

Cuando hablamos de radiaciones ionizantes, estamos limitandonos a aquellas producidas con fines terapéuticos o de diagnóstico, de tal manera que cuando nos referimos al público, nos dirigimos al que por diversa índole frecuenta hospitales, clínicas o similares donde además existan equipos que emitan radiaciones ionizantes.



Una indebida política de protección al medio obviamente redundará en potenciales peligros para el público que esté relacionado de alguna manera con la fuente de radiación; por esta razón la mejor forma de proteger a las personas es llevar a cabo un sistemático programa de revisión y mantenimiento que permita un margen de seguridad apropiado.

Sin embargo de esto, se puede mejorar aún más las condiciones de seguridad si además de un eficaz blindaje de los equipos se proporciona al público normas de conducta en áreas cercanas a fuentes de emisión radioactiva. Es vital proporcionar una simbología que permita fácilmente reconocer e identificar las áreas de peligro a personas que no necesariamente tengan conocimiento del riesgo existente, personas que pueden concurrir a un hospital como visitantes o para tratamientos de diversa índole; de ahí que la simbología cobra un papel vital.

#### 5.2.2 PROTECCION AL PACIENTE.

La mejor manera de proteger al paciente que se somete a un examen radiológico es suministrando la dosificación correcta de modo que la radiación administrada venga a ser ni mayor ni menor de la absolutamente necesaria para el efecto.

Uno de los principales motivos de preocupación por las pequeñas dosis de radiación recibidas por los pacientes en los procedimientos de diagnóstico es el posible efecto sobre la salud de las futuras generaciones. Por esta razón es que se pone mayor atención en la protección gonádica cuando se realiza

una técnica radiológica, existiendo protectores específicos para esta zona del cuerpo los que no siempre son disponibles en nuestro medio. A continuación observamos la tabla # 4, en la que podemos encontrar la dosis gonádica media por tipo de examen realizado :

TABLA # 4 . (\*)

DOSIS GONADICA MEDIA POR EXAMEN Y SEXO

TIPO DE EXAMEN	HOMBRES	MUJERES.
	milirads por examen.	
CRANEO.....	**.....	4
COLUMNA CERVICAL.....	8.....	2
TORAX.....	5.....	8
COLUMNA TORAXICA.....	184.....	9
HOMBROS.....	**.....	**
SERIE DE LAS VIAS GASTROINTESTINALES SUPERIORES.....	130.....	360
ENEMA DE BARIO.....	1535.....	439
COLECISTOGRAFIA O COLANGIOGRAMA.....	2.....	193
PIELOGRAMA INTRAVENOSO O RETROGRADO.....	2091.....	407
ABDOMEN, RIÑÓN, URETRA,VEJIGA.....	254.....	289
COLUMNA LUMBAR, SACROLUMBAR.....	2547.....	420
PELVIS.....	717.....	41
CADERAS.....	1064.....	309
EXTREMIDADES SUPERIORES .....	2.....	1
EXTREMIDADES INFERIORES.....	96.....	**

(\*) Fuente : Exámenes Radiológicos. Guía para una buena práctica Clínica. OPS.

(\*\*) Cantidad menor que 0,5.

### 5.2.3. PROTECCION AL OPERARIO

El operario es una de las personas que más cuidado debe tener con las radiaciones ionizantes puesto que él trabaja continuamente con ellas. Su caso es distinto al del público que casualmente puede sufrir irradiación o al del paciente que con fines terapéuticos o de diagnóstico tiene que recibir pequeñas dosis en su cuerpo.

El operario debido a la naturaleza de su trabajo recibirá radiaciones en mayor o menor grado cada que una radiografía o procedimiento radiológico sea realizado ; dependiendo de las precauciones tomadas, del blindaje de las paredes y obviamente del blindaje del equipo. Aquí una vez más vemos la importancia de un buen mantenimiento y calibración de equipos radiológicos, puesto que éstos con el tiempo tienden a aumentar las fugas de radiación. El haz ya no incide normalmente al plano del paciente sino que se produce una especie de cono de radiación el mismo que presenta mayor abertura conforme el equipo tenga más años en uso y por tanto el tubo se encuentre más deteriorado.

La solución para la protección al operario está en el uso constante de los elementos protectores como son mandiles, guantes, y gafas emplomados, de manera que constituyan una barrera eficaz, manteniendo al operario a salvo de cualquier efecto indeseado. Además que se debe tener en cuenta siempre las normas de seguridad que recomiendan que toda persona que no

sea el paciente debe guarecerse detrás de barreras de protección en el momento en que se produzcan radiaciones.

La utilización de mandiles, guantes y gafas emplomados es una solución a los potenciales riesgos del operario, sin embargo no es una solución fácilmente acatada por las personas que trabajan en departamentos de radiología, debido a que todo material que se recubre con plomo aumenta considerablemente su peso; así es como guantes y mandiles emplomados vienen a ser verdaderos tormentos para los operarios que finalmente optan por no usarlos poniendo así en riesgo su salud.

Hay dos consideraciones básicas que deberían ser tomadas muy en cuenta por los operarios antes de decidirse por no utilizar los mandiles y guantes emplomados:

1. Las radiaciones ionizantes están presentes únicamente en el momento de incidencia, es decir, en radiografía por ejemplo, existen radiaciones únicamente el lapso que dura la exposición radiológica que en estos casos muy raramente excede al segundo, un tiempo relativamente muy corto y únicamente durante el cual es necesario tomar precauciones.

2. Las dosis absorbidas por el cuerpo humano si son acumulativas, por eso es que sus valores máximos vienen dados en rangos de radiación, rems/semana, rems/trimestre, etc. así que por muy pequeñas que sean las dosis absorbidas por los operarios, estas se van acumulando conforme se producen exposiciones a la radiación y si éstas multiplicamos por las

veces que se producen en el día y luego en el año, bien pueden llegar a ser cantidades significativas que nos harán meditar antes de desdeñar el uso de los "pesados" mandiles y guantes; estos son en definitiva un mal necesario y la única defensa del operario ante las radiaciones.

