



**" ESTUDIO, ANALISIS Y RECOMENDACIONES DE LAS
PROTECCIONES DE LAS INSTALACIONES DE USO
RADIODIAGNOSTICO "**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREPARADO PARA LA FACULTAD DE
INGENIERÍA**



PARA OPTAR AL GRADO DE

INGENIERO BIOMÉDICO

POR:

FERNANDO ANTONIO GARAY HENRIQUEZ

ENERO - 2001

SOYAPANGO-EL SALVADOR-CENTRO AMÉRICA

UNIVERSIDAD DON BOSCO

RECTOR

ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA

SECRETARIO GENERAL

LIC. MARIO RAFAEL OLMOS ARGUETA

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ING. CARLOS GUILLERMO BRAN

ASESOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. ERNESTO GODOFREDO GIRÓN

JURADO EXAMINADOR

ING. JOSÉ GUILLERMO LÓPEZ

ING. SALVADOR JUAREZ

UNIVERSIDAD DON BOSCO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

JURADO EVALUADOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN:

**" ESTUDIO, ANALISIS Y RECOMENDACIONES DE LAS
PROTECCIONES DE LAS INSTALACIONES DE USO
RADIODIAGNOSTICO "**

Ing. Salvador Juárez
Jurado

Ing. Guillermo López
Jurado

Ing. Ernesto Godofredo Girón
Asesor

AGRADECIMIENTOS

Quiero darle las gracias primero a mi Señor Jesucristo, al Dios Padre y al Espíritu Santo, quien sin su guía, no hubiese podido concluir este trabajo, dedico este trabajo a la memoria de mi papa, Don Jeremías Garay Pacheco y a la que será mi esposa (si Dios quiere) Alexia Hernández, pues fueron ellos, mi apoyo, para seguir en esta carrera.

Agradezco el apoyo y cariño de mamá, Doña Carmen de Garay, a mis hermanos Felipe y Carlos Garay, por haber contribuido de una u otra forma, en la conclusión de mis estudios. Agradezco a mis primos Rodolfo Garay Pineda, José Roberto Garay y a Hector Romeo Garay Pineda por sus consejos y ejemplo.

Le doy las gracias a mi asesor, el Ing. Ernesto Girón, quien me formo académicamente durante los 6 años que fue mi docente en la universidad.

Al Ing. Guillermo López, al Ing. Salvador Juárez, al Ing. Héctor Chavez, Ing. Francisco Alarcón e Ing. Ramón Portillo del CIANFIA, al Ing. Oscar Granados, al Dr. Manuel Sánchez Bermúdez, al señor Carlos Machuca, quienes me dirigieron y colaboraron, en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco el apoyo de mis amigos: Juan Carlos Handal, Liliam Sanchez de Handal, Byron Rodríguez, Oscar Moreno, a mi cuñada Zeena Hernandez, a mis compañeros de trabajo: Francisco Molina, Noel Quezada, Jorge Rivas Ticas, Rafael Santamaria, Ing. José Lara, Ignacio Morataya, Blanca Molina y a su hermano Oscar Molina, por su valiosa colaboración. Gracias también a Roberto Carlos Gómez, por el tiempo y ayuda en este trabajo.

De manera especial a mis primos Anita Henriquez, Ana María Iraheta de Martínez y a su esposo Humberto Martínez, así como también a Ricardo Colorado por su colaboración en la realización de este trabajo.

Y nuevamente, nunca podré agradecerle tanto a Dios por su ayuda, animo, fe y por haberte puesto en mi camino a ti Alexia, mi amor es para ti, aunque estés tan lejos.

Mil gracias y que Dios Padre, Hijo y Espíritu Santo les bendiga siempre!!!!!!

INDICE

Titulo	# de pagina
Capitulo I: Generalidades	1
1. Principios de los rayos x	1
1.1 Radiación ionizante	2
1.2 Efectos biológicos de la radiación ionizante en el ser humano	3
1.2.1 Radiobiología	3
1.2.2 Radiosensibilidad	4
1.3 Los rayos x, historia y unidades utilizadas	5
1.3.1 Máxima dosis permisible, estándares y recomendaciones	8
Capitulo II: Medición de la radiación	13
2.4 Dosimetría	13
2.4.1 Unidades	13
2.4.2 Tecnologías	15
2.4.3 Requerimientos para dosimetria	22
Capitulo III: Departamento de radiología del HNNBB	25
3.1 organización y distribución del área de radiología del HNNBB	25
3.2 tipos de exámenes realizados	27
3.3 Recepción de pacientes	28
3.4 Recepción de solicitud de exámenes radiológicos	29
3.5 Entrega de radiografías	29
3.6 Pasos para la toma de exámenes e indicaciones	30
Capitulo IV: Criterios de diseño	31
4.1 Flujo hospitalario dentro de radiología	31
4.2 Determinación de los espesores de plomo existentes	42
4.2.1 Ubicación de los equipos dentro del área de radiología	45
4.3 Diseño de blindajes para salas de radiodiagnóstico	49

4.3.1 Criterios en el diseño de la protección radiológica para radiodiagnóstico	49
4.3.2 Radiación primaria	51
4.3.3 Radiación secundaria	52
4.4 Factores que afectan el grosor de las barreras	55
4.5 Determinación de la carga de trabajo real y teórica	57
4.5.1 Carga de trabajo experimental o real	58
4.5.2 Carga de trabajo teórica	60
4.6 Datos sobre las cargas de trabajo a utilizar en los cálculos a realizar	66
4.7 Tipificación de zonas y barreras	66
4.8 Barreras de protección radiológica	68
4.8.1 Primer método de cálculo	68
4.8.2 Segundo método de cálculo	80
4.8.3 Tercer método de cálculo	97
4.9 Comparación de los espesores obtenidos con los existentes	101
Capitulo V: Análisis de las instalaciones del HNNBB	102
5.1 Validación de las instalaciones	102
5.2 Análisis del costo beneficio de la radioprotección	104
5.2.1 Calculo de los valores de referencia monetarios del Sievert-hombre en El Salvador	109
5.2.2 Pasos para establecer el costo beneficio	110
5.3 Materiales utilizados en las barreras para la protección radiológica	117
5.4 Análisis de resultados	119
5.5 Calculo de numero de salas y distribuciones de las cargas de trabajo por sala	120
Capitulo VI: Conclusiones y recomendaciones	126

6.1 Recomendaciones arquitectónicas	126
6.2 Recomendaciones administrativas	130
6.3 Recomendaciones Radio sanitarias	131
Bibliografía	133
Anexo 1	135
Anexo 2	136
Anexo 3	137
Anexo 4	138
Anexo 5	139
Anexo 6	140
Anexo 7	141
Anexo 8	142
Anexo 9	143
Anexo 10	144
Anexo 11	151

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de graduación, se dan a conocer las generalidades, criterios de diseño, flujos, cálculos; acerca del estudio realizado en las instalaciones del Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom.

El propósito, de este estudio, es el verificar si las protecciones radiológicas actuales, cumplen su función, bajo el punto de vista de que fueron diseñadas a niveles de dosis permisible, inferiores a las que actualmente están en vigencia.

Los mecanismos, criterios y pasos realizados, se detallan en este documento, presentando, además de los resultados de los cálculos y comparaciones, una guía propuesta para determinar el grado de uso de un emisor de rayos x, factor muy importante al momento de diseñar una instalación para radiodiagnóstico.

Al iniciar este documento, se exponen brevemente las generalidades acerca de los rayos x, sus efectos e historia. Luego se mencionan aspectos relacionados con la medición de la radiación, para luego introducirse al lugar a donde se ha efectuado el estudio y posterior análisis, que en el caso particular es el Hospital Benjamín Bloom.

Una de las partes de este documento abarca los criterios y cálculos realizados sobre las barreras de protección radiológica de dicho hospital.

En este documento, se presenta la parte de la investigación realizada para encontrar el valor numérico del costo beneficio de las instalaciones del HNNBB, así como se presentan las diferentes alternativas para materiales de construcción, analizando sus ventajas y desventajas. También se enumeran las recomendaciones que representan, el menor costo con los mayores beneficios, tanto para el personal ocupacionalmente expuesto, como para el público en general.

Además se muestran los resultados del monitoreo efectuado durante un mes, en las instalaciones de radiología del HNNBB, con el objeto de reforzar los cálculos matemáticos, validando dichas instalaciones, con respecto al espesor actual de las barreras contra la radiación.

Se muestra además, una opción para distribuir la carga de trabajo máxima en las salas de radiología del HNNBB, evitando así que los valores de carga de trabajo, recomendados a nivel internacional, sean sobrepasados, con el objeto de maximizar la función de las barreras actuales y de recomendar ciertas remodelaciones, totales o parciales.

OBJETIVOS GENERALES

1. Realizar un análisis y evaluación sobre el estado actual de las protecciones en las instalaciones para uso de radiodiagnóstico en un hospital nacional.
2. Investigar las normas de radioprotección aplicadas actualmente y en base a ellas determinar las recomendaciones pertinentes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Con base a la investigación, establecer las recomendaciones necesarias a implementar en el hospital nacional sujeto al estudio, según sea el estado del hospital o según sus necesidades y recursos.
2. Ejecutar los cálculos necesarios para dimensionar las barreras de protección adecuadas y óptimas para la infraestructura del hospital bajo estudio, siendo calculadas para barreras primarias como secundarias.
3. Establecer el costo-beneficio de los resultados de la investigación, para implementarlos en el hospital, realizando en las recomendaciones un análisis de los costos en los que incurriría dicho hospital, mostrándole el costo de cada alternativa, para optimizar o cambiar una barrera de protección. Además de hacer un análisis sobre lo que pasaría si estuviesen o no las barreras de protección.
4. Comparar los resultados con lo establecido en las normas y recomendaciones reconocidas por la UNRA, tal como el "Reglamento de protección y seguridad Radiológica", o con los que establecen otras instituciones, como la NCRP o la ICRP.
5. Establecer los tipos de las barreras a utilizar en radioprotección en el hospital bajo estudio según sea el efecto de la radiación ionizante en el ambiente y el tipo de material más conveniente a utilizar para la protección.
6. Validar el estudio y análisis hecho, utilizando métodos dosimétricos para establecer si los niveles de fuga alcanzados en las barreras analizadas, cumplen con los principios de la radioprotección, vigentes.
7. Hacer un análisis de la distribución en planta de las instalaciones y en base a los resultados del análisis emitir un diagnóstico, para hacer las recomendaciones necesarias.

ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

1. El estudio y análisis se realizará en un centro hospitalario nacional, para el caso el Hospital de Niños Benjamin Bloom, según datos históricos uno de los de mayor antigüedad en San Salvador, siendo uno de los que alberga mayor cantidad de pacientes por cama y por día.
2. El análisis de los resultados de la investigación, se hará tomando en cuenta las recomendaciones, métodos y normas recolectadas en la información bibliográfica.
3. Para el cálculo y el respectivo dimensionamiento de las barreras de protección, primarias y secundarias, se utilizaran al menos dos métodos de calculo
4. De la investigación se harán las recomendaciones para los cambios de las protecciones radiológicas existentes en la instalación bajo estudio, aplicadas a la realidad salvadoreña.

LIMITACIONES

1. El estudio se realizará solamente en sitios con equipos de uso en radiodiagnóstico fijo y con equipos con fluoroscopia, no así las áreas con tomógrafos, unidades móviles de rayos-x, equipos de resonancia magnética, densitómetros, equipos de litotricia y de radioterapia.
2. Las mediciones a realizar estarán sujetas a la calidad y calibración de los equipos a utilizar y a las unidades que proporcionen los equipos de medición a usar en los laboratorios especializados en dosimetría.
3. Las recomendaciones o normas a usar serán las que reconoce la UNRA (NBS 115), y las emitidas por los organismos competentes en el área de la radio protección.
4. El acceso al hospital y sus instalaciones así como la información recopilada, estará sujeta a su disponibilidad y al juicio de las autoridades de dicha institución.
5. El estudio se hará solo en una institución hospitalaria, para el caso el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom.
6. Se tendrá como limitante para la colocación de los dosímetros, el costo del servicio de lectura y alquiler, la cantidad disponible a emplear de dosímetros y el posible extravío de los mismos.

7. No se profundizara en el área de la dosimetría, pues es tema de otro trabajo de tesis.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1 PRINCIPIOS DE LOS RAYOS X

Desde que DIOS creo el mundo y dijo "agase la luz" (Gen. 1:3), implícitamente generó un tipo de energía, en forma de partículas a alta velocidad, que se desplazan por el espacio, denominada "Radiación", de este hecho se determina que los seres humanos siempre han vivido en un ambiente con un grado de radiación.

Hoy en día, se conoce que existen tres fuentes principales de radiación natural, la primera es la radiación penetrante de alta energía, proveniente del sol y del espacio exterior, llamada "Radiación Cósmica". Mucha de esta radiación, es absorbida cuando pasa a través de la atmósfera terrestre, pero penetra la suficiente para proveer parte de la radiación natural al ambiente terrestre.

La segunda fuente de radiación es la Radioactividad natural, siendo el principal componente de dicha radiación, el gas Radón. Este es un gas radiactivo, producido por la desintegración natural del uranio, el cual existe en cantidades considerables en la tierra. Todos los materiales en cuya composición entra la tierra, tales como el cemento, los ladrillos o el yeso, contienen radón. Además de este gas, existen otros materiales que en su desintegración, emiten radiación, como por ejemplo el radio y torio.

La tercera fuente importante de radiación de fondo, es la de los elementos naturalmente radiactivos, los cuales constituyen parte del cuerpo humano, como por ejemplo el carbono 14 y potasio 40, incorporados a través de la cadena alimenticia. De tal manera que cuando esa forma radiactiva se desintegra, su emisión de radiación interactúa con el cuerpo, particularmente con los tejidos cercanos al sitio de emisión del elemento radiactivo.

El término Radiactividad, se explica como el cambio en el núcleo de un átomo inestable, con el resultado de una emisión espontanea de radiación ionizante. Como ya se expuso, radiación es una forma de energía en transito, básicamente transferencia de energía de una fuente a otra.

La radiación puede dividirse en radiación ionizante y radiación no ionizante. En principio la ionización es producto de la remoción de uno o más electrones del orbital de un átomo o molécula.

Las radiaciones no ionizantes son las ondas electromagnéticas que no causan ionización en los átomos, debido a que no tienen la energía suficiente como para separar las moléculas o remover los electrones de los átomos. Por ejemplo, la luz visible, ondas de radio, televisión, ondas ultravioleta y microondas.

1.1 RADIACIÓN IONIZANTE

La radiación ionizante se puede generar, con partículas como electrones, protones o neutrones, si están en movimiento y con suficiente energía cinética. En estado de reposo, no se produce ionización. De este caso se clasifica la radiación ionizante como tipo particulada. Además de este tipo de radiación ionizante, existe otro tipo que se puede considerar como una alteración energética en el espacio, debido a su gran velocidad (3×10^8 mts/seg), tiene una masa despreciable y sin carga eléctrica. De este hecho es que físicamente a dicha alteración, se le considera como forma de radiación ionizante electromagnética, siendo conocida con el nombre de rayos gamma y rayos-x, además se les suele llamar fotones.

La radiación ionizante (electromagnética y particulada), es aquella radiación con energía, longitud de onda y frecuencia tal que al interactuar con un medio, le transfiere energía suficiente para despegar o desviar a los electrones de un átomo. Para el primer caso, cuando el electrón es separado del átomo al que pertenecía, se produce el proceso conocido como "Ionización", que es la formación de un par de iones; el electrón libre (Ion negativo) y el átomo sin uno de sus electrones (Ion positivo), a este caso se le conoce como radiación característica, originada por la colisión inelástica de los electrones. En el segundo caso, el electrón, se desvía de su trayectoria al interactuar con el átomo en las proximidades del núcleo, liberando parte de su energía en forma de radiación, a este tipo se le conoce como radiación de frenado o bremsstrahlung.

El hecho de que la radiación ionizante, imparta suficiente energía al medio absorbido, causando cambios en la materia con la cual interactúa, explica él porque del "Daño Biológico", debido a la remoción de uno o más electrones de la capa de un átomo o molécula.

Como ya se explico, la radiación ionizante puede ser considerada como electromagnética o particulada. La radiación electromagnética incluye los rayos Gamma y los rayos-x. La radiación particulada incluye las partículas Beta (electrones), protones, neutrones, partículas Alfa y otras partículas atómicas de masa y carga variable. Explicando las principales se tiene:

Radiación Alfa (α): compuesta por dos protones y dos neutrones, emitida del núcleo de un átomo, son partículas con una gran masa relativa y con gran carga positiva. Dichas partículas no pueden viajar muy rápido, por lo que pueden detenerse completamente con una hoja de papel o con la epidermis de la piel humana. Esta es idéntica para el núcleo de un átomo de Helio, sin electrones. Esta radiación es emitida por elementos como el uranio y el radio.

Radiación Beta (β): es una partícula de gran velocidad, idéntica a un electrón, el cual es emitido desde el núcleo de un átomo. Es más penetrante que las partículas alfa y puede pasar a través de 1 ó 2 centímetros de agua. En general, una hoja de aluminio de pocos milímetros, puede detener este tipo de radiación.

Neutrones: los neutrones son partículas neutrales, las que normalmente están contenidas en el núcleo de todos los átomos y pueden ser removidos por varias interacciones o procesos como colisión o fisión. Los neutrones son muy penetrantes y pueden detenerse con masas de concreto, agua o parafina.

Rayos Gamma (δ): son ondas electromagnéticas o fotones emitidos desde el núcleo(centro) de un átomo, es decir, son electrones con alto nivel de energía. Estos pueden detenerse con espesores de paredes de concreto o plomo. Los rayos gamma se utilizan en medicina nuclear, SPECT, en tomografía por emisión de positrones y radioterapia.

Rayos X, son ondas electromagnéticas o fotones, no emitidos del núcleo de un átomo, estos son normalmente originados por cambios de energía en los electrones. En el espectro electromagnético, están comprendidos entre los rayos UV y los rayos Gamma. Poseen frecuencia y energía muy altas, son producto de saltos electrónicos entre los orbitales internos de los átomos. Por su gran poder de penetración, se usan en medicina y en la industria.

1.2 EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE EN EL SER HUMANO

1.2.1 RADIOBIOLOGÍA

La radiobiología es la rama de la biología que se encarga de estudiar, describir y explicar los efectos que la radiación ionizante tiene sobre los tejidos vivos. Los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los tejidos vivos pueden ser microscópicos o macroscópicos, inmediatos o tardíos, locales y/o corporales, somáticos y/o hereditarios, estocásticos y/o determinísticos. Un área muy importante de la radiobiología es el estudio de los efectos estocásticos y de los determinísticos. Los efectos estocásticos de las radiaciones ionizantes son aquellos que relacionan la "probabilidad" de contraer una enfermedad con la dosis de radiación ionizante recibida, un ejemplo es la probabilidad de presentar alteraciones hereditarias (genéticas) si un sujeto es expuesto a una dosis de 100 rads. Como puede observarse, no existen umbrales ya que esta probabilidad también puede calcularse a dosis de 200 rads, 2 rads, etc.

Los efectos determinísticos son aquellos que relacionan la intensidad de un efecto con la dosis recibida. Por ejemplo, se tiene que a mayor dosis de radiación ionizante, recibida mayor severidad de algunas alteraciones, como cataratas y el eritema cutáneo.

La acción de las radiaciones ionizantes sobre los seres vivos se rigen por una serie de principios generales: el más importante, conocido como la ley radiobiológica fundamental, la cual dice que sólo la energía absorbida, actúa biológicamente. Además de ello, la interacción biológica es muy rápida (el depósito de energía ocurre en segundos) y su efecto es una función de probabilidad (es decir, puede o no ocurrir), es indiscriminado (es decir, no selectivo de unas células o partes de la célula, aunque las habrá más sensibles),

inespecífico (produce lesiones similares a las debidas a otros agentes) y tiene un periodo de latencia variable desde minutos hasta generaciones. También, en la interacción de la radiación con los tejidos vivos, el tipo de radiación, la cantidad de radiación y el tiempo en que esa cantidad de radiación es administrada, determinarán los cambios químicos o biológicos potenciales sufridos en esos tejidos, a dichas alteraciones, en conjunto se les llama "daño biológico".

En la producción del efecto radiobiológico pueden diferenciarse cuatro fases:

- 1- Física o atómica, es decir, absorción de la radiación con producción de ionizaciones y excitaciones.
- 2- Físico-química o molecular, afectando las moléculas simples como la del agua de forma directa o indirecta, esta última por radicales libres.
- 3- Bioquímica o celular, en la que los radicales libres interfieren en los procesos celulares, afectándose moléculas complejas como el ADN, por lo que puede haber ya alteraciones funcionales y clínicas.
- 4- Biológica u orgánica, en la que aparecen las lesiones histológicas, relacionados a los efectos estocásticos y determinísticos.

Las dos primeras etapas duran segundos, mientras que las dos últimas pueden ocurrir desde segundos u horas hasta años e incluso generaciones después, si se afectan las células germinales.

1.2.2 RADIOSENSIBILIDAD

Mientras mayor sea la evolución en una determinada especie, ya sea, animal o vegetal, mayor será la sensibilidad a los efectos de las radiaciones, es decir, mayor será su "radiosensibilidad". Por ejemplo, según estudios científicos, para matar el 50% de una colonia de bacterias, se necesita de una dosis de 100,000 rads, para una colonia de peces, se necesitan unos 600 rads y para un grupo de seres humanos, se necesita una dosis de 250 rads. De este hecho se origina la popular frase que dice que " después de una guerra nuclear solo sobrevivirán las cucarachas".

La radiosensibilidad, es la mayor o menor susceptibilidad de una población celular a la afectación por radiaciones ionizantes. En 1906 los científicos franceses Bergonie y Tribondeau, enunciaron que una célula es tanto más radiosensible cuanto mayor sea su actividad reproductora y menor su grado de diferenciación, es decir su grado de complejidad biológica, aunque actualmente se reconocen otros factores que influyen en la radiosensibilidad celular, entre ellos:

Factores físicos, la mayoría dependientes de la radiación, ya que cuando las radiaciones ionizantes interaccionan con un organismo, la cantidad de energía transferida a la materia orgánica, se conoce como transferencia lineal de energía (LET). Además la Eficacia Biológica Relativa (EBR), que relaciona la dosis de una radiación patrón (generalmente rayos-x o gamma) y la dosis de absorción de la radiación en estudio para producir el mismo efecto biológico. El EBR depende de

factores como la presencia de oxígeno en el tejido, el pH, la temperatura, etc. lo que produciría efectos como náuseas, fiebre, conjuntivitis, hipertermia y hasta la muerte.

Factores químicos, que pueden ser radiosensibilizadores como el oxígeno o radioprotectores como las sustancias que tienen grupos sulfhidrilo (SH), por ejemplo la cisteína, que desactivarían los radicales libres, aunque deben encontrarse presentes ya en el momento de la radiación. Pues los sulfhidrilos no son eficaces si se administran después, debido a que los efectos bioquímicos se manifiestan en el orden de los 10 a los 16 segundos, tiempo donde se completan todas las reacciones radioquímicas en un tejido celular.

Factores biológicos, son los más importantes e incluyen:

Fase del ciclo celular en la que se produce la irradiación: la máxima sensibilidad se da en la fase G₂, de la formación de la hélice del ADN y la menor durante la síntesis del DNA.

Capacidad de reparación de las células.

Vascularización, que determina el aporte de oxígeno.

Otro aspecto importante es el de la radiosensibilidad tisular, que depende de la radiosensibilidad aislada de las células que lo constituyen pero también de su organización dinámica o índice de renovación: los tejidos organizados jerárquicamente, con un alto índice de renovación a partir de células madre que se dividen y producen células funcionales que no se dividen son más radiosensibles que los tejidos de organización flexible, con un índice de renovación bajo o nulo a partir de las propias células funcionantes.

Los tejidos organizados jerárquicamente son la epidermis, mucosa intestinal, gónadas, médula ósea hematopoyética y cristalino, en los que la lesión de las células madre producirá un efecto lesivo tardío tras un periodo de latencia determinado por la vida media de las células funcionales. Tejidos flexibles con bajo índice de renovación son el parénquima hepático, renal y tiroideo, endotelios vasculares y tejido conectivo; y tejidos flexibles sin índice de renovación, el SNC, médula suprarrenal y músculo.

1.3 LOS RAYOS-X , HISTORIA Y UNIDADES UTILIZADAS

En el año de 1895 el físico alemán Wilhem Konrad Roentgen, descubrió gracias a una investigación científica que estaba realizando acerca de la "naturaleza de los rayos catódicos"; un nuevo tipo de rayos, capaces de ver el interior del cuerpo, sin tener que intervenirlos quirúrgicamente. Además, descubrió que los efectos de esos rayos se podían registrar con mayor claridad en placas fotográficas, pues accidentalmente observó su efecto en una placa fluorescente con platino y bario.

El descubrimiento fue expuesto a la comunidad científica el 28 de diciembre de 1895, a través de un artículo titulado: "Sobre un nuevo tipo de rayos, una

comunicación preliminar". Es de hacer notar que Roentgen no quiso patentar su descubrimiento, además de que no exigió derechos de autor, por sus primeras imágenes radiográficas, ni aceptó un título de nobleza que le habían ofrecido.

A raíz de que el agente activo que produjo la fluorescencia y de que pasaba a través de distintos materiales que envolvían al tubo de rayos catódicos, los llamó: "**RAYOS-X**", "x", por ser desconocidos, "rayos", por la formación regular de sombras de los objetos ubicados entre el tubo y la pantalla fluorescente, también por las fotografías de este agente con una cámara en la que se apreciaba el viaje de él en línea recta y en todas direcciones.

La publicación hecha por Roentgen describía claramente la forma de obtener los rayos x, y los equipos necesarios para ello, ya estaban disponibles en esa época, en cualquier laboratorio de física y eran de fácil adquisición. Debido a ello se prolifera su producción hasta generar una especulación consumista; todos deseaban tener la fotografía de sus huesos, bañarse en rayos-x, recibir los rayos para mantenerse jóvenes, limpiar la piel, pues se les atribuían poderes mágicos, como si se trataba de una fuente de salud y juventud. Para esa época los tubos de rayos catódicos y los carretes de inducción (hilo de aluminio o cobre), utilizados para la producción de los rayos fueron llamados: "tubos de rayos-x". Para los médicos de la época se les hizo casi obligatorio el ofrecer el uso de los rayos-x para él diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades; como por ejemplo se informó de éxitos en Francia, logrados con los rayos-x en el tratamiento de cánceres de estómago y boca.

A pesar de sus supuestas bondades, a pocos meses, de que los rayos-x fueran descubiertos, en 1896 se reportaron 23 casos de radiodermatitis, según el libro de Buschong, titulado "El desarrollo de la protección contra la radiación en el diagnóstico radiológico (Editado por la prensa CRC, en 1973).