Recordemos siempre que las radiaciones ionizantes no son susceptibles por ninguno de nuestros sentidos, pero sus efectos a veces letales aparecen inclusive después de algunos años.

## CAPITULO 6

### PROGRAMA DE DOSIMETRIA

#### 6.1 QUE ES EL CONTROL DOSIMETRICO

Por control dosimétrico debemos entender todos aquellos mecanismos conducentes a determinar cuantitativamente las cantidades de radiación ionizante que ha sido absorbida o radiada sobre determinada area o persona en particular.

En nuestro país la entidad llamada a efectuar este tipo de control es la Comision Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEA).

Se incluye también en el control dosimétrico el control médico al que regularmente deberán someterse las personas que trabajan con radiaciones ionizantes.

#### 6.2 PERSONAL SOMETIDO AL CONTROL DOSIMETRICO

El personal sometido al control dosimétrico comprende a todos aquellos que de una u otra manera tienen contacto con las radiaciones ionizantes, tales como operarios de equipos radiológicos, personal paramédico que trabaja con radiaciones, personal de mantenimiento que por su trabajo tiene que radiarse en algún grado, operarios de radioisótopos, personal de control que supervisa el buen funcionamiento de todos los equipos que emiten radiaciones ionizantes.

### 6.3 PERIODICIDAD DEL CONTROL DOSIMETRICO

Como queda señalado en nuestro país el órgano regulador en cuanto a dosimetría es el CEEA, así que ellos son los llamados a determinar la periodicidad del control dosimétrico, que debe ser función del tipo de aparato empleado como dosímetro, su tiempo de acumulación óptima, su respuesta en función del tiempo, así como debe ser función del período de tiempo que el organismo requiera como mínimo de monitorización del estado en que se encuentra debido a eventuales perturbaciones producidas por radiaciones ionizantes.

Una vez analizados estos factores el CEEA ha determinado que la periodicidad óptima del control dosimétrico es de dos meses; así es que se ha comprometido en un programa de control a nivel nacional bimestral, no sólo a nivel público sino también privado.

### 6.4 REPORTE

En esta parte del capítulo quiero hacer énfasis en los distintos dispositivos empleados en la actualidad para realizar los programas de dosimetría, así como también los principios físicos en que basan su funcionamiento.

En los primeros equipos de Rayos X la radiación se detectaba y medía por medio de emulsiones fotográficas. Sin embargo, los instrumentos modernos están equipados con detectores que

convierten la energía radiante en energía eléctrica, lo que resulta más conveniente, rápido y exacto. Se encuentran tres tipos de transductores : detectores llenos de gas, contadores de centelleo, y detectores semiconductores.

DETECTORES RELLENOS DE GAS. Cuando la radiación X pasa a través de un gas inerte como argón, xenón o criptón, existen interacciones que producen un gran número de iones gaseosos positivos y electrones (pares iónicos) para cada cuanto de Rayos X. De estos tenemos tres tipos de detectores de rayos X a gas : Cámaras de Ionización, Contadores Proporcionales y Tubos Geiger, basados en el aumento de conductividad producida por este fenómeno.

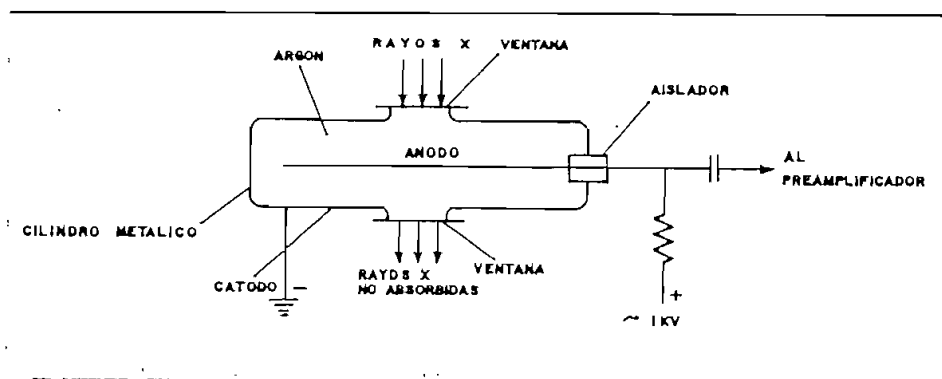


FIGURA # 14.

En la figura # 14, podemos observar un detector de gas típico. La radiación penetra en la cámara a través de una ventana transparente de mica, berilio, aluminio o mylar. Cada fotón de radiación X puede interactuar con un átomo de argón causando la pérdida de uno de sus electrones externos. Este fotoelectrón tiene una gran energía cinética, igual a la diferencia entre la



energía del fotón de rayos X y la energía de unión del electrón en el átomo de argón. El fotoelectrón pierde su exceso de energía cinética ionizando varios cientos de otros átomos del gas. Se aplica un potencial eléctrico bajo cuya influencia los electrones móviles migran hacia el conductor central que constituye el ánodo, mientras que los cationes más lentos son atraídos por el cilindro metálico.

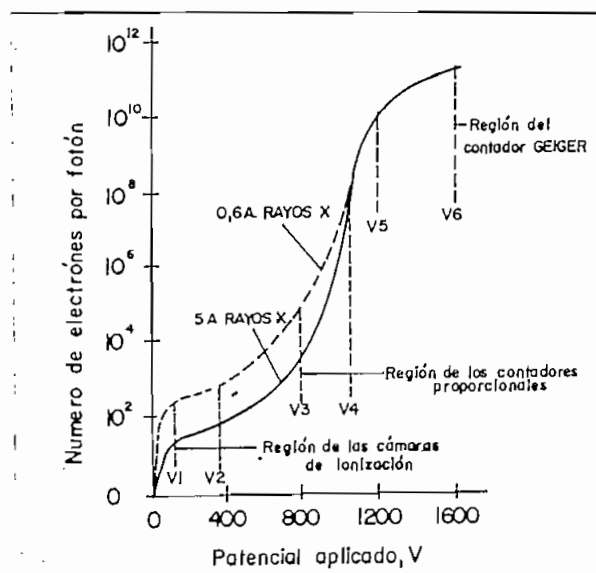


FIGURA # 15 .