En otras latitudes, en Menlo Park, Estados Unidos, el inventor Thomas Alba Edison, trabajaba con nuevas sustancias para mejorar las placas fluorescentes, con el fin de producir una respuesta más rápida, que permitiera obtener imágenes de rayos-x en movimiento. De esta manera Edison experimento, con lo que se llamó "Fluoroscopio", que permitía observar el interior del cuerpo humano en movimiento. Para lograr esto tuvo que ensayar largas horas exponiéndose a los rayos-x con mucha intensidad, lo cual produjo que una colaboradora de Edison sufriera serias quemaduras producidas por los rayos-x, esta situación motivó a Edison a suspender los experimentos.

De este acontecimiento se registra la primer muerte ocurrida por radiación precisamente en 1904 con la asistente de Edison, el nombre de ella, Clarence M. Dally, muriendo a causa del cáncer. A pesar de lo ocurrido, muy pocas personas fueron precavidas en cuanto al control de la radiación, ocurriendo mas catástrofes, hasta que la comunidad médica fue alarmada por los acontecimientos.

Además entre 1911 y 1914, tres artículos reportaban 54 muertes de cáncer y 198 casos de enfermedades malignas por radiación inducida.

Finalmente en 1921, se tomó la primera acción oficial, a cargo del Comité Británico de Protección de rayos-x y radio, organismo fundado para investigar métodos para reducir los riesgos a las exposiciones. Uno de los problemas que afrontó dicho comité, fue la falta de unidades para cuantificar el fenómeno. Por citar ejemplos, se tomaron unidades como: la unidad básica del tiempo, dosis Eritema y "Velo ligero de película", unidades que fueron totalmente inadecuadas. Fue hasta que en 1928, el segundo Congreso Internacional de Radiología (ICR), nombró un comité para definir la unidad de exposición a la radiación, con el nombre de **Roentgen (R)**, aceptada en 1937, expresada como la ionización de una masa de aire, al ser expuesta a la radiación, cargando eléctricamente a los electrones liberados en la masa de aire, es decir que es una magnitud que esta midiendo carga eléctrica dividida por masa de aire, así:

$$x = \frac{dQ}{dm}$$

Relación que hoy en día se expresa como Coulomb/kilogramo, tradicionalmente conocido como Roentgen.

Los primeros efectos de carácter agudo, identificados fueron: eritema cutáneo, cataratas y descenso en la producción de células sanguíneas, cuando se recibían dosis mas de mil veces mayores que las que recibe al año una persona común a partir de la radiación de fondo.

Mas tarde en 1945, después de las bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki, se descubrieron los efectos cancerígenos de la radiación, además epidemiológicamente se demostró que la probabilidad del cáncer aumentaba con la dosis absorbida de radiación.

En 1946 los científicos estadounidenses Bill y Liane Russell, realizaron experimentos con ratones, para determinar los efectos genéticos de la radiación. En 1970, los doctores Alice Stewart y George Kneale, publicaron un estudio hecho en Inglaterra, mostrando el incremento de los casos de cáncer en niños, debido a la radiación recibida en exámenes obstétricos con rayos-x.

En 1990 los científicos Jay Gould, Benjamin Goldman y John Gofman, publican un libro acerca de la relación que tienen las dosis bajas de radiación ionizante, con el cáncer mostrando evidencias, para que así se minimicen los límites de exposición.

Para el año 2000, la Unión Europea, regula a todas las aerolíneas de Europa, en aspectos acerca de la monitorización de los niveles de radiación en los vuelos aéreos.

1.3.1 MAXIMA DOSIS PERMISIBLE, ESTANDARES Y RECOMENDACIONES

En abril de 1899 a tres años del descubrimiento de los rayos-x, el comité establecido por la Sociedad Británica Roentgen, recolectó evidencia acerca del peligro de los rayos-x, pero su esfuerzo tuvo muy poco impacto en la sociedad médica. A pesar de ello, este fue probablemente el primer esfuerzo organizado en evaluar los peligros de la radiación con el intento de desarrollar normas de protección radiológica. Casi en la misma época, en 1902, el primer esfuerzo documentado para determinar una dosis "segura" de radiación fue hecho por William Rollins, un dentista que sugirió un número de procedimientos de protección contra la radiación y recomendó un límite de exposición. Este límite se basó en que al observar que la radiación no se intensifica peligrosamente, si no causa velo de un aplaca fotográfica en siete minutos de exposición, es decir una dosis igual a 10,000 milirem/día.

En 1915 la Sociedad Británica Roentgen estableció el blindaje con plomo, para los tubos de rayos-x (no recomendaron niveles de exposición).

En 1924, el físico americano Arthur Mutscheller, presentó un documento importante a la sociedad americana del rayo-Roentgen, titulado: "Normas físicas de protección contra los peligros de los rayos-x", basado en sus observaciones y mediciones, en un determinado número de clínicas de rayos-x, proponiendo llamarlo: "dosis tolerante" de 0.01 de una Dosis Eritema cada 30 días (cerca de 0.1 Dosis Eritema por año o 200 milirem/día). Su recomendación fue ampliamente usada y a la vez sirvió de base para que una norma oficial fuera después adoptada por grupos rectores de normas.

Para 1925, Sievert recomendó el 10% de una Dosis Eritematosa Cutánea (DEC) por año, o sea un equivalente de 200 milirem/día.

En la reunión del primer Congreso Internacional de Radiología (ICR) en 1925, se reconoció la necesidad de dar recomendaciones sobre la cantidad de radiación y el uso de unidades de medición. Debido a ello, el ICR estableció una importante organización denominada Comisión Internacional de Mediciones y Unidades Radiológicas (ICRU), aunque en un principio su nombre era el de Comité Internacional de Unidades de rayos-x. El principal objetivo de dicha organización es desarrollar recomendaciones para:

- 1- Establecer cantidades y unidades de radiación y radioactividad.
- 2- Procedimientos adecuados para la medición y aplicación de esas cantidades en el diagnóstico radiológico, radioterapia, radiobiología y operaciones industriales.
- 3- Datos físicos necesarios en la aplicación de esos procedimientos.

La ICRU se esforzó en recolectar y evaluar los últimos datos e información pertinente, teniendo problemas en la medición de la radiación, recomendando en sus publicaciones los valores más aceptables y las técnicas de uso común.

La medición de la radiación, es una materia compleja y es una ciencia en sí misma. Aún muchos usuarios de la radiación que necesitan hacer mediciones de radiación, no pueden esperar él llegar a ser expertos en este campo en particular.

Esta comisión consideró la necesidad de una unidad aceptable de medición para la exposición a la radiación. Luego en el segundo Congreso Internacional de 1928, la ICRU adoptó el ROENTGEN (R), como la unidad de exposición, para concretar una manera de cuantificar límites de exposición. En esa misma fecha el congreso de Radiología estableció otra importante agrupación, llamada: Comité Internacional de Protección de rayos-x y radio, hoy en día conocido como Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), integrado por un número grande de organizaciones internacionales y por muchos gobiernos.

La comisión esta registrada como una entidad de beneficencia independiente, en el Reino Unido y es financiada con contribuciones voluntarias de cuerpos internacionales y nacionales con interés en la protección radiológica.

El ICRP publicó la primera norma internacional de protección a la radiación, a la vez sirvió de ejemplo al Comité de Protección de Radio y Rayos-x Británico. En la época de la segunda reunión del comité en 1931, se consideró la introducción de un límite de dosis-tolerable, siguiendo las recomendaciones de Mutscheller. Sin embargo, no se especificaron recomendaciones en la dosis límites, debido a las limitadas evidencias científicas. Así que, la primera recomendación del comité contenía información acerca de: limitaciones de horas de trabajo, blindajes, precauciones eléctricas, recomendaciones generales de iluminación, ventilación para la remoción del ozono y protección de radiación, dicha publicación es la número 1 y se realizó en septiembre de 1958.

En 1926 el Consejo Alemán de la Salud hizo una recomendación de una DEC por 90,000 horas de trabajo, para 1928 los científicos Barclay y Cox, recomendaron 0.00028 de una DEC por día, hoy equivaldría a 40 milirem/día, en esa época, el científico Kaye, recomendó 0,001 de una DEC por mes o 5 Roentgen por día permisible para las manos (o 150 milirem/día).

Según datos históricos, en 1929, se formó el Comité Autorizado en protección de rayos-x y radio, el cual representaba a todas las organizaciones radiológicas en los Estados Unidos, siendo los primeros en establecer una recomendación especificando un nivel de dosis de 0.2 Roentgen por día, en 1931 (es decir 50 REM al año o 200 milirem/día). Hoy en día, a este comité se le conoce como el Concilio Nacional de Mediciones y Protección Radiológica (NCRP), siendo una organización privada de científicos, expertos en varios aspectos de la radiación, operando bajo un carácter congresional, sin estatus legal.

Por su parte, en la tercera reunión del comité internacional en 1934, este acordó la primera recomendación de dosis límite, llamada: límite dosis-tolerable de 0.2 Roentgen/día. Este valor sucedió a la recomendación de Mutscheller, cuando el valor de DEC se expuso en termino de unidades Roentgen.

Las dosis límites se revisaron constantemente, descendiendo desde que se recomendaron los límites en 1902, ocurriendo cambios en el nombre y en los valores numéricos de las dosis límites.

En las primeras recomendaciones de Rollins, los límites recomendados por Mutscheller y en las recomendaciones de 1934 de la ICRP, se estableció un umbral bajo el cual no había efectos biológicos adversos. Naturalmente, este fue encontrado en la observación. No discerniendo efectos inmediatos observables en los trabajadores donde había cierta cantidad considerable de exposiciones, en ese mismo año la NCRP recomendó 5 Roentgen por día, permisible para las manos. La dosis tolerable fue simplemente un nivel seguro fijado, junto al valor de umbral. Mutscheller hizo sus recomendaciones, basándose en niveles de dosis en los cuales se producía un efecto observable, para el caso un eritema.

Para usar esa recomendación se nombro a la unidad "Unidad de Dosis Piel" o "Dosis Eritematosa Cutánea" (DEC).

Esta fue la cantidad de radiación que para un corto tiempo de exposición, producía una reacción definida en la piel (Eritema o enrojecimiento de la piel). A este efecto se le considero como el "Umbral". Basados en la respuesta de radioterapeutas al mismo tiempo, el valor promedio de una unidad de dosis piel para rayos-x terapéuticos, se llegó al uso de un equivalente de 550 Roentgen. Tomando la definición de Mutscheller como 0.01 de unidad de dosis piel (eritema) al mes, el valor de dosis tolerable fue del orden de 5 a 6 R/mes. Un científico de nombre Morgan indicó que el valor de Mutscheller correspondía a 1R/semana para 200Kv de rayos-x.

La recomendación de la ICRP en 1934, de dosis tolerable fue de 0.2R/día, asumiendo una semana de trabajo de cinco días y en 1936 la NCRP estableció 0.1 Roentgen por día (o 100 milirem/día).

Con el tiempo se empezó a acumular evidencia de que dicho umbral no era adecuado, según se observaron otros efectos, tales como mutaciones genéticas y ciertos tipos de efectos somáticos. En la época de 1940 la idea de dosis tolerable formó una dosis que pudo catalogada como capaz de producir efectos mortíferos aún siendo tolerables. Así fue como la idea de un umbral, fue descartada.

El nombre de dosis tolerante comenzó a ser reemplazado en la mitad de la década de 1940 por el termino de Exposición Máxima Permisible (MPE) y eventualmente por el de **Dosis Máxima Permisible (MPD)**.

Donde MPD es: "la dosis máxima de radiación que según los conocimientos actuales, no produce efectos significativos. Con dosis inferiores a la MPD no deben darse respuestas somáticas ni genéticas. A dosis al nivel de la MPD, el riesgo no es cero, pero si pequeño, inferior al asociado con otras ocupaciones y razonable si se tienen en cuenta los beneficios obtenidos".

En 1946, informalmente la NCRP recomendó una máxima dosis permisible de 0.3 REM por semana.

En 1950 en concepto de RAD y REM fue ampliamente reconocido.

Para 1954 la NCRP adoptó el termino de "dosis permisible" y recomendó un máximo de 0.3 REM/semana para órganos críticos y de 0.6 REM/semana para la piel, dicho cambio lo adoptó la ICRP en 1955 añadiendo una recomendación, donde se limita la dosis para el público que no trabaja con la radiación, estimando que la dosis debe ser 10 veces mas baja que la gente que si trabaja con radiación. Además en 1956 la ICRP recomendó limitar la exposición ocupacional a 5 REM/año, la misma dosis recomendó la NCRP en 1957.

El 23 de octubre de 1956 en la sede de las Naciones Unidas (ONU), se estableció una agencia con el objetivo de observar que se aceleren y engrandezcan las contribuciones de la energía atómica para la paz, la salud y prosperidad en el mundo. El nombre de dicha agencia es: Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Además adopto en colaboración de organismos competentes de las Naciones Unidas y con agencias concernientes especializadas, normas de seguridad para proteger la salud y minimizar los peligros a la vida y propiedad, asi como proveer la aplicación de esas normas para su propia operación, tanto como operaciones haciendo uso de materiales, servicios, equipo, instalaciones e información disponible por la agencia, todo relacionado con la energía atómica. El Salvador es miembro del OIEA desde 1957.

En 1958 el NCRP introdujo el concepto de exposición no ocupacional para edades debajo de 18 años. Para trabajadores con radiación, la exposición debe de ser un promedio de 5 REM/año, limitando la exposición a menor o igual a 3 REM en cualquiera de 13 semanas consecutivas o 12 REM en un año para circunstancias inusuales. Para miembros del público se estipuló una dosis de 0.5 REM/año, en ese mismo año el ICRP redefine esas dosis adoptando las del NCRP.

Para 1971 el NCRP recomendó un límite de dosis equivalente para la población de los Estados Unidos con 0.17 REM/persona/año para exposiciones en el cuerpo y gónadas y limitó la exposición fetal a menos de 0.5 REM para las madres ocupacionalmente expuestas.

En 1977 la ICRP hace una revisión de sus recomendaciones básicas e introduce el concepto de Equivalente de Dosis Efectiva(la que combina dosis externas e internas), adoptando la política de "tan bajo como sea posible" (conocida como ALARA, sus siglas en ingles) y recomienda un equivalente de dosis efectiva limite de 5 REM por año para los que trabajan con radiación.

En 1987 el NCRP ratifica los 50 milisievert por año (donde 1 rem es igual a 10 milisievert), siendo esta la nueva unidad de medición a nivel internacional.

Para 1991 el ICRP emite nuevas recomendaciones, incluyendo un límite de dosis ocupacional menor a 10 REM en cinco años (es decir un promedio de 2 REM/año o 20 milisievert por año) y limita la dosis de radiación para el público a 1 mSv/año ó 0.1 REM/año.

En 1993 el NCRP da nuevas recomendaciones, en las cuales incluye limitar el tiempo de trabajo relacionada con la dosis ocupacional (en REM) a un valor menor de la edad del trabajador (en años). Otras recomendaciones del NCRP son consistentes con las recomendaciones hechas por la ICRP en 1991.

Para el año 2000, siguen vigentes los límites recomendados por el ICRP en 1991

CAPITULO II: MEDICION DE LA RADIACION

2.4 DOSIMETRIA

2.4.1 UNIDADES

Los seres humanos no disponen de un órgano sensorial apropiado para detectar la radiación, por ello se depende de algunos instrumentos, para indicar la presencia de radiaciones ionizantes en el entorno. Como medida de protección se establecen límites en las dosis que recibe el personal ocupacionalmente expuesto (POE) y el público. Siendo la dosimetría, un sistema para la medida y registro de la dosis absorbida, teniendo como objetivo el que los límites de radiación establecidos, no sean superados. Para protegerse de las radiaciones es preciso medirlas y definir sus magnitudes y unidades.

Al cuantificar la magnitud de la radiación, se miden los efectos de la radiación ionizante sobre el aire o el organismo, siendo las más empleadas:

1. Exposición en el aire (X) y tasa de exposición en el aire (χ)

Esta exposición es la carga eléctrica de los electrones liberados por ionización, en una masa de aire. Su magnitud mide la carga eléctrica sobre la masa de aire y la unidad básica en el sistema internacional es el Coulomb/kilogramo, la unidad tradicional es el Roentgen o renguenio, expresada en fórmula:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

La tasa de exposición en el aire (χ), es la variación de la exposición en la unidad de tiempo, visto como formula se expresa:

$$\chi = \frac{dX}{dt}$$

La unidad vigente es el Coulomb/kilogramo x segundo (C/kg x s), aunque se sigue utilizando el Roentgen/hora o el miliroentgen/minuto (mR / min).

2. Dosis absorbida (D) y tasa de dosis absorbida (ΔD)

Al absorber los rayos-x, el organismo capta dicha energía, la dosis absorbida en un órgano es el promedio de la que recibe cada sección de ese órgano. De manera que, dosis absorbida es la energía media depositada en un elemento de masa de cualquier material, válida para cualquier radiación y cualquier material.

$$D = \frac{dE}{dm}$$

Su unidad básica es el julio/kilogramo, la cual recibe el nombre de Gray (Gy). Anteriormente, la unidad era el rad (dosis de radiación Absorbida en ingles). La tasa de dosis absorbida es el cociente de la dosis y el tiempo, su unidad es el Gray/segundo (Gy/s).

$$\Delta D = \frac{dD}{dt}$$

Aunque el Gray es una unidad conveniente para expresar la absorción de la energía, esta no considera el efecto biológico de la radiación particular. Aún a iguales dosis absorbidas, los efectos biológicos que surgen van a ser diferentes, según se trate del tipo de radiación.

Se sabe que todas las radiaciones ionizantes son capaces de producir efectos biológicos similares, pero la dosis absorbida medida en Gray capaz de producir ese efecto, puede variar apreciablemente de uno a otro tipo de radiación. Esto se explica en el hecho de que las radiaciones ionizantes entregan su energía al medio, produciendo pares iónicos. Además se sabe que partículas pesadas (por ejemplo, la partícula alfa por su número de masa atómica), tienen un recorrido muy corto, dejando en ese tramo corto, los iones concentrados. En cambio los fotones de los rayos-x, tienen un recorrido mucho mayor, produciéndose pares iónicos más esparcidos.

Aunque la cantidad de ionizaciones producidas por ambos tipos de radiaciones es la misma, la distribución no lo es y por ende el daño biológico varia. Así la "eficacia" de distintos tipos de radiaciones es diferente según el efecto que se considere, a pesar de entregar la misma energía. Esa eficacia se expresa mediante una relación que se denomina "*Efectividad Biológica Relativa*" y es la relación que existe entre la dosis de una radiación patrón (generalmente rayos-x o gamma a energía y velocidad de dosificación determinadas) y la dosis de absorción de la radiación en estudio para producir el mismo efecto biológico.

$$E.B.R. = \frac{\text{Dosis patrón (rayos-x o gamma)}}{\text{Dosis de radiación en estudio}}$$

Para la exposición, también se utiliza el término "Energía cinética liberada por unidad de masa" o KERMA en inglés, donde equivale a la suma de las energías cinéticas de todas las partículas ionizadas cargadas, liberadas por partículas ionizantes no cargadas en un material de masa m, el KERMA se utiliza con frecuencia en radioterapia, para expresar las dosis absorbidas por los pacientes. En el sistema internacional se usa el Gray, antiguamente era el rad, y se ha recomendado cambiar la exposición por el kerma de aire.

Existe además una relación entre la exposición (X) y la dosis absorbida (D), ya que si se conoce la exposición en el aire, se puede calcular la dosis absorbida, mediante la siguiente fórmula:

$$D = f \times X$$

Donde el factor f , depende de:

- a) La energía de los rayos-x
- b) Del tipo de absorbente (partes blandas o huesos)
- c) De las unidades utilizadas.

Nota: el factor f , indica la relación de la exposición, con la dosis absorbida, que para rayos-x se toma de uno, por lo que se dice que los rad son igual a los roentgen.

3. Factor de calidad (Q), dosis equivalente (H), tasa de dosis equivalente (H).

El factor de calidad (Q), indica la contribución de cada tipo de radiación al daño biológico. Este depende de la energía cedida por la radiación por unidad de recorrido, es decir la cantidad de radiación transferida a la materia, a esto se le conoce como "Transferencia lineal de energía" (LET).

La dosis equivalente (H), es la dosis absorbida (D), multiplicada por el factor de calidad (Q) de la radiación:

$$H = D \times Q$$

El factor de calidad de los rayos-x y los rayos gamma, es por convenio igual a uno, de manera que la dosis equivalente tiene el mismo valor que la dosis absorbida.

Al utilizar el término "dosis", sin especificar si es absorbida o equivalente, se debe sobreentender de que se trata de la dosis equivalente. La unidad de dosis equivalente es el Sievert (Sv), la unidad antigua era el rem.

La tasa de dosis equivalente (H), es el cociente de la dosis equivalente y el tiempo en segundos, su unidad es el Sievert/segundo (Sv/seg.).

2.4.2 TECNOLOGIAS

Actualmente existen equipos capaces para detectar y/o medir la radiación, los primeros trabajan en modo de "pulso" o "tasa" y se utilizan para indicar la presencia de radiación, en dicho modo, un "pulso" eléctrico, es generado por cada cantidad instantánea de radiación, que interactúa con el detector.

Los que se usan para la medición lo hacen de modo "integral", es decir acumulan la señal que les llega y responden con la exposición total o dosis total recibida. A este tipo de medición se le a dado el nombre de dosimetría y al aparato usado se le llama dosímetro. Siendo el objetivo principal de esta medición la "monitorización del personal", es decir establecer procedimientos para estimar la cantidad de radiación que recibe el personal ocupacionalmente expuesto, ya sea de manera personal o ambiental.

Existe una regla, para la monitorización personal, la cual establece que si existe la probabilidad de que un individuo reciba más de la cuarta parte de la dosis máxima permisible, entonces debe de elaborarse un plan de monitoreo personal. Dentro de los planes se deben incluir a todos los ocupacionalmente expuestos, además se debe incluir el personal, que aunque no trabaja en el área, si lo hace para procedimientos de fluoroscopia, citoscopia o cateterismo.

El monitor personal, no ofrece ninguna protección contra la radiación, sino que solamente mide la cantidad recibida por el usuario. Existen cuatro tipos de monitores personales, usados en radiodiagnóstico, los cuales son:

1. Dispositivos de película

Este es el método de monitoreo personal más difundido, usado tanto para las radiaciones x y gamma, como para las partículas beta y neutrones. El ennegrecimiento de una placa fotográfica, debido a la acción de las radiaciones, fue uno de los primeros métodos para detectar los rayos-x. Hoy en día se le reconoce en algunos países como prueba medico-legal, ya que esta conserva por mucho tiempo la información.

Este tipo de dosímetro consta de una película radiosensible, colocada entre dos filtros metálicos y de un chasis plástico que la contiene. La película contiene un alto contenido de bromuro de plata, especial para dosimetría, además tiene dos emulsiones de diferentes sensibilidades, para lograr margen de medición de dosis absorbida.

La de alta sensibilidad (dosis baja) cubre un rango aproximado desde 10 mR a 400 mR y la de baja sensibilidad (alta dosis) cubre desde 400 mR hasta 10,000 mR. El chasis esta provisto de dos filtros metálicos, de cobre y aluminio, que cubren la película y se colocan simétricamente en la parte anterior y posterior del mismo. También tiene una ventana sin filtro (ventana abierta). Los materiales de los filtros son distintos debido a que la radiación que entra al dispositivo por la parte posterior indica que la persona se expuso a niveles de radiación considerablemente más alto de lo indicado, dado que la radiación ha tenido que atravesar el cuerpo antes de alcanzar la película, debido a esto, los dispositivos de película deben colocarse correctamente, con la parte frontal hacia delante, se presenta en las figuras un chasis abierto y la fotografía de un dosímetro para monitoreo personal con película marca "Kodak ®", especial para dosimetría.

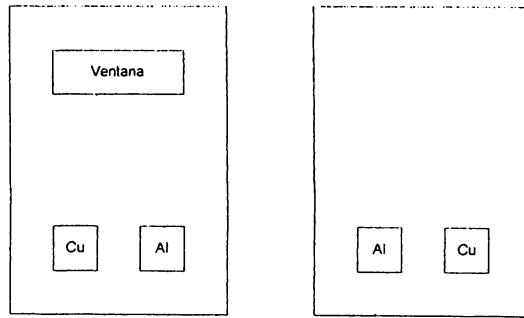


Figura 1

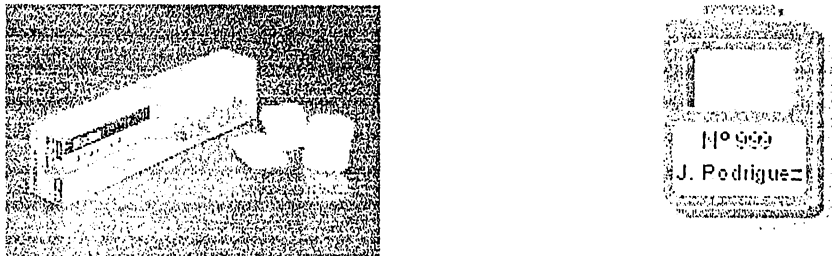


Figura 2

Su funcionamiento es igual que cualquier película para rayos-x, para el caso cuando la radiación atraviesa la emulsión, se liberan electrones que forman una "imagen latente", la cual hace que se reduzcan los cristales de plata en el proceso de revelado; donde la zona expuesta a la radiación aparecerá más oscura cuando se haya revelado. Para que el dispositivo mida correctamente, la cantidad de radiación recibida será necesario que la calibración, el revelado y el análisis de la película se realicen con gran cuidado. Normalmente, los dispositivos de película no detectan dosis de radiación inferiores a 10 miliroentgen ($2.6 \mu\text{C}/\text{Kg}$).

El velado de la película está relacionado con la exposición a la cual estuvo sometido. Este velado se expresa cuantitativamente por la densidad óptica (D) definida por:

$$D = \log \frac{I_o}{I}$$

Donde I_o es la intensidad de un haz luminoso cualquiera, incidente sobre la película, e I es la intensidad del haz que sale del mismo.

Las densidades ópticas son medidas con densitómetros.

Las ventajas de estos dosímetros implican, facilidad al manejarlos, son baratos, fáciles de revelar, razonablemente precisos y tiene mucho tiempo de estarse utilizando. Estos dispositivos también presentan una seria de desventajas; dado que el elemento detector de radiación es la película, no pueden usarse durante periodos muy prolongados, ya que les afectaría el velo producido por la humedad y temperatura. Estos dispositivos nunca deben dejarse dentro de un automóvil o en lugares donde existan temperaturas elevadas. Por lo que estos dispositivos no deben llevarse por más de un mes seguido.

2. Dosímetros de termoluminiscencia (TLD)

Ciertos elementos resplandecen al momento de ser calentados, esto es la emisión de luz visible estimulada térmicamente y recibe el nombre de termoluminiscencia. El principio de medición se basa en el uso de un compuesto termoluminiscente, el cual al ser expuesto a las radiaciones ionizantes y al ser calentado gradualmente, emite luz, cuya energía luminosa total o el pico (valor máximo), sirven para medir las dosis absorbidas de radiación. Los materiales mas usados en TLD, son: el fluoruro de litio, fluoruro de calcio, borato de litio y sulfato de calcio. Estos son muy escasos en la naturaleza por lo que se tratan en la mayoría de los casos con cristales inorgánicos. El TLD mas usado es el fluoruro de litio (LiF), tiene un número atómico efectivo de 8.2, por lo que tiene propiedades de absorción fotónica, parecidas a las del tejido blando del ser humano, por lo que se le considera equivalente al tejido. El fluoruro de litio puede medir dosis de solo 10 mrad (0.1 mGy) con precisión modesta y dosis arriba de 10 rad (100 mGy) con precisión arriba del 5 %. Este tipo de dispositivo es útil para el control de radiación en pacientes y personal ocupacionalmente expuesto.

El fluoruro de calcio activado por manganeso ($\text{CaF}_2:\text{Mn}$) tiene un número atómico efectivo de 16.3, lo que le hace más sensible a las radiaciones ionizantes. Este puede medir con precisión radiaciones inferiores a 1 mrad (10 microGy), lo que le hace útil en la medición ambiental. De igual uso son los de sulfato de calcio (CaSO_4), que tienen un numero atómico efectivo de 15.3, lo que les hace altamente sensibles a la radiación.

Los dosímetros de borato de litio activado por manganeso ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Mn}$), poseen un número atómico de 7.4, lo que les hace poco sensibles a la radiación, por lo que se utilizan en campos como la investigación.

Al exponer al TLD a radiaciones ionizantes; a temperaturas moderadas, muchos de sus electrones quedan detenidos en posiciones llamadas "trampas electrónicas", produciéndose estados con estabilidad atómica de larga duración. Si el compuesto se calienta gradualmente, los electrones se escaparán de esas trampas, volviendo a sus estados anteriores, emitiendo energía en forma de luz.

Cuando el calentamiento es uniforme con el tiempo, la intensidad de la luz emitida es proporcional a la dosis de radiación recibida. Los equipos analizadores de los TLD están diseñados para medir la altura de la curva de brillo o el área bajo la curva (figura 3) formada con la emisión de luz, además, relacionan ese dato con la dosis o exposición recibida por medio de un factor de conversión. Para borrar las mediciones grabadas por el TLD, se debe recocer este durante 15 minutos a 300 °C y luego durante dos horas a 80 °C. Algunas de las ventajas de los TLD implican su flexibilidad en el diseño (pastillas, polvos, etc.), su amplio rango de medición, debido a su sensibilidad y precisión puede medir dosis de hasta 3 miliroentgen (1.3 $\mu\text{C}/\text{Kg}$) y no pierden información por haber sido sometidos a temperatura o humedad excesivas, en consecuencia, pueden ser usados ininterrumpidamente durante periodos de hasta tres meses. Rápida reutilización, pues una vez irradiados, la energía absorbida por el TLD, permanece almacenada hasta que se libera en forma de luz por calentamiento durante el análisis. Este calentamiento devuelve el cristal a su estado original y lo deja listo para la siguiente exposición. Además, la pérdida de la información es mínima (menos del 1% en 3 meses) en los TLD. El principal inconveniente de los TLD es su precio, un TLD cuesta dos veces el valor de un dispositivo de película (precio promedio de 60 dólares, para el TLD).

Los TLD no responden a ionizaciones individuales, por lo que no pueden usarse como instrumento de medida en modo de tasa, es decir no proporcionan resultados inmediatos.

El proceso de medición al utilizar el TLD, consiste en que una vez irradiado, el elemento fosforescente del TLD, se coloca en una placa con temperatura controlada, para ser analizado, en un aparato llamado: "analizador de TLD". La temperatura de la placa se puede controlar con extrema precisión. Directamente enfocado a la placa se coloca un tubo fotomultiplicador o tubo de FM, que convierte los destellos de luz en pulsos eléctricos, la placa y el tubo de FM se encuentran en el interior de una cámara a prueba de luz. La señal de salida del tubo de FM es amplificada y se muestra en un medidor o en una gráfica de papel, la cual representa la curva de brillo del TLD (figura 3), de manera que a medida que sube la temperatura de la placa, la emisión de luz aumenta de manera irregular. En dicha gráfica hay varios picos, donde el pico más grande y el área bajo la curva son directamente proporcionales a la energía de la radiación ionizante que absorbe el material del TLD. Los analizadores de TLD, son equipos capaces de medir la altura de la curva de brillo o el área bajo la curva, y algunos, además relacionan automáticamente el dato obtenido con la dosis o exposición recibida por medio de un factor de conversión, relacionado con el tiempo.

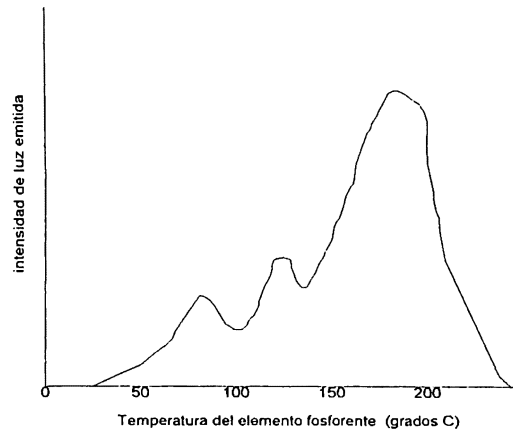


Figura 3

3. Dosímetros de radiofotoluminiscencia (RPL)

El término RPL define la propiedad que tiene ciertos materiales, que normalmente no emiten luz fluorescente, pero al ser irradiados y luego expuestos a luz ultravioleta, comienzan a emitir luz color naranja, la cual es proporcional a la radiación recibida. Los compuestos más comunes de RPL son los fosfatos de plata y litio.

El compuesto del RPL actúa como un medio de transformación de dosis de radiación a energía luminosa. Al recibir dicha radiación, se crean centros estables fluorescentes, posteriormente excitados con luz U.V. estos centros emiten luz color naranja, lo que comúnmente se denomina radiofotoluminiscencia. La luz fluorescente es proporcional a la dosis.

Dentro de las ventajas de los RPL se pueden mencionar: el rango de medición que va desde milirem hasta 10 rem, su respuesta lineal aun con dosis elevadas, la información no se pierde con el tiempo (menor al 1% en tres meses), gran variedad en formas y tamaños para todo tipo de dosímetros, se puede reusar hasta 100 veces, sin necesidad de recambio. Las mediciones se pueden repetir cuantas veces se quiera, sin destruir la información.

Si se lee un RPL, sin ser expuesto previamente a las radiaciones, se obtendrá una lectura llamada pre-dosis, la cual debe ser descontada de las lecturas posteriormente recibidas en el dosímetro.

El borrado o puesta a cero se realiza mediante un recocido a 400 °C durante una hora.

4. Dispositivos con cámara de ionización de bolsillo.

El principio de funcionamiento implica que cuando la radiación atraviesa un gas, ioniza átomos a su paso, este fenómeno en el gas, es la base de la medición.

Este dosímetro consiste en una cámara que contiene dos electrodos, uno de los cuales es un lazo de fibra de cuarzo que puede moverse con respecto a su base o montura. Las cargas de igual signo se ubican en el lazo y en el cuerpo del dosímetro, forzándolo a salirse de la montura por efecto de la repulsión de las cargas semejantes. La ionización que se lleva a cabo dentro de la cámara, reduce las cargas permitiendo el desplazamiento de la fibra a su posición normal.

En el interior del instrumento existen un sistema óptico y una escala transparente, la fibra está fundida a un bastidor metálico y el microscopio está enfocando una sección de ella. Cuando ingresa la radiación a la cámara, se producen ionizaciones dentro del volumen sensible, esta ionización descarga el electroscopio (que determina si hay o no cargas eléctricas, producidas por la ionización), siendo la distancia recorrida por la fibra, proporcional a la dosis recibida de tal manera que puedan resistir cualquier actividad desarrollada en el trabajo, por la persona que lo utiliza, donde a medida que el instrumento va siendo sometido a la radiación durante el día, la carga se disipa y se neutraliza, un análisis de la tensión remanente al final del día indicará la cantidad de radiación a la que ha sido expuesto. La forma y tamaño del dosímetro es similar al de una pluma fuente grande.

Las cámaras de ionización de bolsillo no son muy habituales en radiología diagnóstica, su uso requiere un control diario de la radiación recibida y hay que utilizar el aparato de carga y control todos los días. Estos dispositivos se emplean con más frecuencia para controlar la exposición del personal que no pertenece al departamento de radiología a lo largo de un día, por ejemplo, las enfermeras.

Las cámaras de ionización son razonablemente precisas y sensibles, pero tienen un rango limitado, ya que si un individuo ha sido expuesto a un nivel de radiación superior al que puede medir, será imposible saber la magnitud de dicha radiación. La ventaja más importante de este tipo de dosímetros es su modo de lectura, pues se puede hacer en cualquier momento y sin ayuda de otros aparatos. Para ellos solo es necesario una fuente de luz y mirar a través del ocular del dosímetro. Además es útil para campos mayores a 1 miliroentgen/hora. El rango de medición va desde cero hasta 200 miliroentgen, habiendo también sensibilidades de 100 mR, 1 R, 10 R, etc.

En la figura 4 se presentan las partes un dosímetro de cámara de ionización:

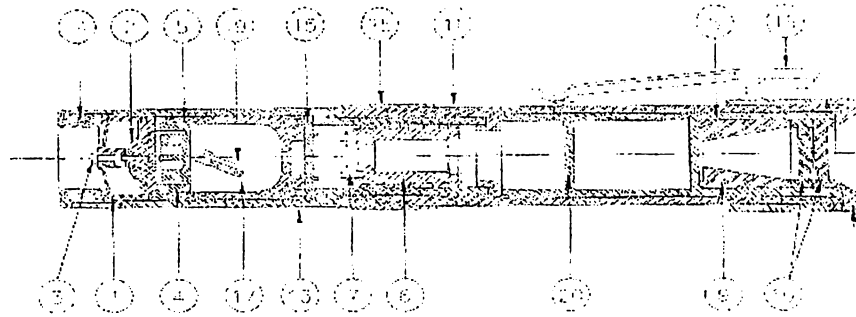


Figura 4

Donde:

1. Diafragma interruptor
2. Coraza electrostática
3. Barra cargadora
4. Electroscopio
5. Cámara de ionización
6. Cilindro metálico
7. Lente
8. Tasa del ocular
5. Espacio del ocular
10. Lentes del ocular
11. Cuerpo superior del dosimetro
12. Cuerpo superior final del dosimetro
13. Cuerpo inferior del dosimetro
14. Cuerpo inferior final del dosimetro
15. Ventana
16. Clip
17. Fibra fija de cuarzo
19. Lazo de fibra móvil de cuarzo
20. Escala transparente
25. Viñeta del número de serie del dosimetro

2.4.3 REQUERIMIENTOS PARA DOSIMETRÍA

Para efectuar procedimientos de dosimetria se debe tener en cuenta:

1) Requerimientos técnicos

1.1 Respuesta a las radiaciones

El dosimetro usado debe responder al tipo de radiación deseada a detectar y no a otros factores como por ejemplo: temperatura, humedad, presión, etc.

La mayoría de detectores utilizados, son sensibles a dichos factores, por lo tanto deben ser protegidos de los mismos, para evitar posible pérdida o alteración de la información antes del proceso de lectura.

1.2 Rangos de lectura

Deberán cubrir desde milirem (en caso de uso normal) hasta miles de rem (en caso de accidentes).

El valor mínimo que debe registrar el dosimetro dependerá de la frecuencia del cambio del mismo, mientras que el límite superior se fija en función de las dosis que podrían eventualmente recibirse en caso de accidentes.

1.3 Exactitud

Para el caso de monitoreo periódico de los usuarios el ICRP recomienda una exactitud del 50% teniendo en cuenta la dosis anual de todo el cuerpo, por ejemplo: para una dosis de 2,000 milirem, un error de 1,000 milirem anual es aceptable, teniendo en cuenta la dependencia de energía, ángulo de incidencia, errores cometidos en la calibración, etc.

En los casos de accidentes, donde las dosis pueden superar los 25 rem, se admiten errores del 25%.

2) Requerimientos administrativos

2.1 El dosimetro debe ser de fácil identificación, tanto para el usuario como para la codificación en el procesado.

2.2 Peso y tamaño

Esos factores dependen del uso que se les propone dar. En el caso de usarse en la muñeca no deberán molestar. Al ser llevado sobre el tronco serán del peso y tamaño de los objetos que se llevan normalmente, por ejemplo en la gabacha (lapiceros, llaveros, etc.).

2.3 Proceso de lectura

El mismo deberá ser fácil y rápido. La lectura deberá ser sencilla y corta. En el caso de accidentes es deseable obtener la información lo más rápido posible.

3) Requerimientos legales

Como prueba médico-legal., el dosimetro deberá satisfacer las necesidades de proveer una información permanente para ser consultada y comprobada aún mucho tiempo después de ser efectuada la lectura.

Además de los requerimientos anteriores, existen una serie de normas de utilización, para comprobar que el personal no supere los límites reglamentarios, y

por otra parte permite ver si el trabajo se hace en condiciones adecuadas. Entre dichas normas destacan:

- (1) Llevar el dosímetro siempre puesto durante las horas de trabajo.
- (2) Colocarlo a la altura del pecho y por fuera de la ropa, en el caso de usarse mandil plomado, deberá colocarse por debajo del mismo, puesto que se trata de determinar la dosis que recibe el individuo, no el delantal.
- (3) Quitárselo al terminar la jornada laboral y dejarlo en un lugar donde no esté expuesto a radiaciones.
- (4) No dejarlo expuesto al sol, ni sobre la calefacción, ni en lugares con una temperatura excesiva.

Las dosis recibidas por el personal ocupacionalmente expuesto deberán determinarse, cuando las condiciones de trabajo sean normales, con una periodicidad no superior a un mes, para la dosimetría externa, no hay que olvidar que en radiodiagnóstico no hay contaminación interna, por lo que no es necesario llevar a cabo una dosimetría interna.

CAPITULO III: DEPARTAMENTO DE RADIOLOGIA DEL HNNBB

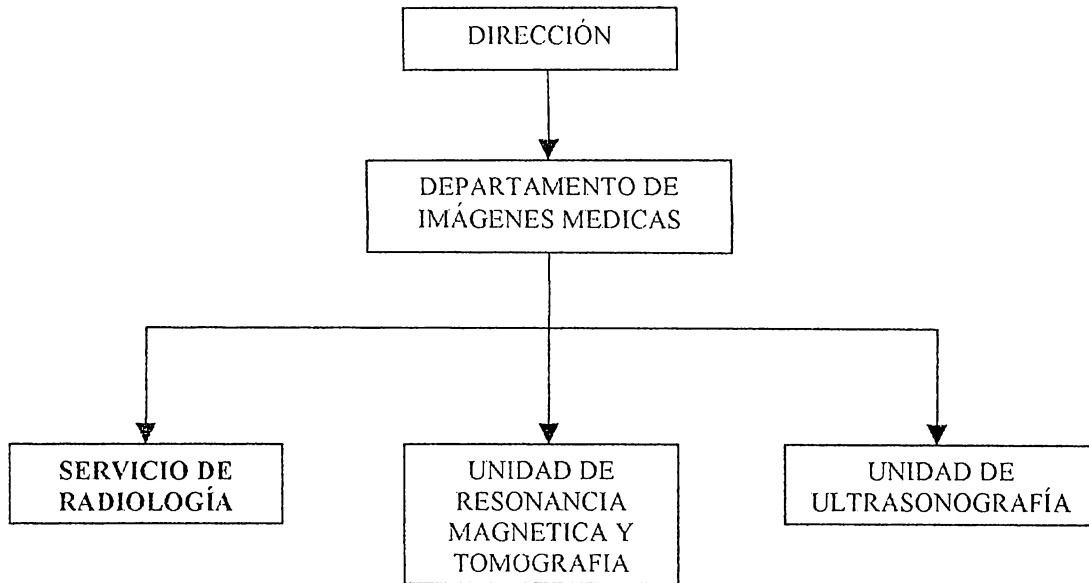
3.1 ORGANIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AREA DE RADIOLOGÍA DEL HNNBB

El Hospital Benjamín Bloom, posee una estructura organizativa vertical, en la cual los servicios dependen de un departamento o división en particular. Por ejemplo el departamento de mantenimiento esta bajo la administración del hospital, la división médica es dependiente de la dirección del hospital y en el caso del servicio radiología, es supervisada por el departamento de imágenes médicas y este a su vez, es vigilado por la dirección, siendo un caso muy especial, pues en la mayoría de casos, imágenes médicas, depende de la división de servicios de apoyo y diagnóstico. Este caso se debe a que en el modelo del hospital se busca una descentralización de los servicios para propiciar la efectividad en su trabajo en áreas que lo ameritan, por la cantidad de pacientes y dinero, que generan a diario.

El departamento de imágenes medicas, es la parte administrativa de los servicios de diagnostico, se encarga de controlar, la cantidad de exámenes, los consumibles como películas radiográficas, medios de contraste, material gastable, etc. Asi como también gestiona la adquisición de las películas, químicos utilizados para el procesado automático de las películas, papelería utilizada en los servicios a su cargo y todo lo relacionado a la fiscalización y control de áreas de resonancia magnética, tomografía axial computarizada, ultrasonografía y radiología. El servicio de radiología es la parte operativa del departamento de imágenes médicas. Radiología se encarga de elaborar el plan de trabajo para los técnicos de radiología, en el cual se especifica el número de horas que trabajará cada uno en el mes además el servicio de radiología contabiliza la cantidad de exámenes de rayos-x y ultrasonido hechas mensualmente, debido a que la unidad de ultrasonografía, no posee mucho personal.

Además el servicio de radiología es el encargado de controlar factores como: la calidad de los exámenes y equipos de radiodiagnóstico, velando por que los errores ya sean humanos o de maquinas se corrijan, además el departamento vigila por que se cumplan de la mejor manera posible, las recomendaciones existentes de radioprotección, tales como: el uso de chalecos plomados, para técnicos, enfermeras, médicos y acompañantes de los pacientes; conservar las distancias necesarias durante un estudio; minimizar los tiempos de exposición; evitar que se hagan exposiciones innecesarias a los pacientes, utilizando las técnicas adecuadas al tamaño, edad y peso de los pacientes.

Internamente la organización del departamento de radiología del Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom (HNNBB) depende administrativamente, como ya se mencionó, del Departamento de Imágenes Médicas y este a su vez depende directamente de la Dirección del hospital. Visto desde un organigrama se tiene:



El departamento de radiología esta bajo la dirección del Jefe Técnico de Diagnostico por Imágenes, quien se encarga de diagnosticar las placas generadas en el servicio, luego le sigue jerárquicamente, el Jefe de Técnicos del Servicio de Radiología, quien coordina las actividades del personal de radiología, también organiza los turnos de los técnicos de radiología, los cuales son 18 y además cuenta con 2 técnicos de cuarto oscuro. El Jefe Técnico de diagnóstico y el jefe de técnicos tienen el apoyo de auxiliares como: 4 secretarias y un archivista.

Las labores de los técnicos, se realizan en jornadas de 6 horas diurnas y de turnos de 12 horas en la noche, los cuales se compensan con dos días libres consecutivos.

Para efectuar los exámenes, cuenta el área con tres salas, con diseño de núcleo central, debido a que sus oficinas están ubicadas en la misma área y las salas de rayos-x están situadas en el centro del área, las cuales se observan en el plano de la distribución arquitectónica (figura 10).

En las salas, las cuales son dos para exámenes generales y una para estudios especiales con fluoroscopia, se realizan los estudios que se enumeran a continuación.

3.2 TIPOS DE EXAMENES REALIZADOS.

Los tipos de examen realizado, según la sala, se detallan a continuación:

SALA # 1:

TIPOS DE EXAMENES: abdomen, manos, piernas, muñecas, rodillas, antebrazos, codos, muslos, pies, tobillos, antebrazo, articulación temporomandibular, brazo humero, cadera, calcaneo, cara, cavum, clavícula, codo, columna cervical, columna dorsal, columna dorso lumbar, columna lumbar, columna lumbo-sacra, columna sacra, columna vertebral total, costillas, cráneo, cráneo (towne), cuello, escápula, hombro, huesos largos, huesos propios de la nariz, humero, mandíbula, mano, mastoides, maxilar inferior, maxilar superior, miembros inferiores, miembros superiores, muslo-femur, muñeca, nasal, órbitas, p.e.v. (pielograma endovenoso), pelvis, pie, pierna, rodilla, rotula, senos maxilares, senos paranasales, serie abdominal, tobillo, toracoabdominal, tórax, tórax lateral, transito intestinal, waters y wangenstein rice.

SALA # 2:

TIPO DE EXAMEN: abdomen, manos, muñecas, piernas, rodillas, antebrazos, codos, muslos, pies, tobillos, antebrazo, articulación temporomandibular, brazo humero, cadera, calcaneo, cara, cavum, cistouretrograma, clavícula, coanas, codo, columna cervical, columna dorsal, columna dorso lumbar, columna lumbar, columna lumbo-sacra, columna sacra, columna vertebral total, costillas, cráneo, cráneo (towne), cuello, escápula, esternón, hombro, huesos, largos, huesos propios de la nariz, humero, mandíbula, mano, mastoides, maxilar inferior, maxilar superior, miembros inferiores, miembros superiores, muñeca, muslo-femur, nasal, órbitas, pelvis, pie, pierna, rodilla, rotula, senos maxilares, senos paranasales, serie abdominal, serie para cuerpo extraño en bronquio, silla turca, tobillo, toracoabdominal, tórax, tórax lateral, transito intestinal, wangenstein rice y waters.

SALA # 3:

TIPO DE EXAMEN: arteriografía cerebral, arteriografía de miembro superior, arteriografía de miembro inferior, cateterismo cardiaco, colangiograma, colograma, enema baritado, esofagograma, fistulograma, flebograma, genitograma, mielografía, nefrostograma, parotidas, pieolograma retrogrado, sialografía, t.d.s., tomografía lineal, uretrograma y venocavograma.

En el área de radiología del HNNBB, además de las tres salas de radiodiagnóstico, se cuenta con un cuarto oscuro con dos procesadoras de revelado automático, así como de un área con equipo para revelado manual, en casos de extrema necesidad.

Las salas de radiología, cuentan con otras áreas comunes, tales como:

1. Sala de espera
2. Area de consola de control
3. Vestidores para pacientes
4. Area de almacenamiento para películas
5. Cuarto oscuro
6. Area de interpretación
7. Area de preparación de medios de contraste
8. Area de preparación del paciente.

El flujo hospitalario es muy importante, para el estudio y análisis a realizar, pues de él se determina si existen deficiencias, como tiempos muertos, tráfico contracorriente, circulación innecesaria, etc. Siendo parte importante en ello, la atención de los pacientes, por lo que hay que describir los procedimientos en su recepción.

3.3 RECEPCION DE PACIENTES

El servicio de radiología atiende principalmente a niños menores de 12 años, según el reglamento interno del hospital, los cuales provienen de la Unidad de Emergencias, de los servicios de hospitalización, de Consulta Externa, hijos de empleados, pacientes referidos de otras instituciones médicas y empleados del hospital.

Los pacientes de la unidad de emergencias y los ingresados a los servicios de hospitalización deben presentar para su examen, el expediente clínico.

El paciente de consulta externa presenta la tarjeta de identificación del HNNBB.

Los pacientes de urgencia o de "Código Rojo", por su estado delicado, provenientes de la unidad de emergencia, solo deben presentar la solicitud del médico y la hoja original del archivo.

El horario de atención para pacientes de consulta externa es de lunes a viernes de 7:00 a.m. a 12 p.m., los pacientes de los servicios de neonatología, ortopedia y pediatría son recibidos de 10 a.m. a 12 p.m., pacientes de los otros servicios de hospitalización, son recibidos de 2 p.m. a 4 p.m.

Los pacientes que vienen de la unidad de emergencias, observación médica, cirugía e incluso las urgencias de hospitalización, se atienden las 24 horas del día.

3.4 RECEPCIÓN DE SOLICITUD DE EXAMENES RADIOLOGICOS.

Lo pasos a seguir para la recepción normal de pacientes son:

1. Recibir la solicitud de estudio radiológico, corroborando todos los datos, en el expediente clínico o en la tarjeta de archivo.
2. Introducir al sistema de computo, el nombre y edad del paciente, numero expediente, región a investigar, nombre del médico responsable y la contribución otorgada a colecturía del HNNBB.
3. Elaborar el código de identificación de placa, que se utilizara en el cuarto oscuro.
4. Agregar las radiografías anteriores, si las hay.
5. Llevar la solicitud del estudio al radiotecnologo.
6. Introducir al sistema de computo el material utilizado, según el servicio de donde provenga el paciente.
7. Dar cita para estudios con medio de contraste, anotarlos en la agenda correspondiente e indicarles los requisitos y preparación necesaria para dicho tipo de estudio (por ejemplo: no comer antes de las 8 horas al estudio, no bañarse, llevar una toalla, etc.)
8. En la hoja original del expediente donde se fijan los resultados de los exámenes, se escribe la frase **Rx**, lo mismo en la esquina superior izquierda de la tarjeta del archivo; lo cual indica que ya existen radiografías previas.
9. Se anota en el cuaderno correspondiente, todas las radiografías ya reportadas por el doctor radiólogo.
10. Se revisan al final del turno, que todos los datos ingresados al sistema de computo, estén completos.

3.5 ENTREGA DE RADIOGRAFIAS.

Para la entrega de radiografías, se extiende un vale para entrega, el cual es solicitado por los padres o responsables del paciente.

Las radiografías tomadas a los pacientes, que pasan con un médico ortopeda, en la unidad de pequeña cirugía; se les entregan las placas en el momento, para ser vistas por el ortopeda.

Las radiografías de consulta externa, no reportadas como caso interesante al momento de la lectura, se entregan a los pacientes de dichos exámenes. Un caso interesante es aquel, que por su tipo de historial clínico o de diagnostico, es usado para enseñanza médica, por parte del radiólogo.