En la figura # 15, se muestra el efecto de la aplicación de un potencial sobre el número de electrones que alcanzan el ánodo en un detector de gas, por cada fotón de rayos X que entra. Se indican varias regiones de voltaje características; para potenciales menores de  $V_1$ , la fuerza de aceleración sobre los pares iónicos es baja y la velocidad a la que se separan las especies positivas y negativas es insuficiente para impedir la recombinación parcial.

En consecuencia el número de electrones que alcanza el ánodo es menor que el número producido inicialmente por la radiación de entrada.

En la región comprendida entre  $V_1$  y  $V_2$ , el número de electrones que alcanza el ánodo es aproximadamente constante y representa el número total formado por un único fotón.

En la región entre  $V_3$  y  $V_4$ , el número de electrones aumenta rápidamente con el potencial aplicado. Este aumento es consecuencia de la producción de pares iónicos secundarios debido a las colisiones entre los electrones acelerados y las moléculas de gas; esto produce una amplificación (amplificación gaseosa) de la corriente iónica.

El intervalo entre  $V_5$  y  $V_6$ , la amplificación del pulso eléctrico es enorme pero está limitada por el espacio de carga positiva que se crea a medida que los electrones que se mueven más rápidamente migran alejándose de los iones positivos más lentos. Debido a este efecto, el número de electrones que alcanza el ánodo es independiente del tipo y la energía de la radiación incidente y depende en cambio de la geometría del tubo y de la presión del gas dentro de éste.

**El Tubo Geiger.** El Tubo Geiger es un detector de gas que funciona en la banda de voltaje entre  $V_5$  y  $V_6$ . En estas condiciones se obtiene una amplificación gaseosa mayor de  $10^7$ . Cada fotón produce una avalancha de electrones y cationes;

las corrientes resultantes son entonces grandes y por lo tanto relativamente fáciles de detectar y medir.

Los tubos Geiger suelen contener argón; se agrega además una baja concentración de una sustancia orgánica, por lo general alcohol o metano (gas apagador) para reducir al mínimo la producción de electrones secundarios cuando los cationes golpean contra las paredes de la cámara. El tiempo de duración de un tubo está limitado aproximadamente por  $10^8$  a  $10^9$  cuentas, tiempo en el que se agota el gas apagador.

La medida de la intensidad de radiación con el tubo Geiger se basa en el recuento de los pulsos de corriente. Este sistema puede emplearse en todos los tipos de radiación nuclear y rayos X.

**Contadores Proporcionales.** Un contador proporcional es un detector de gas que opera en la región de voltaje de  $V_3$  a  $V_4$ , en estas condiciones, el pulso producido por un fotón se amplifica por un factor de 500 a 10000. Los contadores proporcionales se emplean ampliamente como detectores en los espectrómetros de Rayos X.

**Cámaras de Ionización.** Las cámaras de ionización funcionan en un intervalo de voltaje de  $V_1$  a  $V_2$ . En este caso las corrientes son pequeñas, por ejemplo  $10^{-13}$  a  $10^{-16}$  A. y son relativamente independientes del voltaje aplicado.

**CONTADORES DE CENTELLEO.** La luminiscencia que se produce cuando incide una radiación sobre una sustancia fosforescente, es uno

de los métodos más antiguos para detectar la radiactividad de los rayos X, pero también es uno de los métodos más modernos. En su aplicación inicial la técnica se basa en el recuento manual de los destellos producidos cuando los fotones individuales o las partículas radioquímicas inciden sobre una pantalla de sulfuro de cinc. La tarea de contar los centelleos individuales por medio de la observación visual resulta tan laboriosa que motivó a Geiger a desarrollar los detectores a gas que no sólo resultan más convenientes y confiables, sino que son también más sensibles a la radiación. Con el desarrollo del tubo fotomultiplicador y mejores detectores fosforescentes, la tendencia se invirtió y el recuento de destellos paso a ser nuevamente uno de los métodos más importantes para la detección y medida de las radiaciones.

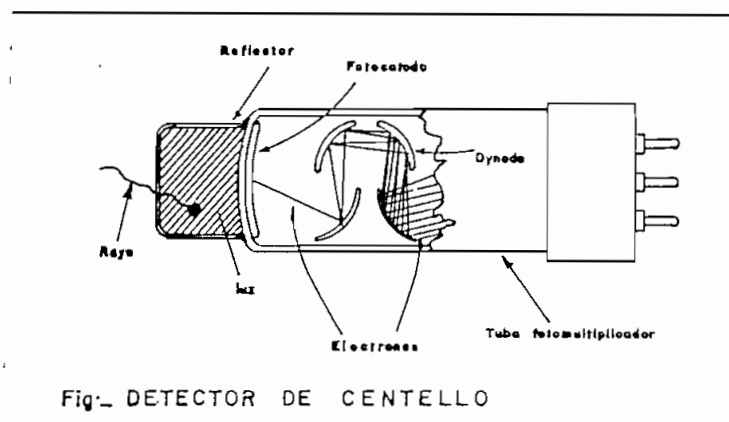


FIGURA # 16.

El detector de centelleo moderno más usado consiste de un cristal transparente de yoduro de sodio que ha sido activado mediante la introducción de 1% de talio. El cristal suele tener la forma de un cilindro de 7,6 a 10 cm. en cada dimensión; una de las superficies planas se encuentra orientada hacia el cátodo del fotomultiplicador. Cuando la radiación incidente atraviesa el cristal, pierde energía hacia el centellador, esta energía se libera posteriormente bajo la forma de fotones de radiación fluorescente.

Los destellos de luz que se producen en el cristal de centelleo se transmiten al fotocátodo y se convierten a su vez en pulsos eléctricos que se pueden amplificar y contar.

Además de los cristales de yoduro de sodio, se emplea una gran variedad de centelladores orgánicos como estilbeno, antraceno, y terfenilo.