Las placas no entregadas, son almacenadas por espacio de dos años, luego se venden para recuperar los haluros de plata impregnados. Los casos interesantes están almacenados en el archivo de radiología desde 1994.

3.6 PASOS PARA LA TOMA DE EXAMENES E INDICACIONES.

Los pasos a seguir para realizar un examen radiológico (previo ingreso del paciente a la sala) son generalmente los siguientes:

1. Analizar la solicitud del estudio radiológico.
2. Buscar si existen estudios anteriores.
3. Pasar al paciente al vestidor e indicarle que se quite los zapatos.
4. Colocar el tubo en la posición deseada, según el examen a realizar.
5. Elegir la caseta y técnica a usar.
6. Posicionar al paciente para el examen.
7. Proteger con delantal de plomo al acompañante del paciente, si se requiere su presencia.
8. Explicarle al acompañante, el procedimiento y como debe sostener al paciente.
9. Inmovilizar al paciente de los miembros superiores o inferiores, si es necesario.
10. Colimar la zona de interés
11. Si es necesario colocar una letra de plomo, que indica el lado a tomar.
12. Tomar las radiografías necesarias para el estudio.
13. Llevar la caseta radiada a revelar.
14. Evaluar las radiografías.
15. Despachar al paciente.
16. Firmar la boleta, ordenar y rotular las placas.
17. Llevarlas a recepción para anotar el material gastado
18. Ordenar la sala utilizada.

Si se necesita de medio de contraste, este se debe suministrar antes del paso de tomar la radiografía.

Si el paciente es alérgico al medio de contraste, debe haber siempre a la mano ampollas antialérgicas.

Si el paciente es una niña grande, debe dársele una gabacha para desvestirla.

CAPITULO IV: CRITERIOS DE DISEÑO

4.1 FLUJO HOSPITALARIO DENTRO DE RADIOLOGÍA

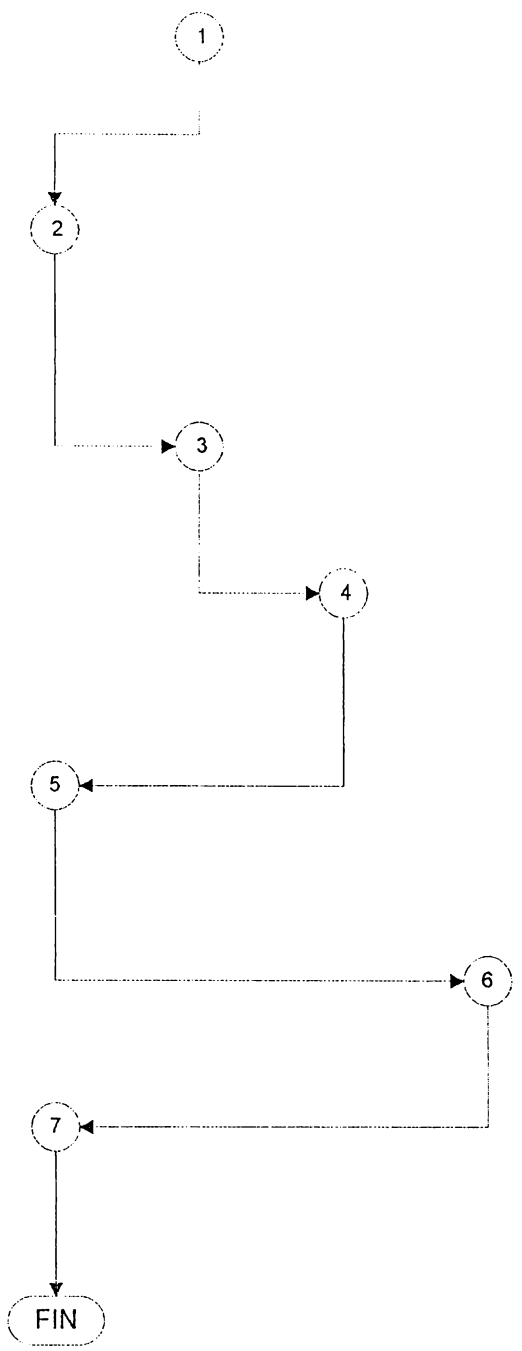
En las instalaciones de radiología del HNNBB, hay un número considerable de personas como médicos, enfermeras, parientes de los pacientes o acompañantes; que circulan por las salas de rayos-x, por motivos diversos, tales como conducir al paciente al examen, sostenerlos durante el estudio o entregar a la recepción las boletas con los datos del paciente para que el paciente sea llamado para la toma de radiografías, etc. Además de ellos, el personal técnico y administrativo de radiología, circula dentro del área, transportando las placas, revelándolas, anotando datos al sistema informático del servicio, utilizando los vestidores y servicios sanitarios, etc. De manera que en las zonas de exposición, existe la posibilidad de que las personas involucradas con el servicio de Radiología, reciban por el flujo hospitalario interno, cantidades de radiación no deseadas. Por tal motivo, es necesario estudiar los diferentes elementos, que forman el flujo hospitalario.

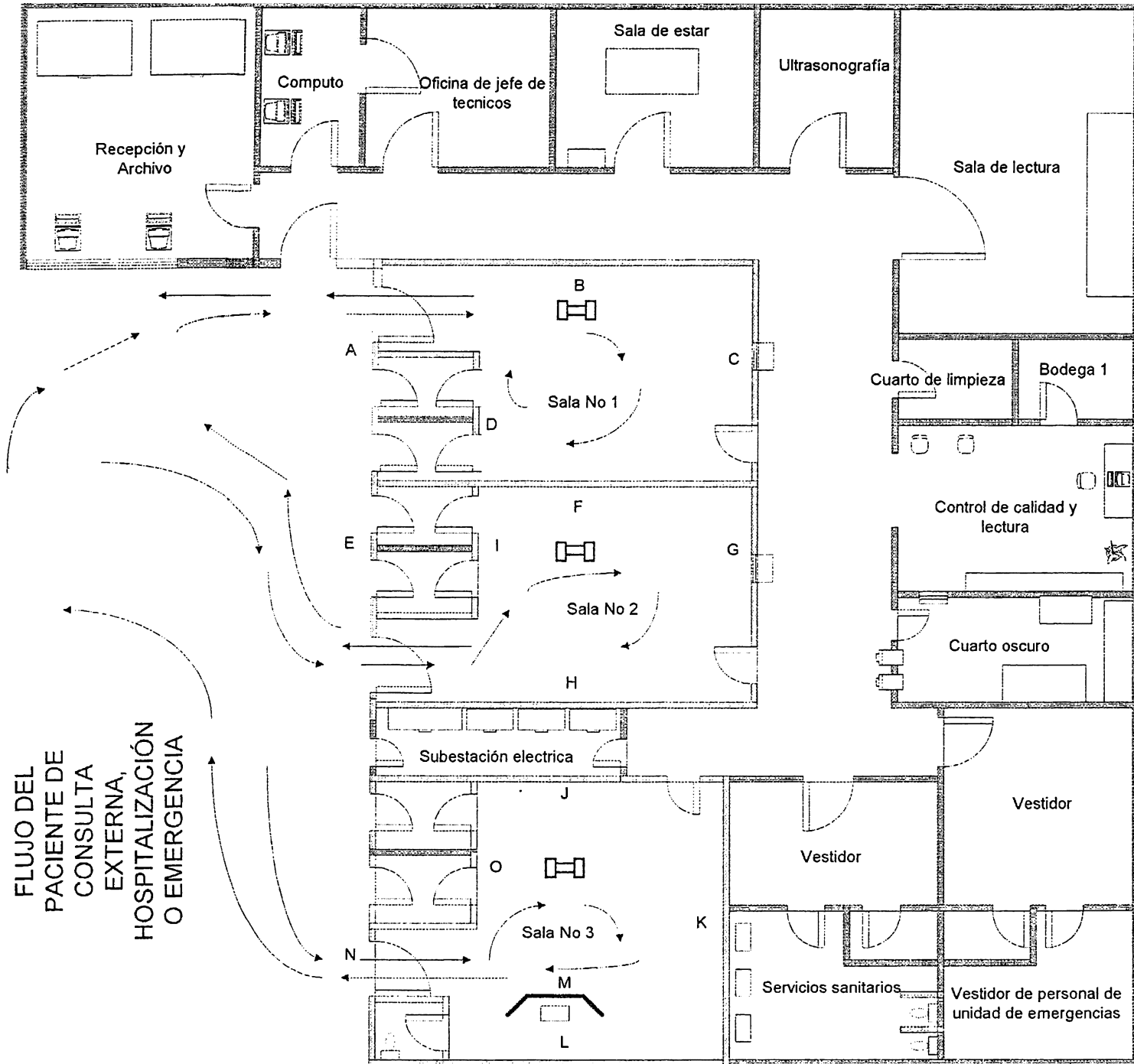
Se procederá a presentar el flujo de los pacientes, las películas, material gastable y consumibles, así como del técnico de rayos-x, médicos y enfermeras; involucrando las actividades con los personajes de cada paso.

Para cada diagrama de flujo, se observará en las siguientes páginas, el recorrido interno dentro del área de Radiología, desde la distribución arquitectónica, para fortalecer la explicación del recorrido del personal y del público, dentro del servicio de radiología.

**FLUJO DEL PACIENTE
DE HOSPITALIZACIÓN,
CONSULTA EXTERNA O
EMERGENCIA**

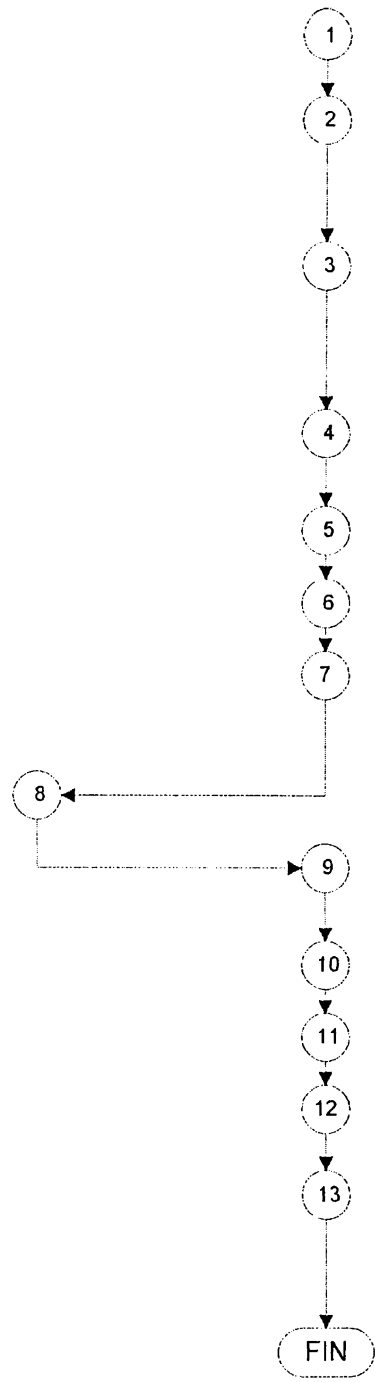
No	Actividad	Responsable			
		Paciente	enfermera o medico	secretaria	técnico radiologo
1	El médico ordena el exámen de Radiodiagnóstico, si es de Consulta Externa				
2	Paga en colecturía el costo del exámen, si es de Consulta Externa Nota: el pago lo efectua el familiar o acompañante				
3	Lleva la boleta del paciente a recepción para el control				
4	Registra los datos del paciente				
5	Espera a ser llamado Nota: este es acompañado de familiar o amigo si es de Consulta Externa, de lo contrario lo acompaña la enfermera o médico				
6	Toma de radiografía				
7	Pasa a sala de espera, para ser despachado. Nota: siempre lo acompaña el familiar o acompañante si es de Consulta Externa, sino, es el médico o enfermera				

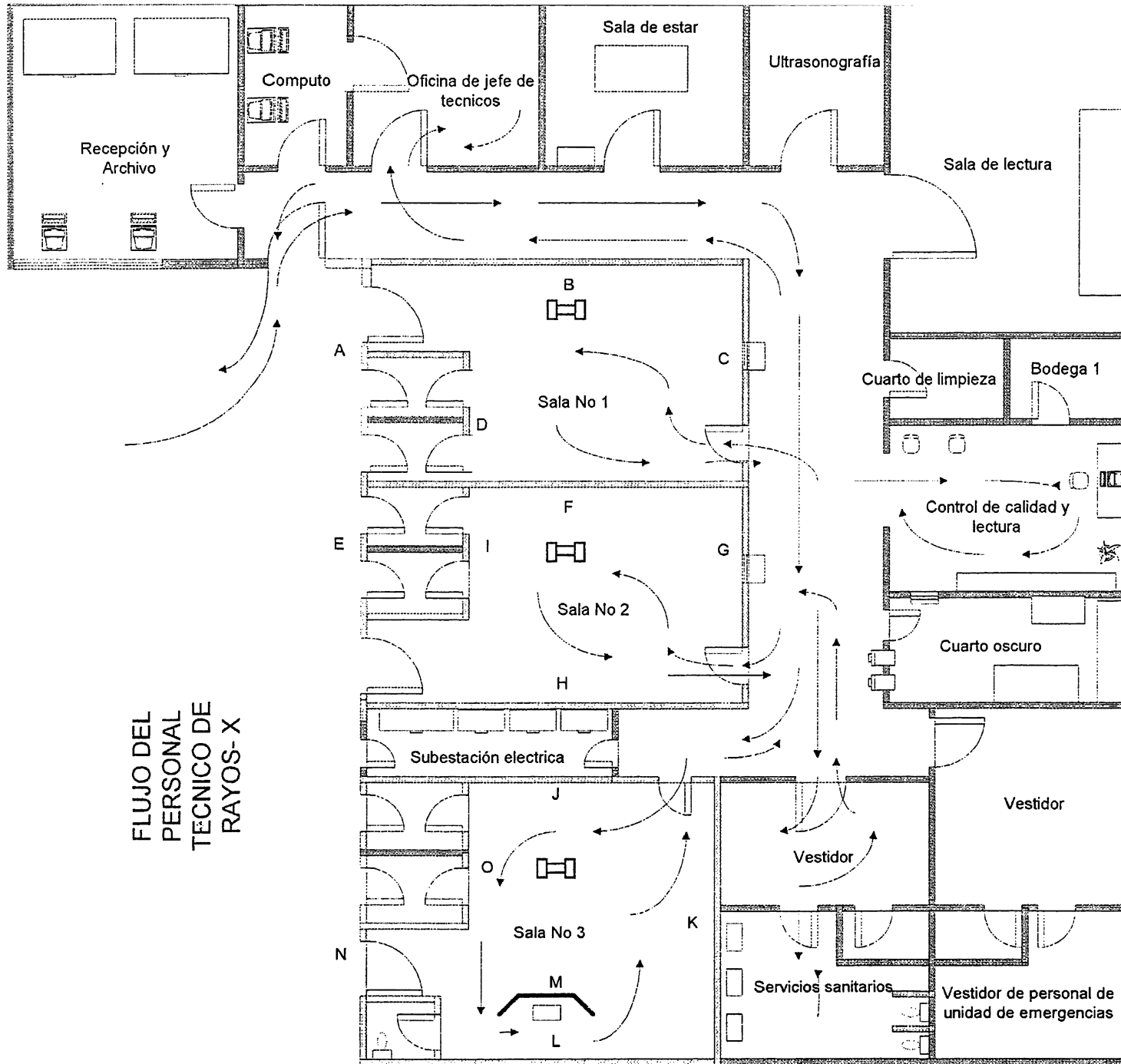




FLUJO DEL PERSONAL TECNICO DE R-X

No	Actividad	Responsable			
		Paciente	enfermera o medico	secretaria	técnico radiologo
1	Llega al vestidor de radiología, a sacar la gabacha de trabajo, de su locker				1
2	Recibe el turno haciendo inventario del estado de los materiales y equipos				2
3	Va a recepción y saca del "libro de citas", el número de pacientes con procedimientos. Nota: este proceso se hace de lunes a viernes, solo por la mañana, pues la secretaria no ha llegado aún				3
4	Solicita al jefe de Técnicos el material gatable a utilizar en los procedimientos				4
5	Se posiciona en el panel de control				5
6	Llama al paciente				6
7	Coloca el equipo y al paciente según el examen				7
8	Ayuda a sostener al paciente durante el examen (si es necesario)				8
9	Inyecta medio de contraste (si es necesario)				9
10	Toma la radiografía				10
11	Realiza el control de calidad después de procesar la película				11
12	Despacha al paciente				12
13	Entrega el turno haciendo el inventario respectivo y se retira del área				13
					FIN

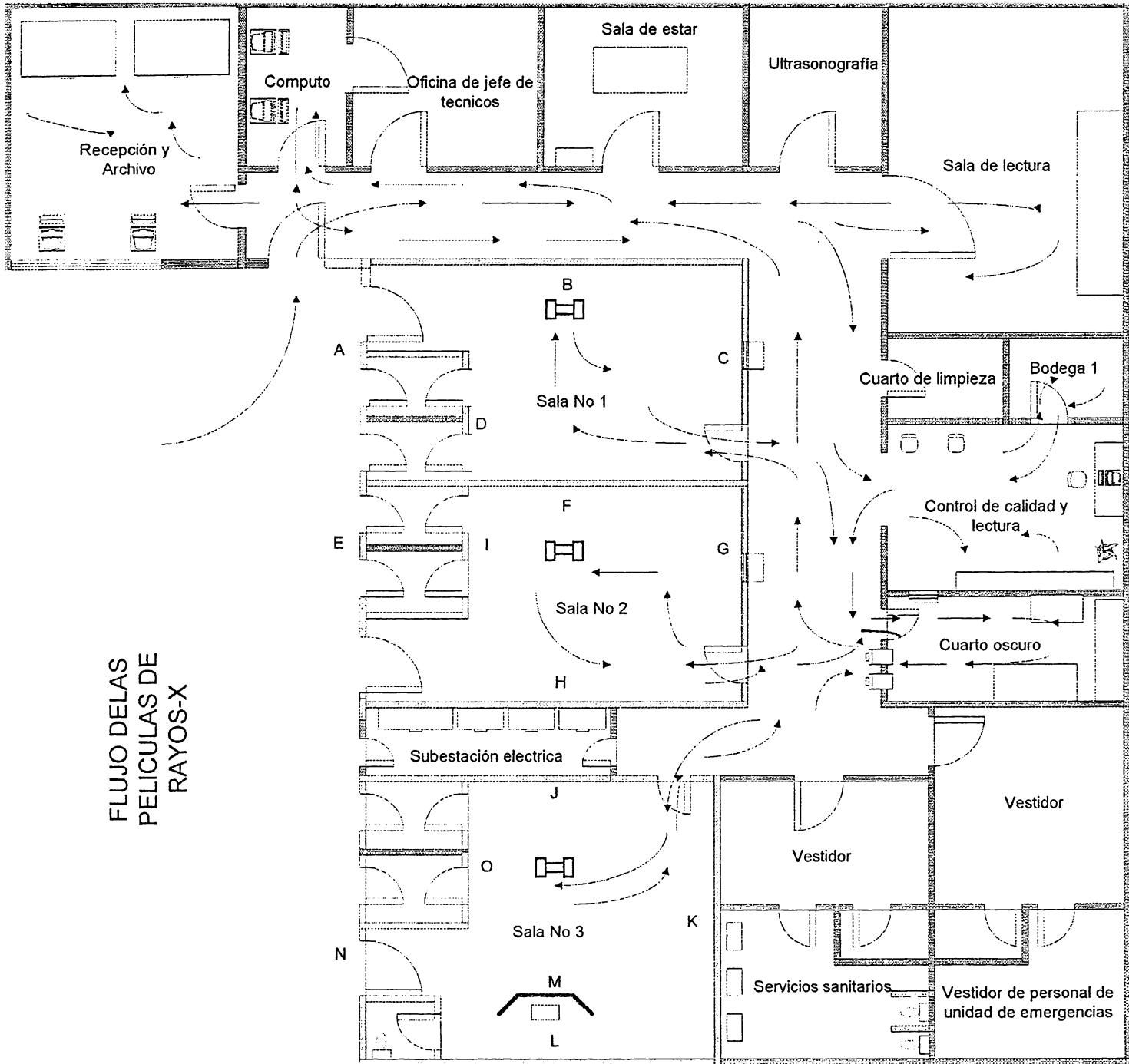




FLUJO DEL
PERSONAL
TECNICO DE
RAYOS-X

FLUJO DE LAS PELICULAS DE R-X

No	Actividad	Responsable			
		Médico Radiologo	Tecnico de cuarto oscuro	secretaria	técnico radiologo
1	Recibe las películas del almacen de insumos médicos		1	✓	
2	Almacena las películas en la bodega principal de Radiologia		2	✓	
3	Toma una caja de la bodega principal y la guarda en el mueble protector de cuarto oscuro		3	✓	
4	Carga las casetas para los exámenes y las colocarla en el mueble movil de almacenamiento # 1		4	✓	
5	Toma una caseta del mueble movil y procede a realizar el examen respectivo				5
6	Entrega la película expuesta al técnico de cuarto oscuro				5
7	Procesa la película expuesta		7		
8	Llega a sala de lectura y realiza un control de calidad visual, de la película procesada				8
9	Entrega la película a enfermera o médico, si es para Ortopedia, si no la entrega a recepción				9
10	Introduce los datos al sistema de computación y la entrega para lectura				10
11	Hace la lectura para Diagnóstico		11		
12	Recibe la película interpretada y digita su diagnostico en el sistema				12
13	Archiva la película		13		
			FIN		



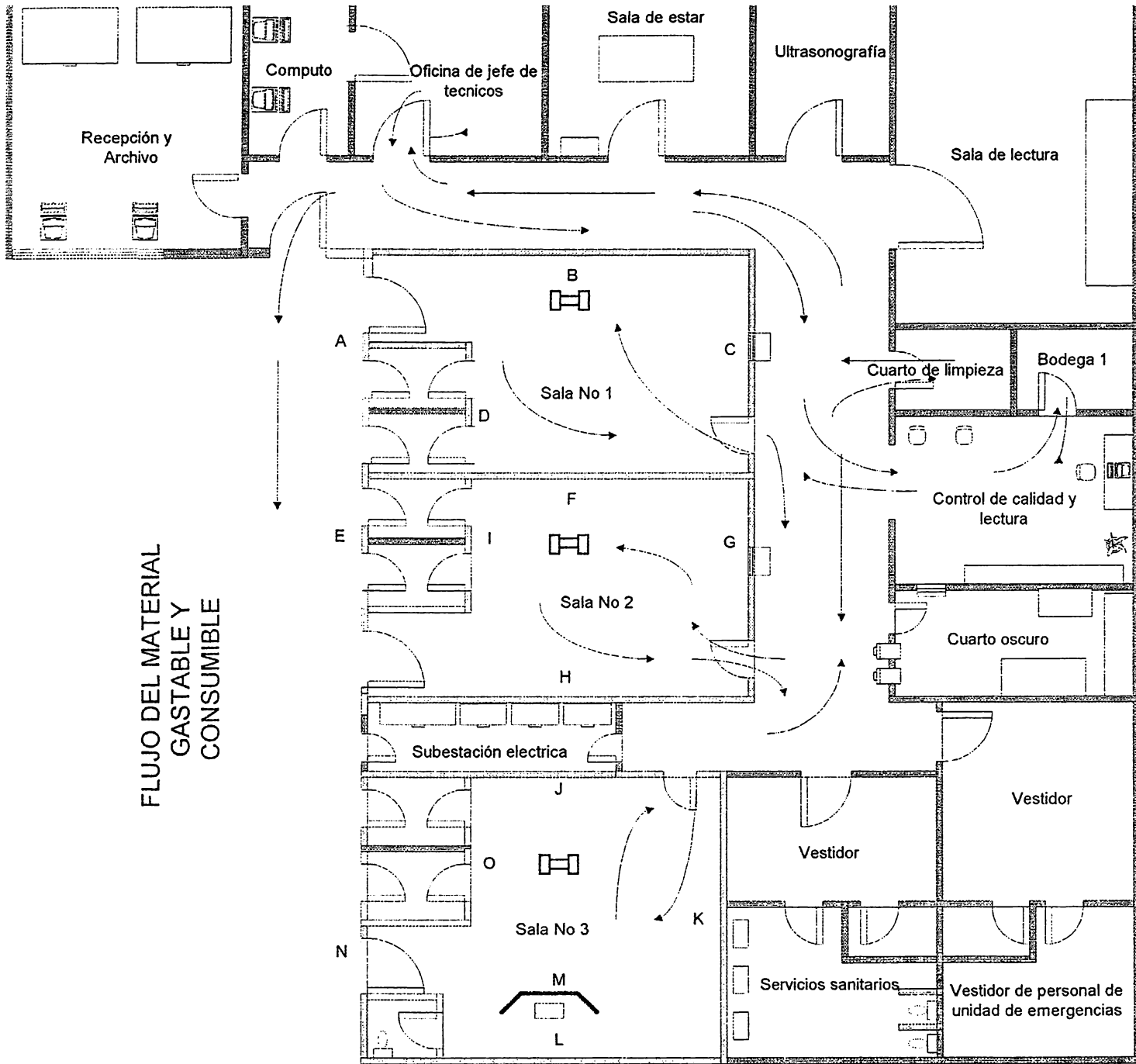
FLUJO DELAS
 PELICULAS DE
 RAYOS-X

**FLUJO DEL PERSONAL
OCASIONALMENTE
EXPUESTO**

No	Actividad	Responsable			
		Secretaria	enfermera o medico	familiar o encargado	técnico radiologo
1	Paga en colecturia si es el familiar o encargado. Nota: si proviene de consulta externa			1	
2	Acompaña al paciente al momento del exámen, en la sala de espera		2	2	
3	Sostiene al paciente, al momento del examen		3	3	
4	Saca al paciente de la sala y lo lleva a hospitalización o a consulta externa		4	4	
5	Llega a su lugar de trabajo Nota: puede ser recepción o computo	5			FIN
6	Utiliza el vestidor y servicio sanitario	6			
7	LLeva documentos y películas al jefe de técnicos o al radiólogo	6			FIN

**FLUJO DEL MATERIAL
GASTABLE Y
CONSUMIBLE**

No	Actividad	Responsable			
		Tecnico Radiologo	enfermera o medico	Encargado de Limpieza	Paciente
1	Solicita materiales como: medio de contraste, jeringas, esparadrapo, sedante, cateteres, torundas, algodón, sondas, etc. (según la necesidad) al jefe de técnicos	<pre> graph TD 1((1)) --> 2((2)) 2 -.-> 2 2 --> 3((3)) 3 --> 4((4)) 4 --> 5((5)) 5 --> FIN([FIN]) </pre>			
2	Prepara al paciente para el procedimiento con el material gastable				
3	Anota en el sistema computarizado el material utilizado en el procedimiento				
4	Limpia el área y botar el material gastable en los contenedores correspondientes (biopeligrosos y desecho no peligroso)				
5	Se lleva los desechos y los deposita en el contenedor				



FLUJO DEL MATERIAL
GASTABLE Y
CONSUMIBLE

4.2 DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE PLOMO EXISTENTES

Con el objeto de poder comparar, los espesores de plomo, a obtener por métodos de cálculo, con los existentes, en las instalaciones, de las salas de radiodiagnóstico del HNNBB, se procederá a realizar una evaluación de dichas infraestructuras, pero previo a esa actividad, es necesario mencionar lo siguiente:

El área de radiología, está ubicada en el sector norponiente del hospital, teniendo como servicios circunvecinos a los consultorios de cardiología, ecocardiografía, consulta externa; y los vestidores del personal del servicio de Emergencias. Además, radiología se ubica en la primera planta del hospital. Arriba de él, se encuentra el área de cuidados intensivos, por debajo, se ubica parte del área del servicio de Esterilización y parte de los cuartos fríos de la Cocina. En la figura 5, se presenta la planta arquitectónica general de la ubicación de radiología con respecto a los demás servicios.

Las instalaciones de radiología están diseñadas, en cuanto a la atención de los pacientes, en forma de "ELE", teniendo como accesos al público, la recepción y las tres entradas para pacientes en las salas de estudio de radiodiagnóstico.

En base a la inspección física realizada, se puede mencionar, que las salas de radiodiagnóstico, tienen las siguientes características, específicas con la radioprotección:

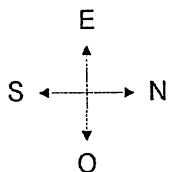
- (a) Ventanillas, para la observación de los pacientes, con vidrio plomado de espesor de 2 mm de equivalente de plomo, para observar a los pacientes, además de cortinas para dar privacidad a ciertos procedimientos o pacientes que por su edad las requieran.
- (b) La sala número tres, se utiliza para estudios con fluoroscopia y posee a diferencia de las otras dos, un biombo protector con un vidrio para la observación, con espesor equivalente a 2 mm de plomo. El biombo es de aluminio con un espesor equivalente a 2 mm de plomo; dicho biombo posee una altura desde el piso de 2.10 mts por 3.5 mts, con alas laterales, plegables.
- (c) Las tres salas poseen dos cuartos, con paredes de plomo, con espesor de 1 mm, para que los pacientes se cambien de ropa o para que los acompañantes se resguarden durante el estudio.
- (d) Las tres salas poseen puertas de acceso, con cerraduras automáticas, las cuales son controladas desde los paneles de control de cada sala; para impedir que cualquier persona del público, penetre sin aviso a las áreas de estudio, durante la exposición.
- (e) Las salas poseen un sistema de intercomunicación, para llamar y despachar a los pacientes, así como un sistema de comunicación interno entre la sala,

donde se encuentra el paciente, durante el examen, con el panel de control, donde se encuentra el operador (en la sala tres el panel de control esta dentro de la sala, por lo que no necesita de dicho sistema interno de comunicación).

- (f) Cada sala posee un toma empotrado de aire comprimido y un toma de oxígeno, para casos en que se necesiten (por ejemplo, un paciente que necesite de terapia respiratoria o que en el peor de los casos necesite de ventilación mecánica).
- (g) En cada sala existe un botón de emergencia, cuando se necesite eliminar la alimentación eléctrica, en casos de suma urgencia (por ejemplo un corto circuito).
- (h) En todas sus paredes, las tres salas están recubiertas, con plomo de 1 milímetro de espesor. El plomo se encuentra entre dos pliegos de fibrolit, con una altura desde el piso de 3.68 mts, mucho mas arriba del nivel donde se encuentra el cielo falso (2,5 mts). Las laminas de plomo se distribuyen sobre cada pared de la sala, traslapadas uniformemente, sin dejar espacios. Además sobre los clavos y tornillos utilizados en el blindaje, se colocaron retazos de plomo, adheridos con pegamento especial para evitar que por ahí se fugase la radiación. Las cajas de los tomas eléctricos, de los ductos de aire acondicionado, el cableado telefónico, los ductos de los gases médicos y las vigas de acero que se encuentran dentro de cada sala, se encuentran adecuadamente protegidas con plomo de un milímetro. El plafón del área de radiología tiene un espesor de 25 cm de concreto, con densidad de 2.35 gm/cm^3 , a una altura desde el piso de 3.6 mts, además el piso es de vinil, lavable.
- (i) Las puertas de acceso a público, de las salas 1, 2 y 3, así como las puertas de acceso al personal técnico, a las mismas salas de examen, están señalizadas con el símbolo internacional de radiación. Además las puertas de acceso a los pacientes, en las salas 1 y 3, están recubiertas de plomo de 1 milímetro de espesor, no así la puerta de la sala 2, la cual es solo de madera. También las puertas de los vestideros de la sala tres, están recubiertas con laminas de plomo de 1 milímetro, caso contrario, las puertas de los vestidores, de las salas uno y dos.

Para poder determinar el espesor del Plomo de las tres salas, se realizaron mediciones desde arriba del cielo falso. Las paredes en las áreas de acceso al público, se han considerado como barreras primarias, ya que las paredes de las salas uno y dos, poseen sistema potter bucky hacia dicha pared, todas las paredes de la sala 3, se consideran como barreras secundarias, pues el haz primario, solo apunta al piso. En la medición se utilizo un pie de rey, una regla milimétrica, una cinta métrica así como un sistema de iluminación para observar los detalles del blindaje. En la inspección se corroboró también el recubrimiento hecho, sobre los sistemas eléctricos, telefónicos y mecánicos.

FIGURA 5.- RELACION DE RADIOLOGÍA CON OTRAS ÁREAS



4.2.1 UBICACIÓN DE LOS EQUIPOS DENTRO DEL AREA DE RADIOLOGIA

Las salas de radiología, poseen diferentes modelos según se especifica a continuación:

# DE SALA	MARCA	MODELO	MODELO DEL EMISOR DE R-X	OTROS
UNO	SIEMENS	VERTIX U	BIANGULIX 150/30/51-100	Sistema Potter Bucky, con giro hacia la puerta de acceso de los pacientes
DOS	SIEMENS	MULTIX C	BIANGULIX 150/30/51-100	Sistema Potter Bucky, fijo, hacia la zona de los vestidores de los pacientes
TRES	SIEMENS	SIREGRAPH C	BIANGULIX 150/30/52R-100	Sistema de fluoroscopia con intensificador de imagen, con mesa basculante

A continuación se describen en las siguientes figuras, las ubicaciones de los emisores de rayos-x, según la sala, de manera que en la figura 6, representan las distancias desde el punto focal del tubo a las paredes, en la sala 1, teniendo en cuenta que son las distancias mínimas disponibles, donde las nomenclaturas d_{pri} indican que son distancias a barreras primarias y d_{sec} son distancias tomadas como barreras secundarias. Las letras de cada una, representan, la distinción que como barrera tendrán en la planta arquitectónica general.

En la figura 7, se observan las distancias mínimas posibles, en la sala 2, desde el emisor de rayos x a las paredes; la nomenclatura usada, representa lo mismo que en la sala anterior.

La figura 8, representa la vista de planta de la sala 3, donde las distancias representadas como d_{sec} , implican que serán tomadas como distancias para barreras secundarias

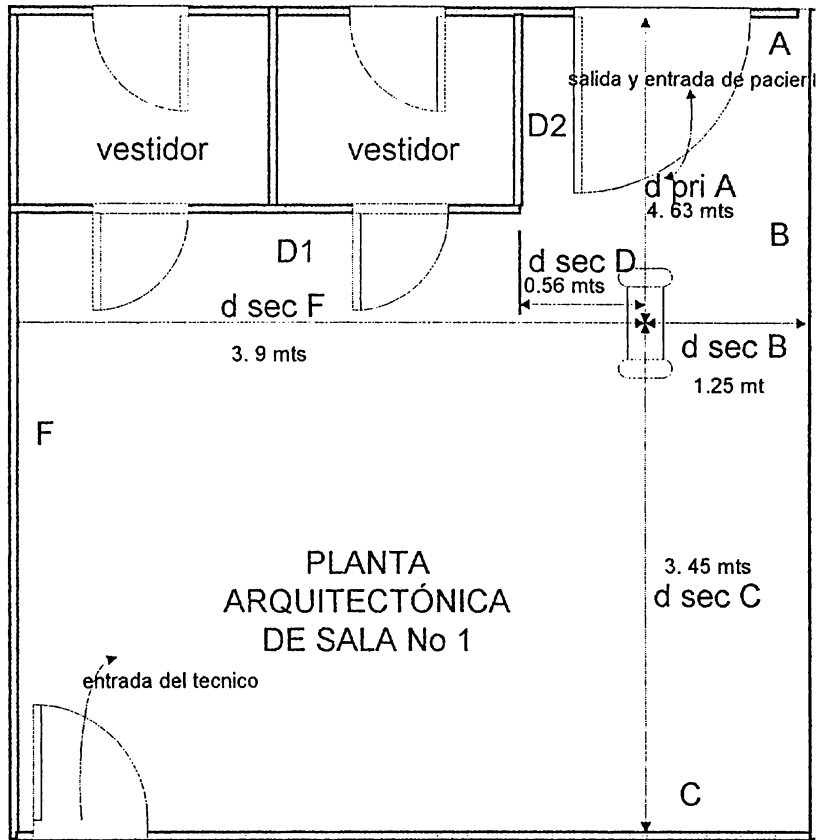


FIGURA 6.- SALA 1

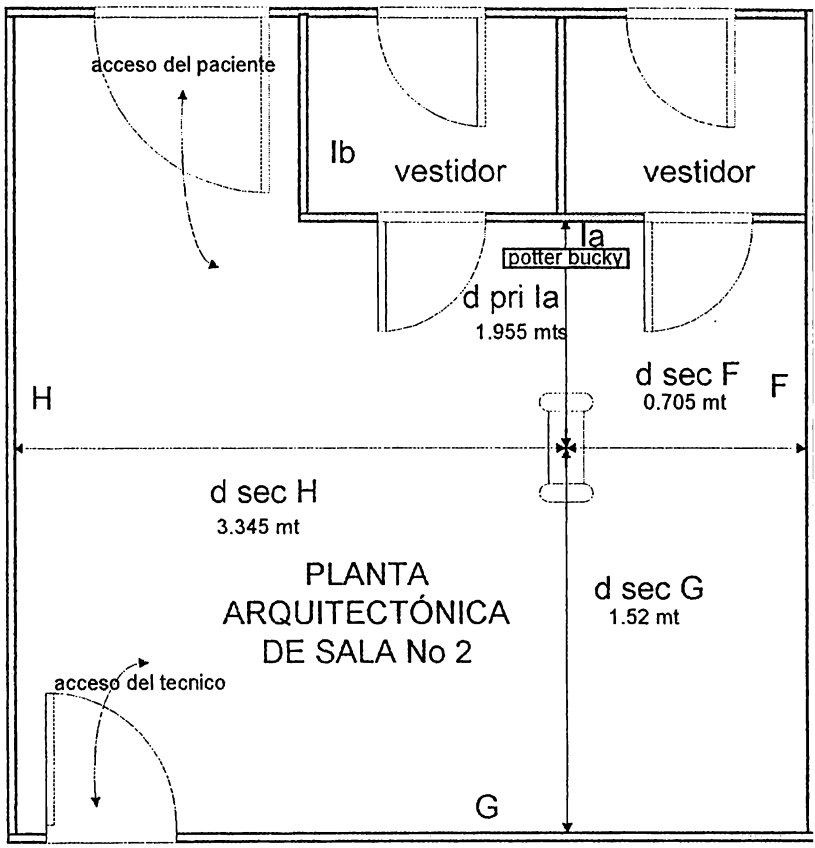


FIGURA 7.- SALA 2

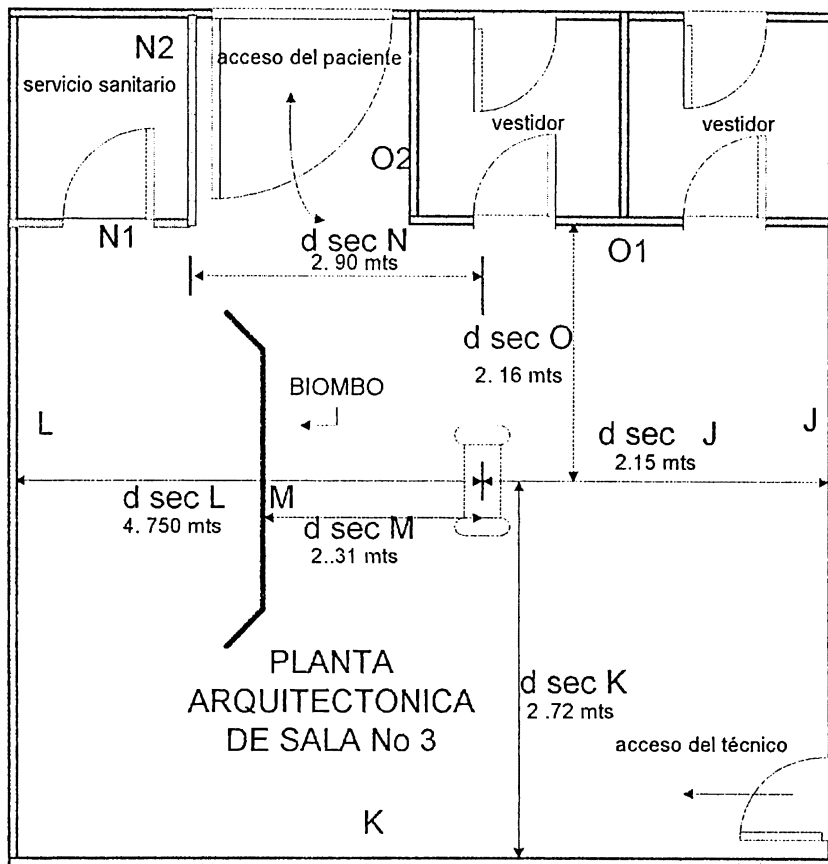


FIGURA 8.- SALA 3

4.3 DISEÑO DE BLINDAJES PARA SALAS DE RADIODIAGNOSTICO

En los siguientes párrafos, se explicaran los factores a considerar, al momento de diseñar la protección radiológica, para un servicio de radiología. Los puntos a tratar estar basados en la relación del tiempo, distancia y barreras, ya que son la base de la radioprotección, en general.

4.3.1 CRITERIOS EN EL DISEÑO DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA PARA RADIODIAGNÓSTICO

El principal objetivo de la protección radiológica es el de asegurar que las dosis recibidas por un individuo, sean lo mas baja posible, para cualquier circunstancia (excepto si la dosis es para el tratamiento médico de los pacientes), sin exceder el valor en vigencia de Máxima Dosis Permisible (MDP). Un objetivo secundario es el de prevenir daños o mal funcionamiento en películas e instrumentos sensibles a la radiación.

La protección radiológica tiene además la finalidad de proteger al individuo, a sus descendientes y a toda la especie humana en general. De manera práctica, sus objetivos son limitar la probabilidad de los efectos estocásticos aleatorios y prevenir que ocurran los efectos deterministas que son los que se producirán con seguridad, si se rebasa la dosis umbral.

Además existe una disciplina, que estudia la protección radiológica, tanto para las personas que trabajan en industrias relacionadas con la radiación, como para la población en general, denominada: "Física Sanitaria", dedicada a la investigación y enseñanza de la seguridad radiológica.

En protección radiológica, existen tres principios básicos, los cuales son:

1. Justificación: la realización de toda prueba radiológica debe esta justificada, es decir, que la exploración indicada contribuye al diagnóstico y manejo terapéutico del paciente, ya que el beneficio que éste recibe, supera el riesgo que conlleva la exploración.

2. Optimización: la optimización implica hacer que el beneficio sea el máximo, es decir una dosis baja para la realización de una exploración de radiodiagnóstico, con un mayor beneficio. Lo anterior se contempla en la aplicación del principio ALARA, en ingles: "As Low As Reasonably Achievable" o "Dosis tan bajas como razonablemente sea posible". También la optimización debe aplicarse en las instalaciones, donde debe realizarse en la fase de diseño y en la ejecución de toda operación con radiaciones.

3. Limitación de las dosis: es obligatorio limitar la dosis individual que recibe el personal profesionalmente expuesto (técnicos y radiólogos) como el público en general.

La limitación de la dosis recibida, se basa en la utilización de los siguientes métodos:

- a) Maximizando la distancia entre el individuo y la fuente de radiación.
- b) Minimizando el tiempo de exposición a la radiación.
- c) Interponiendo barreras de protección, para atenuar el valor de exposición a niveles aceptables, dentro de los límites establecidos.

a) MAXIMIZANDO LA DISTANCIA.

Conforme aumenta la distancia entre la fuente de radiación y el individuo, disminuye rápidamente la exposición a la radiación. Dicha disminución se calcula mediante la ley de la inversa de los cuadrados, donde la dosis disminuye proporcionalmente con el cuadrado de la distancia. De manera que si E_1 es el rango de exposición a una distancia d_1 y E_2 es el nivel de exposición a una distancia d_2 , donde la relación será:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

Las distancias son determinadas por la posición de la persona con respecto a la fuente. Usualmente la NCRP asume que un individuo estará al menos a 30 cm de una barrera, donde el público y personal técnico estarán situados detrás de la barrera protectora.

b) LIMITANDO EL TIEMPO DE EXPOSICIÓN

La dosis que recibe un individuo está directamente relacionada con la duración de la exposición, es decir el periodo durante el cual el individuo esta bajo un campo de radiación. Consecuentemente involucra el tiempo en que la fuente esta "encendida" y la fracción de tiempo en "encendido" durante la cual, el individuo esta en el campo de radiación.

La ecuación que define la relación del tiempo es:

$$\text{Dosis total} = (\text{tasa de exposición}) \times (\text{tiempo de exposición})$$

Por tanto, cuanto menor sea el tiempo de exposición, menor será la dosis recibida. Esto afecta tanto a los pacientes como al personal profesionalmente expuesto.

c) BARRERAS DE PROTECCIÓN.

Cuando no es suficiente el hecho de hacer disparos cortos y aumentar la distancia, entonces hay que recurrir a la interposición de barreras.

Una barrera es una estructura de alta capacidad de absorción, con un número atómico alto, que interpuesta entre la fuente de radiación y el personal ocupacionalmente expuesto, reduce el valor de la exposición a niveles aceptables dentro de los límites establecidos

Además existen otros factores que determinan el espesor de la barrera, según el nivel de exposición predeterminado; dichos factores son:

- (a) La calidad de la producción de radiación
- (b) La cantidad de radiación producida en un periodo de tiempo dado
- (c) La distancia desde el tubo de rayos-x al área de interés
- (d) El grado y naturaleza de ocupación del área
- (e) El tipo de área
- (f) El material a usar

Para radiodiagnóstico, los materiales más utilizados son el plomo (con número atómico de 82) y el concreto u hormigón.

Las barreras pueden ser primarias (interpuesta en el camino del haz principal o llamada radiación primaria) y secundarias (la que se interpone en el camino de la radiación dispersa y de fuga).

También las barreras pueden ser estructurales o fijas, que forman parte del edificio y pueden ser primarias o secundarias y barreras móviles o no estructurales, que no forman parte del edificio y solo son secundarias.

4.3.2 RADIACIÓN PRIMARIA

Radiación primaria es el haz útil, el cual tiene la radiación más intensa y por lo tanto la más peligrosa y frente a la que resulta más difícil protegerse. Cualquier pared sobre la que pueda ser dirigido directamente el haz primario, se considera como una "barrera protectora primaria"

El plomo se usa como barrera protectora y se comercializa en distintos espesores y los arquitectos y constructores, lo especifican en libras por pie cuadrado (lb/ft^2). Como se mencionó también se usa concreto o bloques de cemento o ladrillos, en vez de plomo. Como norma aproximada, se tiene que 4 pulgadas de mampostería, que comprenden materiales como el ladrillo, cemento, piedras; equivalen a 1/16

de pulgada de plomo. En la tabla 1, se muestran los espesores comerciales y las especificaciones en lb/pulgadas cuadradas, de las láminas de plomo y de ciertos espesores de concreto.

PLOMO

(mm)	(pulgadas)	(lb/ft ²)
0.4	3/64	1
0.8	1/32	2
1.2	3/64	3
1.6	1/36	4

CONCRETO

(cm)	(pulgadas)	(lb/ft ²)
2.4	1 ^{3/8}	1
4.8	1 ^{7/8}	2
7.2	2 ^{7/8}	3
9.6	3 ^{3/4}	4

TABLA 1.- EQUIVALENCIAS ENTRE PLOMO Y CONCRETO PARA BARRERAS PROTECTORAS PRIMARIAS

Además existen otras barreras primarias, tales como: diafragmas del colimador del tubo, paredes hacia donde se dirige el haz, el suelo que esta debajo de la mesa de exploración, los protectores gonadales que se colocan a los pacientes.

4.3.3 RADIACIÓN SECUNDARIA

Existen dos tipos de radiaciones secundarias, la radiación dispersa y la radiación de fuga. La dispersa se produce cuando el haz primario choca con un objeto, de forma que algunos de los rayos se dispersa. Desde el punto de vista de diseño de protecciones, el objeto que produce la dispersión se debe considerar como una nueva fuente de radiación. Durante la radiografía y la fluoroscopia, el paciente es el principal productor de la radiación dispersa.

La cantidad y energía de la radiación dispersa depende de los siguientes factores:

1. Rango de exposición incidente
2. Área seccional del rayo en un objeto irradiado
3. Absorción de parte del objeto

4. Angulo de dispersión

5. Voltaje de operación del ánodo de la maquina

La radiación de fuga es la emitida por el tubo de rayos-x, saliendo por la carcasa que contiene al tubo, es decir es la radiación que sale en cualquier otra dirección que no sea la del haz útil. Si la carcasa esta bien diseñada, la radiación de fuga nunca sobre pasará el límite máximo permitido, que para propósitos de diseño es de 100 mR/hora a 1 metro, bajo normas internacionales, para los fabricantes y reglamentadas por organismos como la IEC (Comisión Internacional de Electricidad) o la CSA (Asociación de Estándares Canadienses), por mencionar algunos.

Para reducir la radiación de fuga del tubo, hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

1. El tipo de carcasa del tubo (diagnostico o terapia)
2. El potencial de operación del tubo
3. El tiempo semanal de operación del tubo
4. La distancia desde el tubo al área ocupada
5. La naturaleza o grado de ocupación
6. La exposición permisible por semana.

En la figura 9 se muestran los factores físicos en una barrera, la fuente en A, rodeada por una coraza protectora, emite un rayo de radiación x o gamma, dirigida al paciente M, este rayo es atenuado al pasar a través del paciente; y es usualmente reducido mucho mas, con la barrera protectora primaria, antes de irradiar a una persona en la posición C, a una distancia d_{pri} de la fuente de radiación.

La radiación de fuga desde la coraza protectora y la radiación dispersa del paciente, es atenuada por la barrera protectora secundaria, antes de irradiar personas en la posición E, a una distancia de d_{sec} de la fuente y de el paciente. Radiación dispersa de la barrera de protección primaria, puede también aparecer en la posición E. Sin embargo la radiación dispersa del paciente es usualmente más significativa que la radiación dispersa de la barrera primaria.

Los cuartos donde esta situada la consola de control suelen tener una barrera protectora secundaria, ya que no es admisible el hecho de dirigir el haz primario contra la consola.

Barreras secundarias, son por ejemplo: mamparas de protección del operador de una sala, mandiles, guantes de plomo, cualquier puerta o pared que no reciba el haz primario.

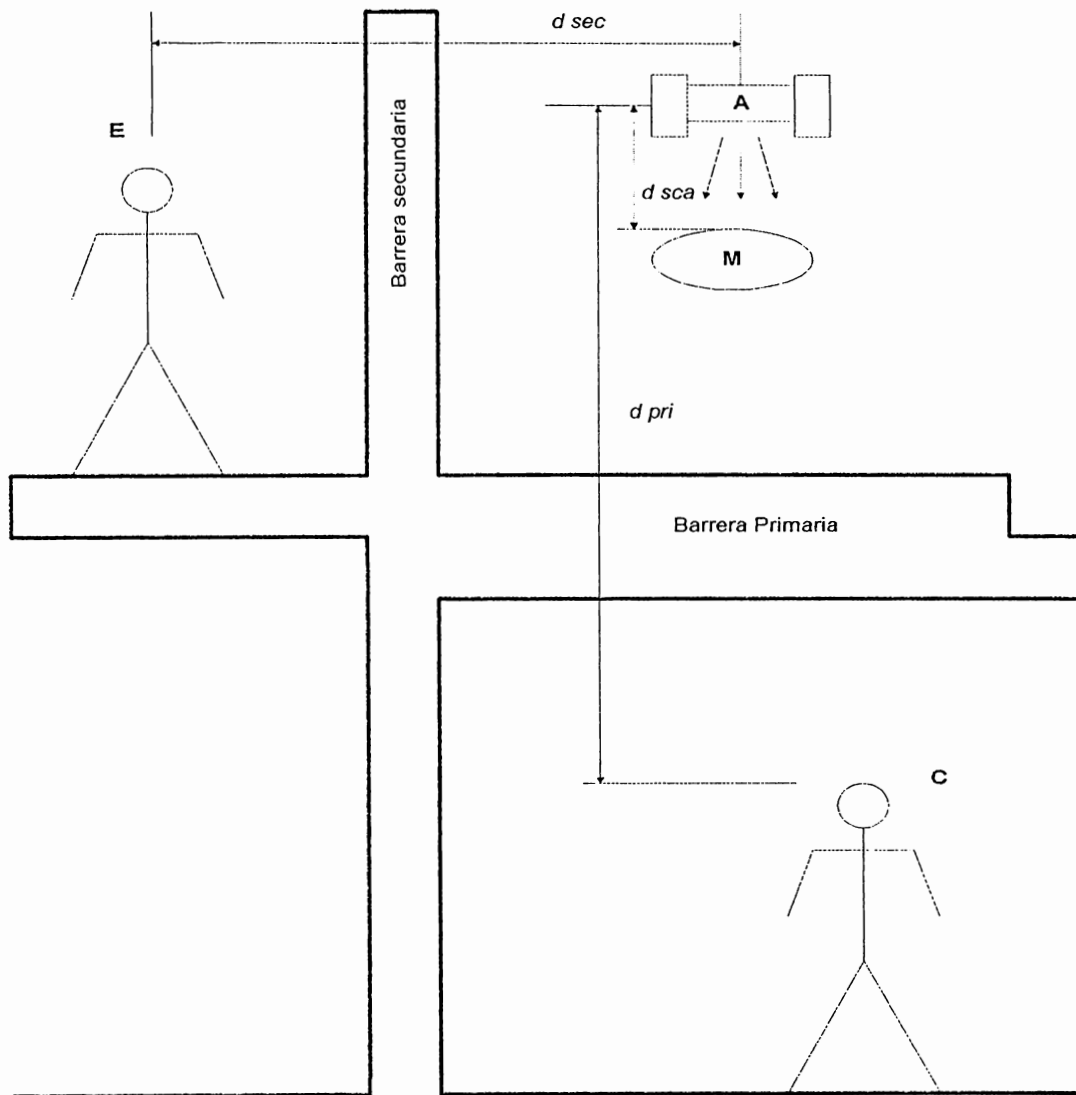


FIGURA 9.- FACTORES FISICOS EN LAS BARRERAS

4.4 FACTORES QUE AFECTAN EL GROSOR DE LAS BARRERAS

Al calcular el espesor de las barreras protectoras, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- A. El grosor de la barrera depende, como ya se menciona, de la distancia, entre la fuente de radiación y la barrera. La distancia a considerar es la comprendida hasta la zona donde se encuentren personas y no hasta la pared interior de la sala de rayos-x. Una pared que se encuentre, contra la salida del emisor de rayos-x necesitara más blindaje, que las restantes paredes de la sala. En esos casos, la radiación dispersa puede ser más peligrosa que la radiación de fugas e incluso que el haz primario, debido al posible rebote del haz con dicha pared. Por ello es aconsejable colocar en la mitad del área de la sala, el equipo de rayos-x, para que ninguna pared en particular se vea sometida a un nivel de radiación elevado.
- B. El uso al que se destina la zona que se va a proteger, tiene mucha importancia. Si la zona a proteger es un cuarto de baño o una bodega, rara vez ocupada, la protección será menor que si se tratara de una oficina o departamento, ocupado 40 horas a la semana. Esto se refleja en el factor de tiempo de ocupación (T). A continuación se describen los niveles de ocupación de diversas áreas para personas no ocupacionalmente expuestas, sugeridas por el reporte No 49 de la NCRP.