DETECTORES SEMICONDUCTORES. Se denominan a veces detectores de silicio o germanio desplazados con litio. En la figura # 17, podemos ver un tipo de detector construido con una pastilla de silicio cristalino. Existen tres capas en el cristal, una capa semiconductor del tipo p que se enfrenta a la fuente de rayos X, una zona central intrínseca, y una capa de tipo n. La cara externa de la capa p está recubierta con una fina película de oro para formar un contacto eléctrico; muchas veces también, está recubierta con una delgada ventana de berilio que es transparente a los rayos X. La señal de salida se toma de una

capa de aluminio que cubre el silicio tipo n y se envía a un preamplificador cuyo factor de amplificación es de aproximadamente 10. El preamplificador es por lo general un transistor de efecto de campo, que forma parte integral del detector.

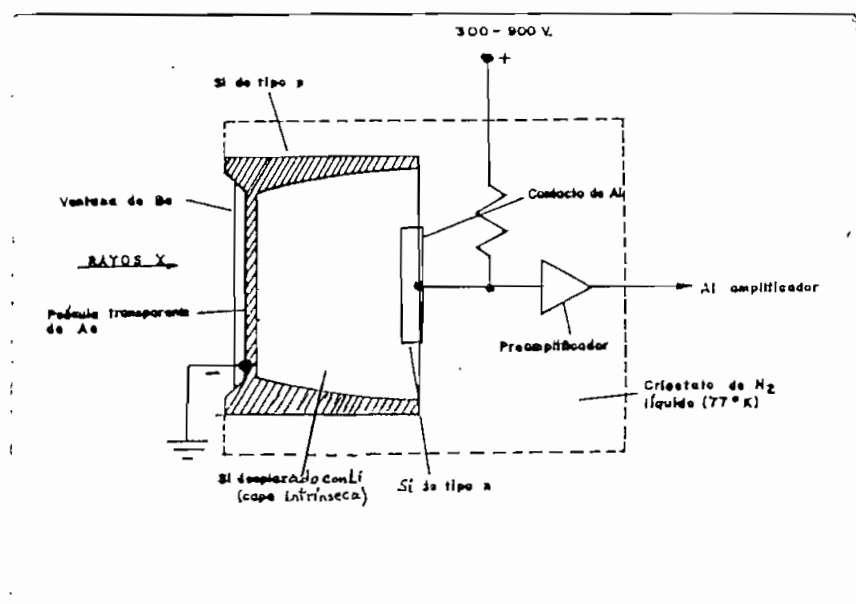


FIGURA # 17 .

Se deposita el litio sobre la capa de tipo p. Cuando se calienta a 400 o 500 grados centígrados, el litio se difunde dentro del cristal; debido a que este elemento pierde fácilmente electrones su presencia convierte a la región p en una región de tipo n. Mientras se encuentra a una temperatura elevada, se aplica un potencial de corriente continua a través del cristal para retirar los electrones de la capa de litio y los agujeros de la capa tipo p. El pasaje de corriente a través de la unión np necesita de la migración o el desplazamiento de los iones de litio dentro de la capa p y la formación de la capa intrínseca, en la que los iones litio reemplazan a los

agujeros perdidos por conducción. Después de enfriarse esta capa central presenta una elevada resistencia con relación a las demás capas, debido a que los iones litio en este medio son menos móviles que los agujeros que se han desplazado.

La capa intrínseca en un detector de silicio funciona en forma semejante al argón de un detector de gas. La absorción inicial de un fotón da lugar a la formación de un fotoelectrón de alta energía que pierde su energía cinética promoviendo a varios miles de electrones de silicio a una banda de conducción; esto produce un notable aumento en la conductividad. Cuando se aplica un potencial a través del cristal, la absorción de cada fotón se acompaña de un pulso de corriente. Al igual que en los casos anteriores la altura del pulso es directamente proporcional a la energía de los fotones absorbidos.

Otro de los temas a tratarse como reporte de dosimetría y muy importante por cierto lo constituye la determinación de la cantidad de radiación que es absorbida por determinada parte del cuerpo humano cuando se realiza una técnica radiológica. Esto viene a ser un punto de vital importancia para lo que podríamos denominar la " ficha radiológica personal " la misma que tendría como fin el saber exactamente cuantas técnicas radiológicas (tales como radiografías) se han realizado a una persona. Es importante recalcar que no existe órgano en el cuerpo humano que presente una mayor predisposición a la radiación recibida, esta sólo depende de la profundidad a la que se encuentre dicho órgano y su densidad (excepto gónadas).

Es por ello que el procedimiento empleado para la determinación de las cantidades de radiación absorbidas se basa en la utilización de lo que se llama un fantoma, que es un cuerpo que simula exactamente las características de los tejidos y densidad del cuerpo humano de tal manera que se puedan realizar todas las simulaciones deseadas en él. Cuando se requiere hacer un estudio de un órgano determinado, lo que se hace es colocar un dosímetro dentro del fantoma en el punto en que correspondería en el cuerpo humano a mencionado órgano para posteriormente proceder con la técnica radiológica y a la lectura de la cantidad de radiación. Se considera que a 0,5 centímetros de la piel se encuentra el punto de máxima absorción de radiación, siendo por tanto el órgano que más sufre las consecuencias de irradiación excesiva.

Cuando hablamos de radiación atravesando un medio uniforme bien podemos emplear la ley del inverso de los cuadrados que se emplea en perspectiva y en iluminación, constituyéndose de esta manera en otra forma de determinar la radiación absorbida por determinada porción interna del cuerpo humano.

F.....d1.....I1

F.....d2.....I2

K

I1= -----

d1<sup>2</sup>



$$I_2 = \frac{K}{d_2^2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

F = Fuente de radiación.

I1= Intensidad en el punto 1.

d1= Distancia al punto 1 desde la fuente de radiación.

I2= Intensidad en el punto 2.

d2= Distancia al punto 2 desde la fuente de radiación.