OCUPACIÓN LLENA (T=1)

Zonas de trabajo tales como: oficinas, laboratorios, tiendas, salas, controles de enfermería; zonas de juego niños, zonas ocupadas de edificios adyacentes.

OCUPACIÓN PARCIAL (T=1/4)

Corredores, salas de descanso, ascensores con ascensorista, zonas de estacionamiento sin vigilancia.

OCUPACIÓN OCASIONAL (T=1/16)

Salas de espera, servicios sanitarios, escaleras, ascensores sin ascensorista, servicios de portería, zonas exteriores para tráfico vehicular.

Además es importante clasificar los lugares de trabajo en función del riesgo de exposición, como:

"Zona controlada", la cual es ocupada por el personal que trabaja con radiaciones, es aquella área donde el límite de dosis es el dado por la MDP, para el personal ocupacionalmente expuesto.

"Zona supervisada" o **"Zona no controlada"**, lugar donde se encuentra cualquier tipo de persona, es decir, aquella zona donde es posible recibir la MDP, para miembros del público.

- C. El blindaje necesario de una sala de radiodiagnóstico, depende del nivel de actividad de la misma. Cuanto mayor sea el número de exámenes semanales

que se realicen, mayor será el grosor del blindaje necesario. Esta característica se denomina "Carga de Trabajo" (W) y se mide en miliamperios minuto por semana (mAs-min /semana). Si en una sala se llevan a cabo exámenes radiográficos y también fluoroscópicos, para calcular la barrera, solo se suele tener en cuenta la carga producida por los exámenes radiográficos, pues cuando se conecta el tubo de rayos-x para fluoroscopia, la exposición producida es sumamente baja (por ejemplo (1.5 mA y 77 Kvp), lo que en consecuencia hace que las barreras protectoras necesarias, en caso de haces de fluoroscopia, siempre son mucho menores que en el caso de haces para radiografía.

- D. El porcentaje de tiempo durante el cual el haz de rayos-x está conectado y dirigido hacia una determinada pared, se denomina: "Factor de Utilización" (U) de dicha pared. En la tabla 2 se observan los factores recomendados por la NCRP, en su reporte No 49. Muchos físicos médicos, consideran que las barreras no existen, debido a que el haz útil siempre choca con el paciente y con el receptor de la imagen (Caseta con película, intensificador de Imagen, detectores, etc.), por lo cual todas las barreras protectoras son consideradas como secundarias, bajo este punto de vista. Las salas de rayos-x con diseño especial, son asignadas con factores de utilización distintos, por ejemplo, una sala especialmente diseñada para radiografía de tórax, tendrá una pared con un factor de utilización de uno. El resto de las paredes, tendrán un factor de utilización menor a uno, para la radiación secundaria. El techo siempre suele considerarse como barrera protectora secundaria. En la mayoría de los casos en instalaciones para radiografía convencional (con mesa y sistema de exposición mural), el factor de uso para una barrera secundaria, siempre es uno, debido a que la radiación dispersa y de fugas, siempre se considera del 100%, cuando el tubo de rayos-x esta conectado.

Instalación Radiográfica	Factor de Utilización
Piso	1
Paredes	1 ó 1/4
Techo	Depende de la Barrera secundaria

TABLA 2- FACTORES DE UTILIZACIÓN PARA BARRERA PRIMARIA

- E. Otro factor es la penetración del haz de rayos-x. En la realización de cálculos de protección, se utiliza como medida de penetración, la tensión pico. Los equipos actualmente fabricados, están diseñados para funcionar a una tensión pico de hasta 150 Kvp. A pesar de ello, la mayoría de exámenes se realizan a una técnica estándar de 75 Kvp. Por lo que es más probable que la barrera protectora sea mucho más gruesa que la diseñada para la tensión pico.

En la realización de cálculos reales, se sugiere registrar durante al menos una semana, los valores de tensión pico, mAs y dirección del haz primario.

En las recomendaciones anteriores, no se incluyen las siguientes condiciones de exposición:

1. Radiación natural
 2. Procedimientos dentales-médicos (rayos-x de diagnóstico)
 3. Dispositivos hechos por el hombre, fuera del ambiente ocupacional (ejemplo: Televisores, Iluminación de carátulas de relojes).
- F. Otro factor importante y para algunos métodos, concluyente, es la cantidad de exposición a un metro de distancia, expresado en R/mA min a un metro. En el caso de uno de los métodos de cálculo a emplear más adelante, este valor será obtenido y expresado como k_{ux} , en otros casos, se expresa con la letra E . Este parámetro a un metro, también se utiliza para cuantificar el nivel de radiación permisible de fuga, en un tubo de rayos-x. También se utiliza este nivel de exposición, como una unidad de comparación, donde por cálculos matemáticos se elaboran tablas para diferentes niveles de Kilovoltaje, o para la elaboración de gráficas, utilizadas para el diseño del espesor de las barreras de protección.
- G. En la determinación del espesor de una barrera, es importante tomar en cuenta el valor de la carga de trabajo, dato que si se toma de tablas precalculadas, no resulta difícil de conseguir, pero si se desea obtener un dato real, es necesaria la aplicación de métodos experimentales. A continuación se describen ambos casos.

4.5 DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE TRABAJO REAL Y TEÓRICA

En esta sección se presentan los datos a utilizar, para determinar de manera experimental, lo que se llamara "Carga de trabajo real", la cual se basa, en información como: la cantidad de exámenes hechos en un año, la distribución por sala, la técnica estándar utilizada, según el tipo de examen, además del número de semanas que trabajan los técnicos en radiología. De la relación de los datos anteriores se obtiene el valor presentado como "Carga de trabajo real".

A través de tablas, precalculadas, según el voltaje del emisor de rayos-x, se puede obtener una carga de trabajo la cual se llamará: "Carga de trabajo teórica", la que facilita, en los diseños a implementar, el cálculo de dicha carga, pero posee el inconveniente de poder estar por debajo, del valor real, a continuación se definen los conceptos principales, sobre la carga de trabajo.

Para calcular el blindaje a utilizar en la protección radiológica, es necesario conocer la "carga de trabajo" (W), definida como la cantidad de rayos-x o rayos gamma generados por semana (por convenio internacional), esta se obtiene

multiplicando la corriente del tubo en miliamperios (mA) con el tiempo en minutos, de exposición por semana (mA x min /semana).

En los equipos de rayos-x, que operan debajo de 4 Megavoltios, la carga de trabajo semanal, se expresa en miliamperios minutos. Para fuentes de rayos-x y rayos gamma arriba de 4 Megavoltios, la carga se denomina en términos de la exposición semanal, del haz útil de radiación a un metro de la fuente y es expresada en roentgens por metro.

4.5.1 CARGA DE TRABAJO EXPERIMENTAL O REAL.

La base de datos presentada, contiene información proporcionada por el servicio de radiología del HNNBB.

La información proporcionada, abarca los tipos de estudio realizados, las técnicas estándar utilizadas y la sala donde se realizan los respectivos exámenes.

El porcentaje de uso de una sala determinada, se determinó, con ayuda de un contador de exposiciones interno en el panel de control de los equipos de rayos-x, utilizando la cantidad de exposiciones en un determinado intervalo de tiempo. De este arreglo se llegó a la conclusión, de que la sala uno se utiliza un 35%, la sala dos el 65%, lo que se detalla posteriormente; para la sala tres, no necesita de ninguna relación, pues los exámenes hechos en ella, son exclusivos de dicha área.

Para calcular la carga de trabajo con fluoroscopia, se utilizó un contador de minutos interno, que posee el panel de control de la sala con fluoroscopia, tomando un dato estándar de un periodo muestral de un año, donde el valor promedio mensual, de tiempo es de 300 minutos; la cantidad estándar de miliamperios es de 1.5 mA, con 77 Kvp, valor dado, automáticamente por el equipo, normalmente usado en los pacientes del HNNBB (siendo el máximo valor 2.8 mA a 110 Kvp). Por lo tanto los mA minuto/ mensuales son 300×1.5 mA, o 450 mA min/mensual, su equivalente anual, será ese valor multiplicado por 12, es decir 5400 mA min/anual.

En las tablas 3, 4 y 5, se especifican, por sala, el tipo de estudio, la cantidad de exámenes, los miliamperios-segundo (mAs) utilizados por examen, de manera estándar y el producto de la cantidad de exámenes por los mAs, durante un año.

Para la sala tres se presenta el estándar de mAs, producidos en un mes, de fluoroscopia.

Por falta de información administrativa, se ha procedido a determinar un promedio estándar de mAs infantil, proporcionado por los técnicos de radiología. Además el porcentaje de la frecuencia de uso, de las salas uno y dos, se obtuvo mediante la

información proporcionada por el contador de exposiciones, donde en el periodo muestral se observo, que la cantidad promedio de la sala uno es de 1000 disparos mensuales y para la sala dos un promedio de 3500 disparos mensuales, donde por regla de tres simple se obtiene el cálculo:

$$\begin{array}{r} 4500 \text{ ----- } 100 \% \\ 1000 \text{ ----- } x \% \end{array}$$

asi se obtiene una proporción del 35 % para la sala uno y un 65 % para la sala dos; en la sala tres no existe ese problema, pues esta no comparte estudios con las otras, debido a que en ella se hacen exámenes muy distintos con las otras dos salas.

En el cálculo se tomaron en cuenta, los mAs anuales, dados por el producto de los mAs estándar por estudio y la cantidad de exámenes hechos en un año, relacionándolos con el número de semanas trabajadas en un año. Asi la relación se expresa:

$$((\# \text{ exámenes } \times \text{ mAs estándar}) / \text{ un año}) \times (\text{ un año } / \# \text{ semanas trabajadas}) = \text{ mAs } / \text{ semana}$$

Para convertir los mAs en mA minuto solo, se dividen por 60 los mAs, dato presentado en las tablas 3, 4 y 5, sobre las salas 1, 2 y 3.

Para poder obtener las semanas laboradas, se toman como referencia, las 52 semanas del año restándose de ellas los siguientes días no trabajados, de acuerdo al plan de trabajo del HNNBB, asi:

- 52 semanas (en un año)
- 2 semanas de vacación anual

Total: 50 semanas laboradas

Donde la carga de trabajo real por sala resulta:

SALA # 1: 4888.6616 mA minuto/ anual x 1 año / 50 semanas laboradas

Carga de trabajo de 97.773 mA minuto/semana

SALA # 2: 8969.7166 mA minuto/ anual x 1 año / 50 semanas laboradas

Carga de trabajo de 179.394 mA minuto/semana

SALA # 3: 5799.377 mA minuto/ anual x 1 año / 50 semanas laboradas

Carga de trabajo de 115.987 mA minuto/semana

4.5.2 CARGA DE TRABAJO TEÓRICA

Para la determinación teórica, se tomó del reporte de la NCRP numero 49, mostrada en la tabla 6; donde para ello se necesita saber las características del tubo de la instalación. Para el caso del HNNBB, en las 3 salas hay tubos con los datos de placa siguientes:

a) Datos Técnicos de los emisores de las salas uno y dos

Especificaciones:

Modelo: BIANGULIX 150/30/51-100

Voltaje Nominal: 150 Kv

Focos: Fino de 1.2 mm y Grueso de 2 mm

Potencia Nominal: 30 Kw (foco fino) y 50 Kw (foco grueso)

Angulo del ánodo: foco fino 17.5° foco grueso 16°

Material del ánodo: Tungsteno Renio, con mezcla de Molibdeno

Capacidad térmica del ánodo: 190, 000 J o 260, 000 Unidades de Calor

Disipación de calor del ánodo: 30, 000 J/minuto

Rotación del ánodo: 2,800 a 3400 RPM

Radiación de fuga: menor a 0.8 mSv/hora

Temperatura de transporte y almacenamiento: -20 °C +70 °C

Conexión de alta tensión: 3 polos positivos y negativos

En la tabla utilizada, se obtiene una carga de trabajo de 200, para radiografías en general, para las salas uno y dos; de 150 para procedimientos especiales como es el caso de la sala tres, la cual posee intensificador de imagen.

DIAGNÖSTICO	100 Kv	125 Kv	150 Kv
Tórax pequeño, con foto temporizador, con grilla	100	-	-
Tórax grande, 3 placas por paciente, sin grilla	150	-	-
Cistoscopia	600	-	-
Fluoroscopia con seriador	1,500	600	300
Fluoroscopia sin seriador	1,000	400	200
Fluoroscopia con intensificador de imagen y seriador	750	300	150
Radiografía general	1,000	400	200

TABLA 6.- CARGA DE TRABAJO TIPICA PARA INSTALACIONES MUY UTILIZADAS (NCRP reporte No 49)

TABLA 3. CARGA DE TRABAJO ANUAL DE LA SALA # 1

TIPO DE EXAMEN	CANTIDAD DE EXAMENES	mAs ESTANDAR	examenes*mAs
abdomen	1579	12.5	19737.5
ambas manos	25	2	50
ambas piernas	14	3.5	49
ambas muñecas	3	2.5	7.5
ambas rodillas	55	3.5	192.5
ambos antebrazos	13	2.5	32.5
ambos codos	5	2.5	12.5
ambos muslos	10	3.5	35
ambos pies	89	2.5	222.5
ambos tobillos	8	3.5	28
antebrazo	1225	2.5	3062.5
articulación temporomandibular	2	10	20
brazo humero	150	2.5	375
cadera	325	8	2600
calcaneo	10	2.5	25
cara	36	12.5	450
cavum	1405	4	5620
clavicula	47	6.4	300.8
codo	986	2.5	2465
columna cervical	115	6.4	736
columna dorsal	25	20	500
columna dorso lumbar	89	12.5	1112.5
columna lumbar	64	12.5	800
columna lumbo-sacra	88	12.5	1100
columna sacra	7	12.5	87.5
columna vertebral total	65	20	1300
costillas	6	10	60
craneo	3189	10	31890
craneo (towne)	4	10	40
cuello	633	5	3165
escapula	7	5	35
hombro	266	6.4	1702.4
huesos largos	132	2.5	330
huesos propios de la nariz	343	12.5	4287.5
humero	48	2.5	120
mandibula	84	8	672
mano	935	2.5	2337.5
mastoides	48	10	480
maxilar inferior	20	8	160
maxilar superior	17	12.5	212.5
miembros inferiores	34	3.5	119
miembros superiores	22	3.5	77
muslo-femur	476	3.5	1666
muñeca	252	2.5	630
nasal	5	2.5	12.5
orbitas	169	12.5	2112.5
p.e.v.	1135	10	11350
pelvis	781	10	7810
pie	407	2.5	1017.5
pierna	462	3.5	1617
rodilla	435	3.5	1522.5
rotula	1	2.5	2.5
senos maxilares	4	12.5	50

TABLA 3. CARGA DE TRABAJO ANUAL DE LA SALA # 1

senos paranasales	978	12.5	12225
serie abdominal	774	10	7740
tobillo	365	3.5	1277.5
toracoabdominal	1367	6.4	8748.8
torax	21448	6.4	137267.2
torax lateral	18	8	144
transito intestinal	42	10	420
waters	885	12.5	11062.5
wangenstein rice	7	5	35
		total mAs anual	293319.7
		total mA minuto anual	4888.6616

En la tabla se muestra, en la columna 1, los tipos de exámenes hechos en la sala 1, en la columna 2 esta la cantidad anual de dichos exámenes, en la columna 3, están los mAs estándar utilizados cotidianamente y en la columna 4, está el producto de los mAs y la cantidad de los exámenes, al final de ella, está la sumatoria, que representa los mAs anuales, los que se dividen por 60, para obtener los mA minuto en un año.

TABLA 4.- CARGA DE TRABAJO ANUAL DE SALA # 2

TIPO DE EXAMEN	CANTIDAD DE EXAMENES	mAs ESTANDAR	# examenes*mAs
abdomen	2931	12.5	36637.5
ambas manos	46	2	92
ambas piernas	27	3.5	94.5
ambas muñecas	5	2.5	12.5
ambas rodillas	101	3.5	353.5
ambos antebrazos	25	2.5	62.5
ambos codos	9	2.5	22.5
ambos muslos	19	3.5	66.5
ambos pies	165	2.5	412.5
ambos tobillos	15	3.5	52.5
antebrazo	2275	2.5	5687.5
articulación temporomandibular	4	10	40
brazo humero	278	2.5	695
cadera	605	8	4840
calcaneo	18	2.5	45
cara	66	12.5	825
cavum	2609	4	10436
cistouretrograma	1329	10	13290
clavicula	88	6.4	563.2
coanas	32	2.5	80
codo	1832	2.5	4580
columna cervical	212	6.4	1356.8
columna dorsal	47	20	940
columna dorso lumbar	166	12.5	2075
columna lumbar	120	12.5	1500
columna lumbo-sacra	162	12.5	2025
columna sacra	12	12.5	150
columna vertebral total	121	20	2420
costillas	12	10	120
craneo	5923	10	59230
craneo (towne)	8	10	80
cuello	1175	5	5875
esternon	6	5	30
escapula	13	5	65
hombro	495	6.4	3168
huesos largos	244	2.5	610
huesos propios de la nariz	638	12.5	7975
humero	88	2.5	220
mandibula	156	8	1248
mano	1737	2.5	4342.5
mastoides	88	10	880
maxilar inferior	37	8	296
maxilar superior	31	12.5	387.5
miembros inferiores	64	3.5	224
miembros superiores	40	3.5	140
muslo-femur	883	3.5	3090.5
muñeca	469	2.5	1172.5
nasal	8	2.5	20
orbitas	313	12.5	3912.5
pelvis	1451	10	14510
pie	755	2.5	1887.5
pierna	859	3.5	3006.5
rodilla	809	3.5	2831.5

TABLA 4.- CARGA DE TRABAJO ANUAL DE SALA # 2

rotula	1	2.5	2.5
senos maxilares	8	12.5	100
senos paranasales	1817	12.5	22712.5
serie abdominal	1438	10	14380
serie para cuerpo extraño en br	157	6.4	1004.8
silla turca	15	8	120
tobillo	678	3.5	2373
toracoabdominal	2540	6.4	16256
torax	39831	6.4	254918.4
torax lateral	32	8	256
transito intestinal	78	10	780
waters	1643	12.5	20537.5
wangenstein rice	13	5	65
		Total mAs anual	538182.7
		Total mA minuto anual	8969.7116

En esta tabla, se tienen los tipos de exámenes hechos en la sala 2 hechos en un año, en la columna 2 están las cantidades de los exámenes hechos, según el tipo, en la columna 3 están los mAs estándar, utilizados y en la columna 4, está el producto de los mAs con los exámenes. Al final de dicha columna, está la sumatoria de dicho producto, para obtener los mAs anuales. Luego se divide por 60 para obtener los mA minuto en un año

TABLA 5.- CARGA DE TRABAJO ANUAL EN SALA # 3

TIPO DE EXAMEN	CANTIDAD DE EXAMENES	MAS ESTÁNDAR	# exámenes*MAS
arteriografía cerebral	66	12.5	825
arteriografía de miembro superior	3	5	15
arteriografía de miembro inferior	4	6.4	25.6
cateterismo cardiaco	62	12	744
colangiograma	22	12.5	275
colograma	44	10	440
enema baritado	311	16	4976
esofagograma	406	12.5	5075
fistulograma	32	10	320
flebograma	11	5	55
genitograma	14	10	140
mielografía	3	10	30
nefrostograma	22	12.5	275
parotidas	8	8	64
pieolograma retrogrado	22	12.5	275
sialografía	15	6.4	96
t.d.s.	798	12.5	9975
tomografía lineal	10	12.5	125
uretrograma	5	8	40
venocavograma	12	16	192
		Total de MAS anual	23962.6
		Total MA minuto anual	399.376
	MINUTOS DE FLUORO	mA estándar	mA minuto anual
Fluoroscopia	3600	1.5	5400
		Total de mA minuto anual	
		de fluoroscopia y radiodiag.	5799.376

En la tabla se encuentran los tipos de exámenes especiales, hechos en la sala 3, durante un año, la parte superior de la tabla, contiene, las cantidades de los exámenes hechos, en la columna 3 están los mAs estándar utilizados y en la cuarta columna está el producto de los mAs y el número de exámenes, luego se efectúa la sumatoria de dicha columna: En la parte inferior de la tabla, se muestran los minutos promedio de fluoroscopia anuales, luego se muestra en la columna 3, los mA estándar utilizados, en la columna 4, se observa el producto de los mA por los minutos de fluoroscopia, para que al final de dicha columna, se obtenga la sumatoria total de los mA minuto de fluoroscopia y los mA minuto de radiodiagnostico, en un año, totalizados al final de la tabla.

4.6 DATOS SOBRE LAS CARGAS DE TRABAJO A UTILIZAR EN LOS CÁLCULOS A REALIZAR.

Como ya se mencionó, carga de trabajo es la cantidad de exposición semanal, expresada en mA min/semana.

En los cálculos a realizar, es importante el valor de carga de trabajo (W), pues determinará, de gran manera, el espesor de la barrera, primaria o secundaria.

La base de datos creada en la determinación experimental de la carga de trabajo del Hospital Bloom, servirá en los cálculos de las barreras, para una carga de trabajo experimental, de donde se elaborará un protocolo para su determinación.

Los valores obtenidos, con los datos de mAs estándar utilizado, por examen, así como la cantidad de estos, dan como resultado las siguientes cargas de trabajo experimentales:

Número de sala	Carga de trabajo anual (mA min/año)	Carga de trabajo semanal (mA min/semana)
Sala 1	4888.66	97.8
Sala 2	8969.71	179.4
Sala 3	5799.376	115.9

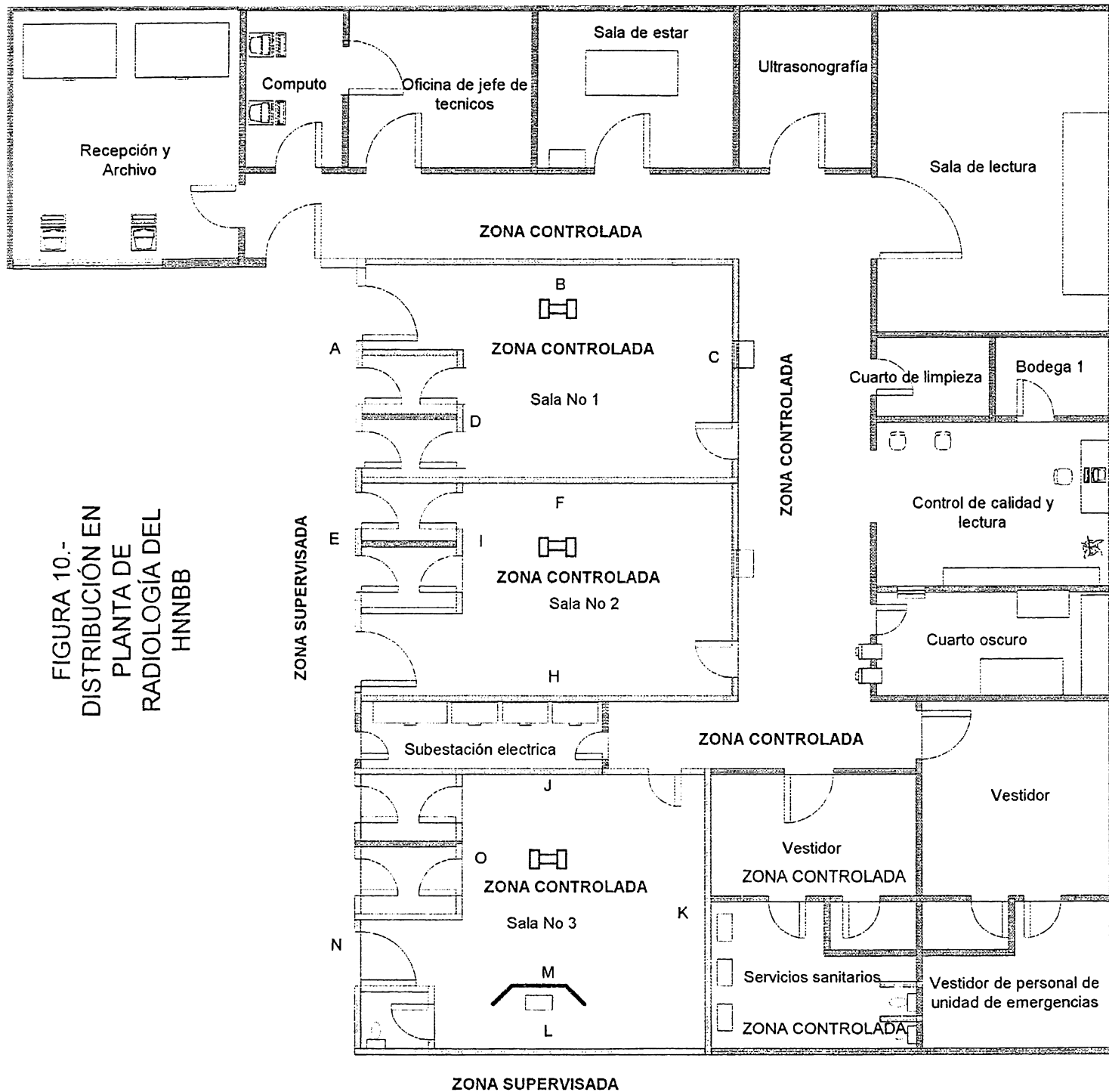
La otra carga de trabajo a utilizar, proviene de tablas, experimentales, elaboradas por instituciones que investigan, acerca de la protección radiológica. En este trabajo, se utilizarán los datos sugeridos por la NCRP en el reporte No 49, donde los valores utilizados, según datos de placa, son:

Numero de sala	Carga de trabajo típica, para emisores de 150 Kvp	Tipo de examen realizado
Sala 1	200	Radiografía general
Sala 2	200	Radiografía general
Sala 3	150	Fluoroscopia con intensificador de imagen

4.7 TIPIFICACIÓN DE ZONAS Y BARRERAS.

- En la planta arquitectónica (Figura 10), se identifican las paredes y pisos, para efectos de identificación en los cálculos a realizar. Además se delimitan en el plano las zonas controladas y las zonas supervisadas.

FIGURA 10.-
DISTRIBUCIÓN EN
PLANTA DE
RADIOLOGÍA DEL
HNBB



- b) En los cálculos a realizar, se tomarán todas las áreas alrededor de las salas, como zonas supervisadas, inclusive las internas al servicio de radiología, pues el flujo del personal administrativo y médico, abarca áreas donde debería moverse, solo el personal ocupacionalmente expuesto, por ejemplo, los vestidores del personal y los servicios sanitarios. En el caso de los médicos, la sala de lectura para las emergencias, está dentro del área ocupada por los técnicos de rayos-x, lo cual hace a dicha área una zona supervisada. Las zonas controladas, no se tomarán en cuenta, pues en los flujos de pacientes y personal médico y administrativo, se observa, que estos circulan por dichas áreas, por lo que se toma dicho criterio.
- c) La MDP a utilizar en el diseño, se tomará en base a los miembros del público, con el objeto de hacer más segura la protección, de los blindajes a calcular. De acuerdo al OIEA, la MDP, para el público es de una dosis efectiva de 1 milisievert por año. Lo que equivale en rem a 0.1 rem (1 mSv x (1 rem/10 mSv)), este dato a su vez es igual a 0.002 rem/semana, para un año de 50 semanas (0.1/50), lo que equivale aproximadamente a 0.002 rem/semana que para efectos de diseño es igual a 0.002 Roentgen/semana.

Nota: si se hubiese tomado la MDP, para el personal ocupacionalmente expuesto; la dosis equivalente sería de 2 rem o 20 mSv, al año, lo que equivale a 0.04 rem/semana, para un año de 50 semanas. El criterio de no utilización de este umbral de dosis, se debe a que todas las zonas se consideraron como supervisadas, debido a la presencia del público en áreas que deberían ser zonas controladas.

En las paredes y pisos del área de radiología del HNNBB, se tomará en todas, el valor de MDP de 0.002 Roentgen/semana, para efectos de brindar mayor seguridad a los miembros del público, así como al personal ocupacionalmente expuesto.

4.8 BARRERAS DE PROTECCIÓN RADIOLOGICA

4.8.1 PRIMER METODO DE CALCULO

a) CÁLCULO DE BARRERAS PRIMARIAS

Se procederá al cálculo de las barreras primarias y secundarias, utilizando las ecuaciones, que aparecen en el reporte No 49 de la NCRP. Las cuales son las siguientes:

$$k_{ux} = \frac{P(d_{pri})^2}{WUT}$$

(ec. 1)

Donde W es la "Carga de Trabajo Semanal", expresada en miliamperios minutos por semana.

P es el valor de la MDP semanal, según el criterio de diseño elegido, para este caso será de 0.002 Roentgen/semana, por tratarse de zonas supervisadas.

U , es el valor del factor de utilización, T es el factor de ocupación y d_{pri} es el valor en metros, de la distancia de la fuente al punto de interés que se tomará como barrera primaria.

Hay que tener en cuenta que una barrera primaria, se irradia durante una fracción de utilización (U), del haz primario cuando esta en "encendido" y que la ocupación del punto de interés esta a una fracción (T) del tiempo, en que el haz esta "encendido".

Con la ecuación 1 y por medio de las curvas, dadas en los anexos 1 y 2, se obtiene el espesor (S_p) de la barrera primaria que se a calculado, según el valor de k_{ux} , valor que expresa la cantidad de exposición de la carga de trabajo a un metro, en Roentgen por mA a un metro.

b) CÁLCULO DE LAS BARRERAS SECUNDARIAS

Las barreras de protección secundarias, protegen contra la radiación de fuga y contra la radiación dispersa. Los dos tipos de radiación son de diferentes cualidades, por lo que sus cálculos deben hacerse por separado.

BARRERAS CONTRA LA RADIACIÓN DE FUGA

De acuerdo al reporte No 49 de la NCRP, la fórmula usada en la determinación de las barreras contra radiación de fuga, para áreas con equipo de radiodiagnóstico, es:

$$B_{lx} = \frac{P (d_{sec})^2 (600 I)}{WT} \quad (\text{ec. 2})$$

Donde:

B_{lx} : es el factor de transmisión

P : es la exposición semanal permisible diseñada

d_{sec} : es la distancia desde la fuente al punto de interés, es decir la barrera secundaria

I : es el rango de corriente máxima que soporta en tubo, en mA, dados por las unidades de calor y el Kvp máximo.

W : es la carga de trabajo semanal, dado en miliamperios minutos por semana

T : es el factor de utilización del área a proteger.

Además de acuerdo al reporte No 49 de la NCRP, para protecciones en el blindaje de la carcasa del tubo de rayos-x, en radiodiagnóstico, se permite a los fabricantes, bajo norma, una fuga máxima (L) de 0.1 Roentgen en una hora, desde la fuente.

De la ecuación 2, se obtiene el valor de B_{ix} , luego de la curva del anexo 3, para barreras de radiación de fuga, se obtiene el valor de N , para multiplicarse con su nivel de energía correspondiente de HVL. Además la gráfica en su sección transversal, da el valor n para TVL, de manera que para encontrar el espesor total se calculará así:

$$S_i = N (HVL) \quad \text{o} \quad n (TVL) \quad (\text{ec. 3})$$

En la tabla 7 se muestran los HVL (capa de valor medio) y TVL (capa de valor décimo), típicos, extraída del reporte No 49 de la NCRP.

Kilovoltaje Pico (Kv)	MATERIAL DE ATENUACIÓN			
	mm de Plomo		cm de Concreto	
	HVL	TVL	HVL	TVL
50	0.06	0.17	0.43	1.5
70	0.17	0.52	0.84	2.8
100	0.27	0.88	1.6	5.3
125	0.28	0.93	2	6.6
150	0.3	0.99	2.24	7.4
200	0.52	1.7	2.5	8.4
250	0.88	2.9	2.8	9.4
300	1.47	4.8	3.1	10

TABLA 7.- VALORES DE HVL Y TVL

2- BARRERAS CONTRA LA RADIACIÓN DISPERSA

Según el reporte No 49 de la NCRP, la fórmula utilizada para calcular la barrera contra la radiación dispersa, es:

$$k_{ux} = \frac{P}{aWT} (d_{sca})^2 \times (d_{sec})^2 \times \frac{400}{F}$$

(ec. 4)

Donde:

K_{ux} : es el número de Roentgens por miliamperios minuto en una semana

P : es la exposición semanal permisible diseñada

a : es la porción incidente de la radiación dispersa en función de la energía y del ángulo de fugas

W : es la carga de trabajo semanal, dado en miliamperios minutos por semana

T : es el factor de utilización del área a proteger.

d_{sca} : es la distancia de la fuente a un punto donde choca el haz primario con el paciente (ver figura 9)

d_{sec} : es la distancia desde el paciente al punto de interés, tomado como área de la barrera secundaria(ver figura 9). Cuando el paciente esta debajo de la fuente (sobre la mesa), dicha distancia, es igual a la distancia desde la fuente al punto de interés,

F : tamaño del área irradiada con el haz primario, en centímetros cuadrados.

El hecho de considerar a k_{ux} , para el cálculo de la barrera secundaria, debido a la radiación dispersa, es que en generadores con voltajes menores a 500 Kv, usualmente se asume que la capacidad de penetración de los fotones producidos por la radiación dispersa es la misma que la del haz primario. Por tanto se considerara el valor de k_{ux} . Igual al factor de transmisión de la barrera secundaria.

c) REALIZACIÓN DE CALCULOS

En base a lo anterior se procederá a calcular las barreras primarias, en las salas de radiodiagnóstico del Hospital de Niños Benjamín Bloom.

1. El valor de P , el cual es el rango de exposición semanal determinado para el diseño, se obtendrá del valor vigente de MDP o si se prefiere, de valores opcionales por debajo de este. Para el cálculo, se tomará la MDP actual para miembros del público, de 1 milisievert ó 0.1 rem al año, la cual no varia desde 1993. Se tomará además, como base de tiempo, para él calculo semanal de P ,

un año con 50 semanas, que equivalen a un año laboral, pues por ley se da una vacación general de dos semanas, de las 52 que tiene el año. Para calcular P se tendrá:

$$0.1 \text{ rem/año} \times 1 \text{ año}/50 \text{ semanas} = 0.002 \text{ rem/semana}$$

En radioprotección, el número de rems se consideran igual que el número de Roentgen de exposición.

2. Las salas número 1 y 2 poseen sistema Potter Bucky de pared, para radiografías de tórax, las cuales tienen una demanda muy grande semanal de ese tipo de examen; lo cual se puede observar en las tablas 3 y 4. Por lo que se consideran con factor de utilización (U) de 1, por medidas de seguridad. En el caso del piso, que es a donde se dirige la mayor parte de tiempo, el haz, para los procedimientos en los exámenes hechos, por lo que se considerara en las tres salas, con factor de utilización de 1, para dar mayor margen de seguridad.
3. El factor de ocupación (T) para las tres salas, se tomará de 1, pues se trata de un lugar con ocupación llena, ya que es una zona de trabajo con oficinas donde generalmente siempre permanece público.
4. Las cargas de trabajo experimentalmente calculadas, para las tres salas son las siguientes

Sala 1: $293,319.7 \text{ mAs/año} \times \text{año}/50 \text{ semanas} \times 1 \text{ minuto}/60 \text{ segundos} = 97.8 \text{ mA-min/semana}$

Sala 2: $538,182.7 \text{ mAs/año} \times \text{año}/50 \text{ semanas} \times 1 \text{ minuto}/60 \text{ segundos} = 179.4 \text{ mA-min/semana}$

Sala 3: $5799.376 \text{ mA minuto/ año} \times \text{año}/50 \text{ semanas} = 115.9 \text{ mA-min/semana}$

5. La distancia (d_{pri}), a utilizar en el diseño, será la más cercana (mínima) al punto de interés (ver figuras 6, 7 y 8), para el cálculo de las barreras, pues se pretende asegurar, que no se sobrepase el MDP, en factor de la distancia. La medición se tomó desde el punto focal del cada tubo, hasta el punto perpendicular con la barrera (menor distancia), siendo las medidas en metros:

Sala 1: distancia desde el punto focal a la pared que recibe el haz primario (para tórax) = $d_{priA} = 4.638 \text{ mts}$

Sala 1: distancia desde el punto focal al piso = $d_{p1} = 1.61 \text{ mts}$

Sala 2: distancia desde el punto focal a la pared que recibe el haz primario (para tórax) = $d_{pri1} = 1.955 \text{ mts}$

Sala 2: distancia desde el punto focal al piso = $d_{p2} = 0.805 \text{ mts}$

Sala 3: distancia desde el punto focal al piso = $d_{p3} = 2.038 \text{ mts}$

La sala 3, posee un equipo que no realiza exámenes de tórax, el haz primario solo incide al suelo.

Nota: las nomenclaturas p_1 , p_2 y p_3 , indican el piso de la sala 1, 2 y 3 respectivamente. Las distancias correspondientes desde el emisor al piso, se muestran en el anexo 9, además el espesor de la pared l_a (ver figura 7), se considerará igual a la barrera l_b , para efectos de brindar mayor protección al público.

6. Se procederá, a calcular con los datos actuales, los valores de k_{ux} , para determinar los espesores de las barreras primarias, teniendo en cuenta que para los casos de barreras en dirección al piso se tomarán los espesores de concreto necesarios, en los otros casos se dará su espesor en plomo, pues de este material, son las barreras actuales del área a analizar. Al utilizar la fórmula de la ecuación 1, se tienen los siguientes valores de k_{ux} :

Para la sala 1, el valor de P será de 0.002 R/semana, la distancia d_{priA} será de 4.638 mts, la carga de trabajo es de 97.8 mA min/semana, los factores U y T se han tomado como 1, así, calculando la barrera en la pared A:

$$k_{ux1} = \frac{0.002 \times (4.68)^2}{97.8 \times 1 \times 1}$$

$$K_{uxA} = 0.00439$$

Realizando la misma operación con las demás barreras; cambiando solamente el valor de la distancia, se tiene:

Sala 1: k_{uxA} de pared A = 0.000439 (Roentgen x miliamperios x minuto) /semana

Sala 1: k_{uxp1} del piso p_1 = 0.0000530 (Roentgen x miliamperios x minuto) /semana

Sala 2: k_{uxl} de la pared I = 0.0000426 (Roentgen x miliamperios x minuto) /semana

Sala 2: k_{uxp2} del piso p_2 = 0.00000722 (Roentgen x miliamperios x minuto) /semana

Sala 3: k_{uxp3} del piso p_3 = 0.0000717 (Roentgen x miliamperios x minuto) /semana

Las distancias p_1 , p_2 y p_3 (del piso al punto focal del tubo), están dadas en el anexo 9.

Para los valores de k_{ux} calculados, utilizando las curvas de los anexos 1 y 2, se tienen los siguientes espesores, los cuales se muestran en la tabla 8:

# de barrera de sala de radiodiagnóstico	Espesor de la pared dado en mm de plomo	Espesor del piso dado en cm de concreto
Pared A	2.3	-
Piso p ₁	-	20.75
Pared I	3.275	-
Piso p ₂	-	30.4
Piso p ₃	-	20.67

TABLA 8 - ESPESORES CALCULADOS

d) CÁLCULOS DE BARRERAS SECUNDARIAS

A continuación se calcularán las barreras secundarias para las salas de radiodiagnóstico del Hospital Benjamin Bloom, teniendo en consideración, lo siguiente:

1. Se calcularán los respectivos valores de espesor de las barreras para radiación de fugas y radiación dispersa, siendo el resultado total, la suma de ambos espesores.
2. El valor del factor de ocupación (T), se asumirá de 1, aunque se traten de salas de espera, corredores u oficinas, pues se trata de proteger de la mejor manera al público en general, ya que en dichas áreas se mantienen circulando una gran cantidad de público.
3. En el caso de la barrera para radiación de fuga, se tomará una corriente máxima, obtenida de la gráfica de calentamiento y enfriamiento del ánodo, dada en las hojas técnicas del tubo. Así de la gráfica (anexo 4) se obtiene un máximo de 2000 Wats ó 2736.842 Unidades de Calor, las que divididas por 150 Kvp, dan un resultado de 18.246 mA.
4. El valor de "a", es por tablas (ver anexo 6), para 150 Kv, de 0.0016, asumiendo un ángulo de 90°, para la radiación dispersa, ya que a dicho ángulo se obtiene la menor distancia, desde el paciente a la barrera, para radiación dispersa.
5. El valor de F , se tomará para el área de la placa más grande (14 x 17), equivalente a 1548 cm²
6. Las distancias desde la fuente(emisor) hasta el punto de interés, se tomarán

con referencia al punto focal del tubo.

1- Barreras contra la radiación de fuga

Sala No 1:

El cálculo de la barrera contra la radiación de fuga (tomando las áreas como zonas supervisadas, como se observa en la figura 10), se hará con los siguientes valores, para la ecuación 2:

$$P = 0.002 \text{ rem/ semana}$$

$$I = 18.246 \text{ mA}$$

$$W = 97.8 \text{ mA min./semana}$$

$$T = 1$$

El valor de d_{sec} tiene tres magnitudes, pues son dos las paredes consideradas a recibir la radiación de fuga del emisor de dicha sala (la pared F se tomará para el cálculo de la sala 2, pues esta más próximo el tubo a dicha pared) y la distancia hacia la barrera D, considerando a $D_1=D_2=D$, donde la menor distancia a dicha barrera esta dada como se muestra en la figura 6; por lo que se tendrán diferentes valores de B_{ix} .

En la figura 6, se observan los valores respectivos de d_{sec} :

Con los datos, se obtienen tres valores de B_{ix} , para obtener el espesor de las barreras, los cuales con:

$$B_{ixB} = 0.350$$

$$B_{ixC} = 2.664$$

$$B_{ixD} = 0.070$$

De los factores dados, se obtiene el valor de N , solicitado en la ecuación 3, con ayuda del gráfico (anexo 3) que relaciona los factores de transmisión, con los valores de N y n , luego se multiplica por el HVL para 150 KVp, es decir 0.3 mm de plomo o 2.24 cm de concreto (tabla 7), en el caso de la barrera B, su valor de factor de transmisión, proporciona un valor de N de 1.5, el resultado es una barrera de 0.450 mm de plomo, realizando el mismo procedimiento, da los espesores necesarios, los cuales son:

$$S_{LB} = 1.5 (0.3) = 0.450 \text{ mm de plomo}$$

$S_{LC} = 0(0.3) =$ no necesita barrera, basta un espesor cualquiera de los materiales usados en la construcción

$$S_{LD} = 3.95 (0.3) = 1.185 \text{ mm de plomo}$$

Sala No 2:

Para esta sala, los valores de P , I y T serán los mismos, que para la sala anterior, pues se trata de una zona supervisada con presencia de público permanente en el área; solo el valor de W será de 179.4 mA min/ semana y los valores de d_{sec} , para tres distancias, serán según la figura 7.

Con el uso de la ecuación 2, se obtienen los siguientes valores de B_{ix} , según la barrera deseada:

$$B_{ixF} = 0.061$$

$$B_{ixG} = 0.282$$

$$B_{ixH} = 1.365$$

De los factores dados, se obtiene por medio de la multiplicación de cada uno por el HVL para 150 Kvp con el correspondiente valor de N , del gráfico (anexo 3) respectivo, donde los espesores necesarios, son:

$$S_{LF} = 4.2(0.3) = 1.26 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{LG} = 1.8(0.3) = 0.54 \text{ mm de plomo}$$

$S_{LH} = 0(0.3) =$ no necesita barrera, basta un espesor cualquiera de los materiales usados en la construcción

Sala No 3:

Los datos para el cálculo de las barreras en la sala 3, son los mismos que en las salas anteriores para los valores de P , I y T , por las mismas razones anteriormente expuestas. Para el valor de W , se tendrá el dato 115.9 mA min/semana, los datos de d_{sec} , serán según el esquema de la figura 8.

La barrera N será la misma de N_1 y N_2 (figura 8), con el propósito de dar mayor seguridad y debido a que se trata de la menor distancia a dicha barrera.

De los datos anteriores, se encuentran sus respectivos factores de transmisión, los cuales son:

$$B_{lxJ} = 0.873$$

$$B_{lxK} = 1.397$$

$$B_{lxL} = 4.261$$

$$B_{lxM} = 1.008$$

$$B_{lxN} = 1.588$$

$$B_{lxO} = 0.881$$

De los factores dados, se obtiene nuevamente por medio de la multiplicación de cada uno por el HVL para 150 Kv, con el valor encontrado de N ; los espesores necesarios, los cuales son:

$$S_{LJ} = 0.25(0.3) = 0.075 \text{ mm de plomo}$$

$S_{LK} = 0(0.3) =$ no necesita barrera, basta un espesor cualquiera de los materiales usados en la construcción

$S_{LL} = 0(0.3) =$ no necesita barrera, basta un espesor cualquiera de los materiales usados en la construcción

$S_{LM} = 0(0.3) =$ no necesita barrera, basta un espesor cualquiera de los materiales usados en la construcción

$S_{LN} = 0(0.3) =$ no necesita barrera, basta un espesor cualquiera de los materiales usados en la construcción

$$S_{LO} = 0(0.3) = 0.075 \text{ mm de plomo}$$

2- Barreras contra radiación dispersa

Se procederá a calcular las barreras para la radiación dispersa, donde en las tres salas los valores de P , T y F serán los mismos, pues el área sigue siendo considerada una zona supervisada, con numeroso público, permaneciendo y circulando por dicha zona; además el valor de " a " será tomado para 90° , pues la radiación incidente perpendicularmente sobre el paciente, proporciona la menor distancia hacia una barrera en particular, también se debe considerar, que con dicho ángulo, la energía de la radiación dispersa es igual a la radiación del haz primario. Los valores de W serán los mismos a los anteriores, para cada sala, la distancia promedio estimada desde la fuente hasta el paciente (d_{sca}) será de 0.5

mts(se ha tomado la distancia de 0.5 mts, como la mínima empleada en los estudios con niños; información proporcionada por los técnicos del HNNBB), para las salas 1 y 2 y de 1 mt para la sala 3, pues la distancia mínima proporcionada es esa; donde para cada sala las barreras serán:

Sala No 1:

El valor elegido de F estará dado por el tamaño de placa más grande es decir 14 por 17 pulgadas, es decir 1548 cm^2 . Las distancias utilizadas serán las mismas que las usadas en el cálculo de la barrera contra la radiación de fuga (figura 6), pues las distancias tomadas, coinciden cuando el paciente esta sobre la mesa, con las tomadas para la radiación de fuga, además son las distancias mínimas proporcionadas. El valor de "a" a 90° grados, por tablas precalculadas es de 0.0016. Se calcularán solo dos barreras, ya que la pared F, esta más cerca del tubo de la sala 2. Los valores de k_{ux} utilizando la ecuación 4, serán:

$$K_{uxB} = 0.001$$

$$K_{uxC} = 0.010$$

$$K_{uxD} = 0.00025$$

Donde de manera gráfica(anexo 1 y 2), el valor de k_{ux} ; valor en las abscisas, proporciona en las curvas (según el Kilovoltaje del equipo) los espesores de plomo respectivo; valor en las ordenadas (se toma plomo pues la barrera existente es de este material, lo que facilitará la comparación):

$$S_{sB} = 1.975 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{sC} = 1.075 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{sD} = 2.513 \text{ mm de plomo}$$

Sala No 2:

Los valores de P , a , T , d_{sca} y F son iguales que en la sala 1, ya que son zonas supervisadas, el Kv máximo es igual y el tamaño de la caseta mas grande es el mismo, que en la sala anterior; las variables serán W con un valor de 179.4 mA min/semana y las distancias dadas en la figura 7 de la sala dos, que son las mismas para este calculo, de donde:

$$K_{uxF} = 0.0002237$$

$$K_{uxG} = 0.001$$

$$K_{uxH} = 0.005$$

Con estos factores se encuentran desde el gráfico correspondiente los valores de las barreras, las cuales son:

$$S_{sF} = 2.58 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{sG} = 1.975 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{sH} = 1.34 \text{ mm de plomo}$$

Sala No 3:

Los valores de P , a , F y T serán iguales a los anteriores, pero el valor de d_{sca} será de 1 mt, W es de 115.9 mA min/semana y las distancias de las barreras están dadas en la figura 8, donde los valores de k_{ux} serán:

$$K_{uxJ} = 0.013$$

$$K_{uxK} = 0.021$$

$$K_{uxL} = 0.063$$

$$K_{uxM} = 0.015$$

$$K_{uxN} = 0.023$$

$$K_{uxO} = 0.013$$

A través de estos datos, se pueden encontrar, de manera gráfica, los espesores de plomo (de este material esta hecha la protección actual), los cuales son:

$$S_{sJ} = 1.04 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{sK} = 0.81 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{sL} = 0.46 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{sM} = 0.925 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{sN} = 0.775 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{sO} = 1.04 \text{ mm de plomo}$$

Luego de calcular los espesores de las barreras para radiación de fuga y radiación

dispersa, se presentan en la tabla 9, los valores totales de las barreras secundarias, los cuales son la suma del espesor para radiación de fuga con el espesor para radiación dispersa:

# de barrera de sala de radiodiagnóstico	Espesor de la pared dado en mm de plomo
Pared B	2.425
Pared C	1.075
Pared D	3.698
Pared F (salas 1 y 2)	3.840
Pared G	2.515
Pared H	1.340
Pared J	1.115
Pared K	0.810
Pared L	0.460
Pared M	0.925
Pared N	0.775
Pared O	1.115

TABLA 9.- ESPESORES DE BARRERAS SECUNDARIAS

4.8.2 SEGUNDO MÉTODO DE CÁLCULO

Este es el método de cálculo más simple y fácil de entender. El concepto de HVL se utilizó por primera vez en radioterapia, para expresar la calidad de un haz de rayos-x, la capa de valor medio (HVL), es el espesor de un material específico, el cual al ser interpuesto en el paso de un haz de radiación, reduce el rango de exposición a la mitad. Un haz con una capa de valor medio de 0.2 mm de plomo es más penetrante que el haz con una capa de valor medio de 0.1 mm de plomo. En la tabla 10 se observan los HVL en milímetros de plomo y en centímetros de concreto, en función del kilovoltaje.

Kilo voltaje pico (Kvp)	Espesor de Plomo (mm)	Espesor de concreto (centímetros)
50	0.05	0.43
70	0.15	0.84
100	0.24	1.6
125	0.27	2.0
150	0.30	2.24

TABLA 10

El espesor de las barreras, es calculado por la división entre dos de la exposición encontrada, hasta alcanzar el nivel permisible deseado y se multiplica el número de mitades, con su capa de valor medio, mostrado en la tabla 10.

a) BARRERAS PRIMARIAS

El método de calculo esta basado en la exposición alcanzada durante la semana de acuerdo a la siguiente ecuación, tomada del libro "Christensen's física del diagnóstico radiológico":

$$E = \bar{E} \times W \times U \times T \times \frac{1}{d^2}$$

(ec. 5)

donde:

E: es la exposición alcanzada en el punto específico dado en Roentgen/semana.