Primero determinamos la cantidad máxima de radiación la misma que puede hallarse con un dosímetro superficial, y luego aplicamos la ley del inverso de los cuadrados para saber cuanto se ha atenuado la radiación después de una cierta distancia.

A continuación veremos la tabla # 5, en la que podremos observar la intensidad de radiación que llega al cuerpo humano en función de los valores de kilovoltaje, miliamperaje - tiempo y de la distancia " FSD " desde el foco del tubo de rayos X hasta la piel. (En todos los equipos de rayos X viene marcado el punto focal y generalmente se dispone de un metro para determinar la distancia FSD.) Con estos datos y el procedimiento anteriormente descrito se puede determinar cantidades de radiación en sitios más específicos.

TABLA # 5. (\*)

INTENSIDAD DE RADIACION (mr / mas) (\*\*)

FILTRO UTILIZADO.	KV	50	60	70	85	100	130.
NINGUNO		7,6	10,2	13,3	18,4	22,5	29,6
0,5 mm ALUMINIO		4,8	6,8	9,2	13,2	15,8	20,4
1 mm ALUMINIO		3,2	4,6	6,3	9,6	12,0	15,9
2 mm ALUMINIO		1,5	2,2	3,2	5,3	8,0	11,3
3 mm ALUMINIO		---	---	---	3,1	5,8	9,2

(\*\*) ESTOS DATOS SON A 40" DE DISTANCIA FSD.

FACTORES DE MULTIPLICACION PARA DETERMINAR LA RADIACION A DISTANCIAS DISTINTAS DE 40 ".

F. S. D.	35"	34"	33"	32"	31"	30"	29"	28"	27"	26"	25"
FACTOR	1,3	1,38	1,47	1,56	1,72	1,78	1,9	2,04	2,19	2,37	2,56
F. S. D.	24"	23"	22"	21"	20"	19"	18"	17"	16"	15"	
FACTOR	2,78	3,02	3,31	3,63	4,0	4,44	4,94	5,87	6,25	7,1	

Nota: Para otras distancias puede usarse la ley del inverso de los cuadrados.

(\*) Fuente : The ART and SCIENCE of MEDICAL RADIOGRAPHY.

James A. Morgan

Tomemos un ejemplo práctico para emplear los datos de la anterior tabla :

Si vamos a tomar un abdomen y queremos saber la radiación en el tejido el mismo que se estima a una distancia de 10 pulgadas, con los siguientes factores :

$$\text{KVP} = 70$$

$$\text{MAS} = 50$$

$$\text{FSD ( Distancia foco piel )} = 30 \text{ "}$$

$$\text{TFD ( Distancia tejido foco )} = 30 \text{ "} + 10 \text{ "} = 40 \text{ "}$$

Sin emplear filtro.

Segun la tabla para 70 Kilovoltios pico, sin emplear filtro tenemos un valor de 13,3 mr / mA.

$$13,3 \text{ mr / mA} * 50 \text{ mA} = 665 \text{ mr.}$$

$$665 \text{ mr} * 1,78 \text{ (factor de corrección)} = 1183,7 \text{ mr.}$$

Entonces la radiación en este punto es de 1,2 rems con los factores anotados.

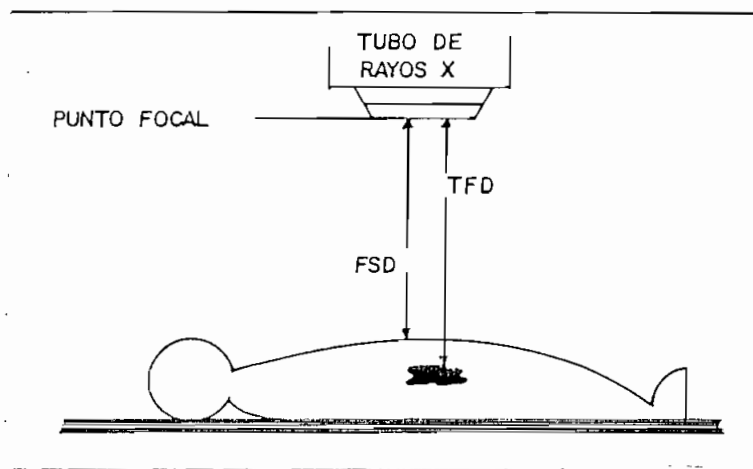
Adjunto puede encontrarse la tabla # 6, de los valores de los parámetros empleados en la realización de las técnicas radiográficas más comunes.

TABLA # 6. (\*)

O B J E T O	ESPESOR [cm]	Distancia foco-pelic [cm]	Antidi- fusor	Segundos	K V grafia	m A	Dosis [Ceren]
Cráneo antero posterior.....	2.5	100	NO	.20	31	50	15.00
Cráneo lateral.....	9	100	NO	.10	40	100	15.00
Cráneos laterales.....			NO	.10	27	50	7.50
Muñeca antero posterior.....	4	100	NO	.20	31	50	15.00
Muñeca lateral.....	6	100	NO	.20	36	50	15.00
Tórax antero posterior.....	6	100	NO	.30	36	50	22.50
Tórax lateral.....	8	100	NO	.50	36	50	37.50
Hombro antero posterior.....	11	100	NO	.50	40	100	75.00
Vertebrales cervicales antero posterior.....	16	100	SI	1.00	36	100	150.00
Vertebrales cervicales laterales.....	13	150	NO	.20	60	100	44.00
Vertebrales dorsales antero posterior.....	21	100	SI	1.00	50	100	150.00
Vertebrales dorsales laterales.....	30	100	SI	1.00	55	100	220.00
Vertebrales lumbares antero posterior.....	19	100	SI	1.00	55	100	220.00
Vertebrales lumbares laterales.....	27	100	SI	2.00	65	100	640.00
Codo antero posterior.....	20	100	SI	1.00	60	100	220.00
Codo lateral.....	33	100	SI	2.50	65	100	800.00
Codo niños antero posterior.....	9	100	SI	.12	40	200	36.00
Abdomen antero posterior directo.....	19	100	SI	1.50	55	100	330.00
Abdomen lateral directo.....	27	100	SI	1.50	65	100	480.00
Uterus antero posterior.....	15	100	SI	1.00	40	100	150.00
Uterus lateral.....	19	100	SI	1.00	50	100	150.00
Cadera antero posterior.....	20	100	SI	1.00	55	100	220.00
Cadera lateral.....	26	100	SI	2.00	65	100	640.00
Articulación de la cadera antero posterior.....	12	100	NO	.60	27	100	90.00
Articulación de la cadera lateral.....	12	100	NO	.60	27	100	90.00
Articulación de la cadera antero posterior.....	6	100	NO	.30	36	100	45.00
Articulación de la cadera lateral.....	10	100	NO	.30	45	100	45.00
Articulación de la cadera niños antero posterior.....	12	100	NO	.50	40	100	75.00
Articulación de la cadera niños lateral.....	9	100	NO	.50	36	100	75.00
Proyección tibio tarsica lateral.....	7	100	NO	.50	36	100	75.00
Articulación de la cadera antero posterior.....	20	100	SI	1.50	55	100	330.00
Articulación de la cadera lateral.....	15	100	SI	1.00	45	100	150.00
Articulación de la cadera submentón.....	25	100	SI	1.50	60	100	330.00
Articulación de la cadera enaxial.....	22	100	SI	1.50	50	100	225.00
Articulación de la cadera mandíbula.....	13	100	NO	.50	40	100	75.00
Articulación de la cadera dientes ( endo oral ).....	50	100	NO	1.50	45	100	225.00
Articulación de la cadera dientes ( endo oral ).....	5	50	NO	.50	36	100	300.00
Articulación de la cadera tórax antero posterior.....	23	150	NO	.12	45	200	36.00
Articulación de la cadera tórax lateral.....	30	150	NO	.12	60	200	52.00
Articulación de la cadera niños antero posterior.....	10	150	NO	.12	36	200	36.00
Articulación de la cadera niños lateral.....	21	150	NO	.12	45	200	36.00
Articulación de la cadera costillas torácicas.....	20	100	SI	.18	55	200	79.20
Articulación de la cadera esófago antero posterior.....	22	70	SI	.20	60	200	179.52
Articulación de la cadera estómago antero posterior e intestino.....	27	70	SI	.20	70	200	261.12
Articulación de la cadera urografía y aparato urinario.....	19	100	SI	.15	45	200	45.00
Articulación de la cadera embarazo y radiopelvimetría.....	32	100	SI	1.00	70	200	640.00

Fuente : COGEFAR. Instrucciones para uso y mantenimiento de equipos radiológicos.

Nota : Todas las dosis son calculadas para el caso de utilizar un filtro de aluminio de 2 mm.



## COMENTARIOS.

Para la realización de esta tarea, gracias también al trabajo que estoy realizando en la actualidad, he tenido la oportunidad de recorrer muchas de las Unidades de Salud de nuestro país específicamente las áreas de radiodiagnóstico y de radioterapia; la misión por cumplir es amplia ya que grandes son nuestras necesidades. La verdad es cruda pero hay que decirla y más que nada hay que saber enfrentarla y tener la ejecutividad suficiente para mejorar las condiciones de operación de nuestros hospitales.

La hasta hace poco, naciente inquietud en lo que respecta a seguridad radiológica ha llevado al Ministerio de Salud Pública y a la CEEA ( Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica ) a suscribir el " Convenio con el fin de atender los problemas relativos a seguridad radiológica en las instalaciones médicas y odontológicas de los hospitales y centros de salud dependientes de este ministerio." Al IEOS, entidad a la que me pertenezco, como ramal técnico ejecutor del Ministerio de Salud, le cumple una vasta misión en este campo.

El Anexo presentado como final de este trabajo es la fiel muestra de lo que se ha realizado a nivel nacional, en muchos de los casos conjuntamente con personeros de Seguridad Radiológica de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica. Los datos así presentados son fruto de inspecciones realizadas

durante los primeros meses de 1987, específicamente durante el primer trimestre. Es importante recalcar que si bien disponía de un mayor volumen de datos, estos correspondían a períodos anteriores y he preferido más bien brindar la información más actualizada posible.

## CONCLUSIONES.

El programa de Protección Radiológica desarrollado por la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica conjuntamente con el Ministerio de Salud Pública, es amplio y ambicioso, procurando alcanzar los objetivos propuestos en cada uno de los capítulos del convenio interinstitucional vigente. Sin embargo los procedimientos rutinarios empleados en cada uno de los departamentos de medicina nuclear y radiología no han sido optimizados debido fundamentalmente a la no creación de la Oficina de Seguridad Radiológica contemplada en el citado convenio; siendo esta una necesidad prioritaria y urgente para canalizar los esfuerzos realizados por las dos instituciones.

La concientización del personal expuesto a radiaciones ionizantes ha sido uno de los objetivos principales para quienes de alguna manera trabajamos en esta área, lo cual se trata de conseguir a través de programas de entrenamiento, cursos y conferencias dictadas por todo el país.

Todos los Servicios de Radiología así como sus trabajadores deben sujetarse estrictamente al Reglamento de Seguridad Radiológica publicado en el Registro Oficial número 891 del miércoles 8 de Agosto de 1979, siendo este el único instrumento legal en este campo.

El Ministerio de Salud Pública tiene la misión de cumplir con recomendaciones y observaciones realizadas a las salas de



radiología en el país, si bien éstas implican la erogación de una importante cantidad de dinero. Cabe entonces preguntarnos el precio de la seguridad, antes de emprender nuevos y ambiciosos proyectos. Es preferible mejorar la calidad de los servicios existentes que gastar en equipos para los que no hay la suficiente infraestructura de protección. Ejemplos sobran, el Hospital Eugenio Espejo de Quito dispone desde el mes de Octubre de 1986 de un sofisticado equipo de rayos X y tomografía lineal cuyo control es completamente microprocesarizado; sin embargo, las paredes del área en la que funciona este no ofrecen ninguna garantía contra las radiaciones pues son paredes comunes y corrientes únicamente recubiertas de azulejos lo cual de ninguna manera es suficiente. Por lo demás, ninguna de las puertas son plomadas ni tampoco el vidrio utilizado para visualizar el área de funcionamiento del equipo. Estos son argumentos irrefutables considerando además que el equipo utilizado es de los más potentes utilizados en radiología en el país, de 1000 mA.

Los Servicios Radiológicos deben emplear a personal capacitado para el trabajo con el título de Tecnólogo en Radiología y además posea la licencia respectiva emitida por la CEEA. Como se puede apreciar en el anexo adjunto esto no se refleja en nuestro medio donde el personal contratado en su gran mayoría desconoce lo más elemental en cuanto a radiología y protecciones. Recordemos que al menos para fluoroscopia es indispensable la ejecución de la técnica por parte de un Médico Radiólogo.

Con la finalidad de evaluar los niveles de exposición en cada una de las áreas de interés, es importante que los Servicios Radiológicos cuenten con detectores de radiaciones de funcionamiento óptimo, así como dosímetros personales para todo el personal expuesto. La Oficina de Seguridad Radiológica prevista por el Convenio Ministerio de Salud - CEEA, tiene como una de sus obligaciones el control de la dosimetría a nivel nacional y la ejecución de las medidas correctivas según sea el caso.

En relación a los consultorios particulares, se supone que están bajo el control de la CEEA, debiendo sujetarse a las normalizaciones dadas por la misma. Yo sugeriría que estos consultorios se sujeten a las especificaciones mínimas referidas en el capítulo # 4 de este trabajo en lo referente a salas radiológicas de un solo equipo.

El trabajo por realizar es amplio, nuestra misión es continuarlo para el bien de nuestros compatriotas. Recordemos que las radiaciones ionizantes si son bien canalizadas nos proporcionan enormes beneficios pero al ser como son, no detectadas por ninguno de nuestros sentidos, son fácilmente minimizadas respecto a los riesgos que presentan, a veces fatales. Porque no se repitan escenas como las que actualmente se suceden en muchas de nuestras unidades de salud, donde el peligro ronda constantemente.

**BIBLIOGRAFIA.**

1. JAMES A. MORGAN, "The Art and Science of Medical Radiography".
2. O.P.S. (ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD), "Manual de Procedimientos Radiológicos".
3. O.P.S., "Exámenes Radiológicos. Guía Para una Buena Práctica Clínica".
4. O.P.S., "Planificación de Departamentos de Radiodiagnóstico".
5. U.S. ATOMIC ENERGY COMMISSION. DIVISION OF TECHNICAL INFORMATION. "The Genetic Effects of Radiation".
6. HOBART WILLARD, LYNNE MERRITT, JOHN DEAN, "Instrumental Methods of Analysis".
7. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS Report # 34.
8. PICKER CORPORATION, "Radiology Guide".
9. C.E.E.A., "Guías de Seguridad. Las Radiaciones Ionizantes".
10. C.E.E.A., "Reglamento de Seguridad Radiológica".

- 11.C.E.E.A., MINISTERIO DE SALUD PUBLICA, "Convenio entre el Ministerio de Salud Pública y la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, con el Fin de Atender los Problemas Relativos a Seguridad Radiológica en las Instalaciones Médicas y Odontológicas de los Hospitales y Centros de Salud Dependientes de este Ministerio".
- 12.DOUGLAS A. SKOOG, DONALD M. WEST, "Análisis Instrumental".
- 13.HARRY E. THOMAS, "Handbook of Biomedical instrumentation and measurements".

## ANEXO

### LAS RADIACIONES IONIZANTES EN LOS HOSPITALES DEL MINISTERIO DE SALUD PUBLICA.

#### SITUACION ACTUAL.

Este anexo viene a ser la conclusión del trabajo realizado en esta tesis. El enfoque siempre realista de nuestro medio que ha motivado a todos y cada uno de los capítulos desarrollados, no podía concluirse sino con una visión general de lo que está pasando en nuestro país en el campo de las radiaciones ionizantes.

Para resumir la situación actual de las radiaciones ionizantes en nuestro medio, se procedió a la visita periódica de todas las unidades operativas del Ministerio de Salud Pública ; esto gracias al convenio existente entre este portafolio del estado y la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica. En mi calidad de funcionario del Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, me ha tocado participar de estas visitas y de otras a todos los rincones de la patria para realizar mantenimiento de equipo radiológico. El siguiente resumen se divide en dos partes ; primero una exposición pormenorizada de los Hospitales de Carchi, Imbabura, Napo y Guayas, provincias tomadas al azar.

En segundo lugar, se expone en forma más general la situación global del país porcentualmente.

A continuación tenemos la exposición de las provincias antes mencionadas.

Por facilidad se nombrará a cada hospital con una letra identificatoria.

#### HOSPITALES DE IMBABURA :

Hospital San Vicente de Paúl.....A  
 Hospital San Luis de Otavalo.....B  
 Centro de Salud Hospital de Cotacachi.....C  
 Centro de Salud Hospital de Atuntaqui.....D

#### HOSPITALES DEL CARCHI :

Centro de Salud # 1.....E  
 Hospital Luis G. Davila.....F  
 Centro de Salud Hospital de San Gabriel.....G  
 Centro de Salud Hospital de El Angel.....H

#### HOSPITALES DEL NAPO :

Centro de Salud Hospital de Lago Agrio.....I

Hospital. Licencia. Médico Especialista. Equipos. Dañados.

---

A	trámite	1	4	3
B	-	-	1	0
C	trámite	-	1	0
D	-	-	2	0
E	trámite	-	1	1
F	trámite	-	2	2
G	-	-	1	0
H	-	-	1	1
I	-	-	1	1 *

\* Fuera de funcionamiento por falta de personal

Hospital. Requiere                      Requiere                      Requiere  
 puerta plomada. vidrio plomado. Biombo plomado.

---

A	NO	NO	NO
B	NO	NO	NO
C	SI	SI	SI
D	NO	NO	SI
E	NO	NO	NO
F	NO	NO	SI
G	SI	NO	NO
H	SI	NO	SI
I	NO	SI	SI

En las tres provincias inspeccionadas, se observa que existe un solo médico radiólogo en los servicios de rayos X médicos, con el agravante de que el personal paramédico ninguno tiene título de Tecnólogo.

El personal existente al momento ( 9 ) son todos personal formado en la práctica a excepción del personal del Centro de Salud Hospital de El Angel, quien debiera ser retirado del servicio al carecer absolutamente de los conocimientos mínimos indispensables.

En Imbabura hay ocho equipos médicos de los cuales cinco están en funcionamiento ; la situación se agrava en el Carchi donde de los cuatro equipos existentes sólo uno se encuentra en funcionamiento.

Respecto a los equipos de odontología, por lo general cumplen con los requisitos mínimos de protección respecto al estado físico ; sin embargo, es indispensable se ordene a los profesionales odontólogos, que sean ellos los únicos responsables de la toma de radiografías ; el personal auxiliar no posee los conocimientos ni la formación adecuada para hacerlo.

Sólo el Centro de Salud Hospital de El Angel ( Servicio Odontológico ) posee un delantal plomado, los demás carecen absolutamente de este elemento u otro dispositivo que lo reemplace.



## HOSPITALES DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS :

Hospital Alfredo Valenzuela.....A  
 Centro de Salud #3 Guayaquil.....B  
 Centro de Salud #4 Guayaquil.....C  
 Centro de Salud Hospital de Playas.....D  
 Hospital Cantonal La Libertad.....E  
 Hospital Cantonal Salinas.....F  
 Hospital Cantonal Manglaralto.....G

Hospital. Licencia. Médico Especialista. Equipos. Dañados.

---

A	NO	-	3	-
B	NO	1	1	-
C	NO	-	1	1
D	NO	-	1	-
E	NO	-	1	-
F	NO	-	1	-
G	NO	-	1	1

Hospital.	Requiere puerta plomada.	Requiere vidrio plomado.	Requiere biombo plomado.
A	NO	NO	NO
B	NO	SI	NO
C	NO	NO	NO
D	NO	NO	NO
E	NO	NO	NO
F	NO	NO	NO
G	SI	SI	SI

En los siete servicios de radiodiagnóstico arriba mencionados, apenas existen dos médicos responsables del servicio y tan sólo uno de ellos es radiólogo, además, ninguno de ellos tiene licencia de protección radiológica.

Dentro del personal paramédico que trabaja en radiodiagnóstico médico, apenas uno es tecnólogo en radiología, todos los demás son auxiliares que carecen de formación académica.

Ninguna de las instituciones inspeccionadas cuenta con licencia de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica.

La mayoría de equipos de rayos X carece de focalizador luminoso, éstos están inútiles o funcionan en forma defectuosa.

Los mandiles plomados disponibles en los servicios no son suficientes.

Los profesionales odontólogos en su mayoría no disponen de licencia de la CEEA.y no tienen formación alguna en protección radiológica.

El personal auxiliar de odontología en su totalidad no tiene formación académica y mucho menos en protección radiológica, por tanto, es necesario que los odontólogos efectúen las tomas radiológicas.

De los diez equipos odontológicos de rayos X, 4 están dañados o fuera de funcionamiento a la fecha.

De los 10 servicios de odontología, 6 mantienen un revelado inadecuado.

Apenas hay un delantal plomado en los 10 servicios. No existen elementos de protección.

#### MEDICINA NUCLEAR.

A continuación procederé a detallar las inspecciones realizadas en los servicios de medicina nuclear que mantiene el Ministerio de Salud, tanto en Quito como en Cuenca.

Hospital Eugenio Espejo . Quito, Pichincha.....A

Hospital Vicente Corral Moscoso . Cuenca, Azuay.....B

Hospital. Licencia . Médicos Especialistas . Dosímetros.

---

A	en trámite	1	1.
B	SI	1	1.

Hospital. Tipo de Equipo. Funciona. Area Física.

---

A	Cámara de Cantelleo OHIO.	SI	Adecuada.
	Calibrador de Radioisótopos.	SI	Adecuada.
B	Centellografo Lineal Gama M.	SI	Adecuada.
	Calibrador de Dosis.	SI	Adecuada.

Radionucleidos:

Hospital. Tipo. Actividad. Frecuencia.

---

A	Tc - 99 m.	1600 m Ci.	Quincenal.
B	I - 131.	2000 m Ci.	Mensual.

Radiofármacos:

Hospital. Compuesto Marcado. Uso Clínico. uCi/mP. Exam/semana.

---

A	Tc - Caloide.	Hepático.	50.	4.
	Tc - Pirofosfato.	Oseo.	40.	5.
	Tc - MAA.	Pulmonar.	30.	5.
	Tc - EDTA.	Cerebro.	50.	1.
B	NO UTILIZA	-	-	-

Hospital.	Control calidad.	Almacenamiento	Transporte de
	del equipo	mat.radiactivo.	mat. radiactivo.

---

A	Ocasional.	Adecuado.	Adecuado.
B	Bimensual.	No adecuado.	Adecuado.

Como observación para el Hospital Eugenio Espejo de Quito, debe implementar programas de intercomparación. El Hospital Vicente Corral Moscoso de Cuenca no cuenta con jeringuillas plomadas en su servicio de medicina nuclear. Los niveles de radiación detectados en las dos unidades de salud están dentro de los niveles normales.

Después de realizar un estudio similar al anteriormente expuesto, a nivel nacional, indicaremos que un 27,7 % de los equipos médicos y odontológicos se encuentran sin prestar servicios generalmente por estar averiados.

El 65,2 % de los servicios de Rayos X médico, no cuentan con personal profesional responsable del mismo, razón por la cual las condiciones de funcionamiento del Departamento no han sido óptimas.

En los servicios radiológicos del país, los técnicos no cumplen a cabalidad con las normas de protección radiológica, por factores como los siguientes :

Falta de un ambiente adecuado.

Carencia de elementos de protección.