\bar{E} : es la exposición en Roentgens por minuto a un metro de distancia, dada por tablas precalculadas, como en la tabla 11

Kilovoltaje pico (Kvp)	E (R/mA min a 1 metro)
50	0.15
70	0.40
100	0.90
125	1.4
150	2.0

TABLA 11

W: es la carga de trabajo en mA min /semana

U: es el factor de utilización, igual al anteriormente explicado

T: es el factor de ocupación, sin unidades, anteriormente conceptualizado

d: es la distancia en metros desde el tubo de rayos-x al punto de interés.

Los datos a utilizar serán los mismos al anterior método, con datos de W, U, T y d. El dato de exposición a un metro (E), será, según la tabla 11, de 2.0, para 150 Kvp.

b) BARRERAS SECUNDARIAS

1- Protección contra la radiación dispersa

Para el método de HVL, es necesario hacer las siguientes asunciones:

1. La energía de la radiación dispersa se supone igual que la radiación primaria (por el concepto de conservación de la energía)
2. La intensidad a 90° de la radiación dispersa relativa al haz primario, se reduce en un factor de 1000 a una distancia de un metro para campos de radiación de 400 centímetros cuadrados.

Los factores más importantes para la producción de radiación dispersa son el tamaño del campo de la radiación, el cual controla la radiación dispersa, el tamaño del campo, es una medida de la superficie del paciente, por lo que se utiliza un factor, en base a los 400 centímetros cuadrados, así:

$$\text{Factor de corrección} = F/400$$

F = tamaño actual del campo (cm²)

400 = tamaño del campo estándar (cm²), es criterio de diseño.

Además se utilizan los valores de la salida del tubo en Roentgen/mA min a un metro de distancia (E), los factores de ocupación (T) y carga de trabajo (W), siendo de igual magnitud que en el cálculo de las barreras primarias. Con estos datos se procede a utilizar la siguiente ecuación:

$$E_s = \bar{E} \times W \times T \times \frac{1}{d^2} \times \frac{1}{1000} \times \frac{F}{400}$$

(ec. 6)

Donde:

E_s = exposición semanal de la radiación dispersa (Roentgen/semana)

E = el número de Roentgen/semana a un metro

W = la carga de trabajo (mA min/semana)

T = factor de ocupación

d = distancia en metros del centro del rayo desde la superficie del paciente al

punto de interés, es decir la distancia utilizada en la barrera secundaria d_{sec} (si el paciente esta sobre la mesa de radiodiagnóstico).

F= tamaño actual del campo (cm^2)

2- Protección contra la radiación de fuga

Para este cálculo, se necesita conocer el máximo mA que puede proporcionar el tubo cuando emite continuamente; sin dañarse. Este dato se obtiene del máximo valor de Unidades de calor, dadas en la curva de calentamiento y enfriamiento del ánodo, proporcionada por el fabricante de cada tubo (ver anexos 4 y 5), el valor de mA se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\text{Unidades de calor} / \text{Kvp máximo} = \text{mA máximo} \quad (\text{ec. 7})$$

En este método se necesita el valor de exposición en R/mA min a un metro, referidos al haz primario, para la radiación de fuga, pues esta está presente cuando en tubo esta emitiendo los rayos x, aún cuando el colimador esta completamente cerrado, pues los rayos x generados dentro de la coraza, se fugan en cierta cantidad del blindaje protector.

Para encontrar el valor de fuga a un metro, por norma internacional se espera una fuga máxima de la carcasa del tubo, con un nivel de 0.1 R/hora, lo que en minutos equivale a 0.00167 R/min (0.1 R/hora x 1 hora/60 min).

El dato anterior se relaciona con la máxima corriente continua que puede soportar el tubo, dada por la ecuación 7, así el valor de exposición semanal de radiación de fuga (E_L) será:

$$\text{Exposición de fuga a un metro por minuto} / \text{mA máximo} = \text{R/mA min a un metro} = E_L \quad (\text{ec. 8})$$

Donde con el dato anterior, se encuentra el valor de la exposición semanal de radiación de fuga, con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$E_L = \overline{E}_L \times W \times T \times \frac{1}{d^2} \quad (\text{ec. 9})$$

Donde:

E_L = es la exposición semanal de la radiación de fuga (R/semana)

\overline{E}_L = es la exposición de fuga, en Roentgen, a un metro por mA min (R/mA min)

W = es la carga de trabajo (mA min/semana)

T = es el factor de ocupación

d = distancia desde el tubo al punto de interés

Luego de encontrar el valor de E_L , se procede a calcular los HVL necesarios, para alcanzar el nivel de 0.002 R/semana, para las salas de radiodiagnóstico del HNNBB, se tendrá:

c) CALCULO DE BARRERAS PRIMARIAS

Las zonas a definir serán las mismas que en el primer método de cálculo, es decir se tomarán todas como zonas supervisadas, para mayor seguridad del público y del personal ocupacionalmente expuesto; además, la nomenclatura de las barreras se mantiene, así como los valores de W , usados anteriormente, en cada sala.

Sala No 1:

El valor de E , en la tabla 11, de 2.0, U se toma como 1 al igual que T , las distancias a utilizar serán:

Barrera en la pared A:

$$d_{priA} = 4.638 \text{ mts}$$

De acuerdo con la ecuación 5, el valor a calcular con los datos disponibles es E , con los datos anteriormente definidos y la carga de trabajo (W) de 97.8 mA min /semana, se obtiene:

$$E = 9.093 \text{ Roentgen/semana}$$

El siguiente paso es hacer bajar ese valor de E a 0.002 Roentgen por semana, siendo lo deseado en este diseño. Utilizando el método de HVL, se procede a dividir continuamente por dos, hasta alcanzar el nivel deseado:

$$9.09 / 2 = 4.547$$

$$4.547 / 2 = 2.273$$

$$2.273 / 2 = 1.137$$

$$1.137 / 2 = 0.568$$

$$0.568 / 2 = 0.284$$

$$0.284 / 2 = 0.142$$

$$0.142 / 2 = 0.071$$

$$0.071 / 2 = 0.036$$

$$0.036 / 2 = 0.017$$

$$\begin{aligned}
0.017/2 &= 0.008 \\
0.008/2 &= 0.004 \\
0.004/2 &= 0.002 \\
0.002/2 &= 0.001
\end{aligned}$$

Donde se obtienen 13 HVL, para reducir de 9.09 R/semana a 0.002, además para 150 Kvp, el espesor equivalente es de 0.30 mm de plomo (este es el material de la barrera actualmente colocado en la construcción a analizar), así la barrera a usar será:

$$A = 0.30 \times 13 = 3.90 \text{ mm de plomo}$$

Barrera para el piso p₁:

La distancia desde el piso al punto focal de la fuente de rayos- x es:

$$d_{p1} = 1.61 \text{ mts}$$

La cantidad de Roentgen por semana, utilizando la ecuación 5 es:

$$E = 75.460 \text{ Roentgen/semana}$$

Encontrando los HVL, se tiene:

$$\begin{aligned}
75.460/2 &= 37.730 \\
37.730/2 &= 18.865 \\
18.865/2 &= 9.432 \\
9.432/2 &= 4.716 \\
4.716/2 &= 2.358 \\
2.358/2 &= 1.179 \\
1.179/2 &= 0.589 \\
0.589/2 &= 0.294 \\
0.294/2 &= 0.147 \\
0.147/2 &= 0.073 \\
0.073/2 &= 0.036 \\
0.036/2 &= 0.018 \\
0.018/2 &= 0.009 \\
0.009/2 &= 0.004 \\
0.004/2 &= 0.002 \\
0.002/2 &= 0.001
\end{aligned}$$

Se obtuvieron 16 HVL donde el espesor equivalente para 150 Kv, en centímetros de concreto, según la tabla 6 es 2.24, así el espesor total será:

$$p_1 = 16 \times 2.24 = 35.84 \text{ cm de concreto}$$

Sala No 2:

En esta área los valores de U y T son iguales a uno, el valor de E es igual al anterior, pues el emisor de rayos-x en dicha sala también es de 150 Kvp, el valor de W es 179.4 mA min/semana, las distancias a tomar serán:

Barrera en la pared I:

$$d_{\text{p11}} = 1.955 \text{ mts}$$

Utilizando la ecuación 5, se encuentra el valor de Roentgen/semana:

$$E = 93.876 \text{ R/semana}$$

Para llegar al nivel deseado de 0.04 R/semana, la división por dos, resulta:

$$\begin{aligned} 93.876/2 &= 46.938 \\ 46.938/2 &= 23.469 \\ 23.469/2 &= 11.734 \\ 11.734/2 &= 5.867 \\ 5.867/2 &= 2.933 \\ 2.933/2 &= 1.466 \\ 1.466/2 &= 0.733 \\ 0.733/2 &= 0.366 \\ 0.366/2 &= 0.183 \\ 0.183/2 &= 0.091 \\ 0.091/2 &= 0.045 \\ 0.045/2 &= 0.022 \\ 0.022/2 &= 0.011 \\ 0.011/2 &= 0.005 \\ 0.005/2 &= 0.002 \\ 0.002/2 &= 0.001 \end{aligned}$$

El resultado son 16 HVL, que para 150 Kvp, el equivalente de plomo es 0.30 mm, donde la barrera total será:

$$I_a = I_b = I = 0.30 \times 16 = 4.8 \text{ mm de plomo}$$

Barrera para el piso p₂:

La distancia entre el piso y el punto focal es:

d= 0.805 mts

Utilizando la ecuación 5, con una carga de trabajo de 179.4 mA min/semana, se obtiene el siguiente valor de Roentgen/semana:

E= 553.682 R/semana

Reduciendo a 0.002 R/semana, se obtiene el siguiente HVL:

$$\begin{aligned}553.682/2 &= 276.84 \\276.84/2 &= 138.42 \\138.42/2 &= 69.21 \\69.21/2 &= 34.60 \\34.60/2 &= 17.30 \\17.30/2 &= 8.651 \\8.651/2 &= 4.325 \\4.325/2 &= 2.162 \\2.162/2 &= 1.080 \\1.080/2 &= 0.540 \\0.540/2 &= 0.270 \\0.270/2 &= 0.135 \\0.135/2 &= 0.067 \\0.067/2 &= 0.033 \\0.033/2 &= 0.016 \\0.016/2 &= 0.008 \\0.008/2 &= 0.004 \\0.004/2 &= 0.002 \\0.002/2 &= 0.001\end{aligned}$$

De la operación anterior se obtiene 19 HVL, donde el espesor total en centímetros de concreto será:

$$p_2 = 19 \times 2.24 = 42.56 \text{ cm de concreto}$$

Sala No 3:

En esta sala la barrera primaria, esta en dirección al piso, a una distancia desde la fuente de 2.038 mts, la carga de trabajo (W) es 115.9 mA min/semana, encontrando el valor de R/semana, a través de la ecuación 5, se tiene:

E= 55.8091 R/semana

Aplicando la división por dos, hasta alcanzar el nivel de 0.002 R/semana, se tiene:

$$55.809/2 = 27.904$$

$$\begin{aligned}
27.904/2 &= 13.952 \\
13.952/2 &= 6.976 \\
6.976/2 &= 3.488 \\
3.488/2 &= 1.744 \\
1.744/2 &= 0.872 \\
0.872/2 &= 0.436 \\
0.436/2 &= 0.218 \\
0.218/2 &= 0.109 \\
0.109/2 &= 0.054 \\
0.054/2 &= 0.027 \\
0.027/2 &= 0.013 \\
0.013/2 &= 0.006 \\
0.006/2 &= 0.003 \\
0.003/2 &= 0.001
\end{aligned}$$

El número de HVL encontrado es de 15, para 150 Kvp, el espesor equivalente es 2.24 cm de concreto, el total del tamaño de la barrera será:

$$p_3 = 15 \times 2.24 = 33.6 \text{ cm de concreto}$$

Los espesores, de las barreras primarias, se presentan en la tabla 12:

# de barrera de sala de radiodiagnóstico	Espesor de la pared dado en mm de plomo	Espesor del piso dado en cm de concreto
Pared A	3.9	-
Piso p ₁	-	35.84
Pared I	4.8	-
Piso p ₂	-	42.56
Piso p ₃	-	33.6

TABLA 12 - ESPESORES CALCULADOS PARA BARRERAS PRIMARIAS

d) CALCULO DE BARRERAS SECUNDARIAS

1- Contra la radiación dispersa

Sala No 1:

El valor de E es según la tabla 7, de 2 R/mA min a un metro, para 150 Kvp, la carga de trabajo es de 97.8 mA min/semana, T se tomara de 1, F según el área de la película más grande, pues es la que generara mayor radiación dispersa, es

decir 14 x 17 pulgadas o 1548 cm² y los valores de d serán los provistos en la figura 6, utilizada en el primer método de cálculo, para las barreras secundarias (el espesor de la pared F, se calculara, de acuerdo a la distancia de esta con el emisor de la sala 2, pues su distancia es menor, lo que hace a la barrera mas grande). Así se tendrán los siguientes valores de E_s :

$$E_{sB} = 0.484 \text{ R/semana}$$

$$E_{sC} = 0.064 \text{ R/semana}$$

$$E_{sD} = 2.413 \text{ R/semana}$$

Donde aplicando el método de división sucesiva entre dos, para los HVL, se tiene para la barrera B:

$$0.484/2 = 0.242$$

$$0.242/2 = 0.121$$

$$0.121/2 = 0.061$$

$$0.061/2 = 0.030$$

$$0.030/2 = 0.015$$

$$0.015/2 = 0.008$$

$$0.008/2 = 0.004$$

$$0.004/2 = 0.002$$

$$0.002/2 = 0.001$$

Así, se llego a un nivel menor de 0.002 R/semana, con 9 HVL, el equivalente de plomo es de 0.3 mm, el tamaño de la barrera(S_{s1}), será:

$$S_{sB} = 0.3 \times 9 = 2.7 \text{ mm de plomo}$$

Para la pared C:

$$0.064/2 = 0.032$$

$$0.032/2 = 0.016$$

$$0.016/2 = 0.008$$

$$0.008/2 = 0.004$$

$$0.004/2 = 0.002$$

$$0.002/2 = 0.001$$

El valor de la barrera total S_{sC} , será:

$$S_{sC} = 0.3 \times 6 = 1.8 \text{ mm de plomo}$$

En el caso de la pared D, hay que tomar en cuenta que la pared D será igual a D₁ y D₂, ya que se ha considerado la menor distancia hacia dicha barrera, observando que dicha barrera, esta detrás de la zona de espera de radiología, para los pacientes y sus acompañantes (zona supervisada).

Entonces los cálculos de la barrera D, son:

$$\begin{aligned} 2.413/2 &= 1.206 \\ 1.206/2 &= 0.603 \\ 0.603/2 &= 0.301 \\ 0.301/2 &= 0.150 \\ 0.150/2 &= 0.075 \\ 0.075/2 &= 0.037 \\ 0.037/2 &= 0.018 \\ 0.018/2 &= 0.009 \\ 0.009/2 &= 0.004 \\ 0.004/2 &= 0.002 \\ 0.002/2 &= 0.001 \end{aligned}$$

El espesor será:

$$S_{sD} = 0.3 \times 11 = 3.3 \text{ mm de plomo}$$

Sala No 2:

El valor de T es 1, E de la tabla 7 es 2 R/mA min a un metro, F se tomará también para el valor de campo máximo, con 1548 cm², la carga de trabajo es de 179.4 mA min /semana, las distancias para calcular las barreras, serán las mismas de la figura 7, del primer método de cálculo, así:

$$E_{sF} = 2.793 \text{ R/semana}$$

$$E_{sG} = 0.601 \text{ R/semana}$$

$$E_{sH} = 0.124 \text{ R/semana}$$

Encontrando el valor de N, para los HVL, en la primera pared:

$$\begin{aligned} 2.793/2 &= 1.396 \\ 1.396/2 &= 0.698 \\ 0.698/2 &= 0.349 \\ 0.349/2 &= 0.174 \\ 0.174/2 &= 0.087 \\ 0.087/2 &= 0.043 \\ 0.043/2 &= 0.021 \end{aligned}$$

$$0.021/2 = 0.010$$

$$0.010/2 = 0.005$$

$$0.005/2 = 0.002$$

$$0.002/2 = 0.001$$

El grosor de la barrera F es:

$$S_{sF} = 0.3 \times 11 = 3.3 \text{ mm de plomo}$$

Para la barrera G se tiene:

$$0.601/2 = 0.300$$

$$0.300/2 = 0.150$$

$$0.150/2 = 0.075$$

$$0.075/2 = 0.037$$

$$0.037/2 = 0.018$$

$$0.018/2 = 0.009$$

$$0.009/2 = 0.004$$

$$0.004/2 = 0.002$$

$$0.002/2 = 0.001$$

La barrera a utilizar será:

$$S_{sG} = 0.3 \times 9 = 2.7 \text{ mm de plomo}$$

Para la pared H, los HVL serán:

$$0.124/2 = 0.062$$

$$0.062/2 = 0.031$$

$$0.031/2 = 0.015$$

$$0.015/2 = 0.007$$

$$0.007/2 = 0.003$$

$$0.003/2 = 0.001$$

El espesor de plomo a utilizar es:

$$S_{sH} = 0.3 \times 6 = 1.8 \text{ mm de plomo}$$

Sala No 3:

Los valores de E, T y F, serán los mismos a los anteriores, la carga de trabajo es de 115.9 mA min/semana, las distancias a utilizar serán los dados en la figura 8, del cálculo de la barrera secundaria del primer método de cálculo. La exposición semanal será:

$$E_{sJ} = 0.194 \text{ R/semana}$$

$$E_{sK} = 0.121 \text{ R/semana}$$

$$E_{sL} = 0.039 \text{ R/semana}$$

$$E_{sM} = 0.168 \text{ R/semana}$$

$$E_{sN} = 0.106 \text{ R/semana}$$

$$E_{sO} = 0.192 \text{ R/semana}$$

Los HVL en cada caso serán:

$$0.194/2 = 0.097$$

$$0.097/2 = 0.048$$

$$0.048/2 = 0.024$$

$$0.024/2 = 0.012$$

$$0.012/2 = 0.006$$

$$0.006/2 = 0.003$$

$$0.003/2 = 0.001$$

El espesor J es:

$$S_{sJ} = 0.3 \times 7 = 2.1 \text{ mm de plomo}$$

Para la barrera K:

$$0.121/2 = 0.060$$

$$0.060/2 = 0.030$$

$$0.030/2 = 0.015$$

$$0.015/2 = 0.007$$

$$0.007/2 = 0.003$$

$$0.003/2 = 0.001$$

La barrera K será:

$$S_{sK} = 0.3 \times 6 = 1.8 \text{ mm de plomo}$$

La barrera L será:

$$0.039/2 = 0.019$$

$$0.019/2 = 0.009$$

$$0.009/2 = 0.004$$

$$0.004/2 = 0.002$$

$$0.002/2 = 0.001$$

el espesor necesario será:

$$S_{sL} = 0.3 \times 5 = 1.5 \text{ mm de plomo}$$

La barrera M, para radiación dispersa, será la necesaria para el blindaje utilizado en el panel de control (biombo), dentro de la sala 3:

$$\begin{aligned}0.168/2 &= 0.084 \\0.084/2 &= 0.042 \\0.042/2 &= 0.021 \\0.021/2 &= 0.010 \\0.010/2 &= 0.005 \\0.005/2 &= 0.002 \\0.002/2 &= 0.001\end{aligned}$$

El blindaje del biombo será:

$$S_{sM} = 0.3 \times 7 = 2.1 \text{ mm de plomo}$$

Los cálculos de la barrera N serán:

$$\begin{aligned}0.106/2 &= 0.053 \\0.053/2 &= 0.026 \\0.026/2 &= 0.013 \\0.013/2 &= 0.006 \\0.006/2 &= 0.003 \\0.003/2 &= 0.001\end{aligned}$$

El espesor de la barrera es:

$$S_{sN} = 0.3 \times 6 = 1.8 \text{ mm de Plomo}$$

La barrera O será:

$$\begin{aligned}0.192/2 &= 0.096 \\0.096/2 &= 0.048 \\0.048/2 &= 0.024 \\0.024/2 &= 0.012 \\0.012/2 &= 0.006 \\0.006/2 &= 0.003 \\0.003/2 &= 0.001\end{aligned}$$

Su espesor es:

$$S_{sO} = 0.3 \times 7 = 2.1 \text{ mm de plomo}$$

2- Cálculo de la barrera contra la radiación de fuga

Sala No 1:

El valor de T, se asume de uno, la carga de trabajo W es de 97.8 mA min/semana, el valor de E_L, esta dado por: la ecuación 8. Antes hay que determinar la corriente máxima, la cual de acuerdo a la curva de calentamiento del tubo de dicha sala

(Biangulix 150/30/51-100), es de 2000 wats o 2736.8 unidades de calor. Como el máximo Kvp es 150, utilizando la ecuación 7, se llega a valor de máxima corriente, siendo de 18.24 mA,

Se determino que la fuga a un metro, debe ser de 0.00167 R/ minuto, así que si el máximo mA se utiliza en un minuto, se pueden relacionar, ambos valores, para encontrar el nivel de fuga a un metro de este tubo en especial, utilizando la ecuación 8, se llega al valor de 0.0000915 R/mA min a un metro, es decir el valor de E_L .

Determinando los niveles de exposición de fuga para la sala 1, utilizando la ecuación 9 y las distancias de la figura 6, que para este caso se mantienen:

$$E_{LB} = 0.005 \text{ R/semana}$$

$$E_{LC} = 0.00075 \text{ R/semana}$$

$$E_{LD} = 0.0285 \text{ R/semana}$$

Aplicando el método de HVL, en la barrera B, se tiene:

$$\begin{aligned} 0.005/2 &= 0.0025 \\ 0.0025/2 &= 0.0012 \end{aligned}$$

Para 150 Kvp, se tiene un espesor equivalente de 0.3 mm de plomo, así el espesor total es:

$$S_{LB} = 0.3 \times 2 = 0.6 \text{ mm de plomo}$$

En el caso de la barrera C, se observa que no es necesaria la barrera, pues el valor de exposición a un metro es menor al utilizado como criterio de diseño (0.002), por lo que se puede utilizar cualquier espesor de material de construcción.

Obteniendo la barrera D:

$$\begin{aligned} 0.028/2 &= 0.014 \\ 0.014/2 &= 0.007 \\ 0.007/2 &= 0.003 \\ 0.003/2 &= 0.0017 \end{aligned}$$

El espesor de dicha barrera será:

$$S_{LD} = 0.3 \times 4 = 1.2 \text{ mm de plomo}$$

Sala No 2:

En esta área, el valor de T también se tomará de uno para mayor seguridad, la carga de trabajo experimental es de 179.4 mA min/semana, el valor de E_L , será igual al anterior, pues es el mismo modelo de tubo, las distancias de las barreras, se tomarán de la figura 7, así con esos datos, los niveles de exposición de fuga serán:

$$E_{LF} = 0.033 \text{ R/semana}$$

$$E_{LG} = 0.007 \text{ R/semana}$$

$$E_{LH} = 0.0014 \text{ R/semana}$$

Aplicando los HVL, para cada barrera, se tiene:

$$0.033/2 = 0.016$$

$$0.016/2 = 0.008$$

$$0.008/2 = 0.004$$

$$0.004/2 = 0.002$$

$$0.002/2 = 0.001$$

El espesor de la barrera F, será:

$$S_{LF} = 0.3 \times 5 = 1.5 \text{ mm de plomo}$$

La barrera G, se obtendrá:

$$0.007/2 = 0.0035$$

$$0.003/2 = 0.0017$$

El espesor total es:

$$S_{LG} = 0.3 \times 2 = 0.6 \text{ mm de plomo}$$

La barrera H, no es necesaria:

S_{LH} = no necesita barrera, basta un espesor cualquiera de los materiales usados en la construcción

Sala No 3:

En esta área, el valor del factor T, se tomará de uno; las distancias, están dadas

en la figura 8, la carga de trabajo experimental, es de 115.9 mA min/semana, el valor de la exposición de fuga a un metro, será igual a los anteriores, a pesar de ser un tubo de modelo distinto (Biangulix 150/30/52 R-100), pues en la curva de calentamiento el valor máximo de las unidades de calor por segundo, es igual al del otro modelo de tubo, por lo en nivel de E_L es de 0.0000915 R/mA min a un metro. Se calcularán, los HVL, teniendo en cuenta, un espesor equivalente para 150 Kvp, de 0.3 mm de plomo, pues este es el material, actual de la las barreras existentes.

Utilizando la ecuación 9, se encuentran los siguientes niveles de exposición:

$$E_{LJ} = 0.0022 \text{ R/semana}$$

$$E_{LK} = 0.0014 \text{ R/semana}$$

$$E_{LL} = 0.0004 \text{ R/semana}$$

$$E_{LM} = 0.0019 \text{ R/semana}$$

$$E_{LN} = 0.00126 \text{ R/semana}$$

$$E_{LO} = 0.0022 \text{ R/semana}$$

Los HVL, para cada barrera serán:

$$0.0022/2 = 0.0011$$

$$S_{LJ} = 0.3 \times 1 = 0.3 \text{ mm de plomo}$$

S_{LK} = no necesita barrera, basta un espesor cualquiera de los materiales usados en la construcción

S_{LL} = no necesita barrera, basta un espesor cualquiera de los materiales usados en la construcción

S_{LM} = no necesita barrera, basta un espesor cualquiera de los materiales usados en la construcción

S_{LN} = no necesita barrera, basta un espesor cualquiera de los materiales usados en la construcción

$$S_{LO} = 0.3 \times 1 = 0.3 \text{ mm de plomo (posee el mismo nivel de la barrera J)}.$$

Con los valores de los espesores de la radiación dispersa y radiación de fuga, se presentan en la siguiente tabla, los espesores totales de las barreras secundarias,

por el segundo método de cálculo:

# de barrera y de sala de radiodiagnóstico	Espesor de la pared dado en mm de plomo
Pared B	3.3
Pared C	1.8
Pared D	4.5
Pared F (salas 1 y 2)	4.8
Pared G	3.3
Pared H	1.8
Pared J	2.4
Pared K	1.8
Pared L	1.5
Pared M	2.1
Pared N	1.8
Pared O	2.4

4.8.3 TERCER MÉTODO DE CALCULO

El siguiente método, es considerado el más fácil de todos, ya que se basa en tablas precalculadas, donde con tan solo conoce la carga de trabajo, el factor de ocupación y el factor de utilización, se pueden conocer los espesores de las barreras primarias y secundarias, tanto para zonas controladas, como supervisadas (llamadas zonas no controladas). La ecuación a utilizar es:

$$WUT$$

Donde:

W. es la carga de trabajo en mA minuto/semana

U. es el factor de utilización

T. es el factor de ocupación

Para este método, se utilizan las tablas dadas en los anexos 7 y 8, para instalaciones de radiodiagnóstico y fluoroscopia, respectivamente. El cálculo en cada sala será:

Sala No 1:

El valor de W es de 97.8 mA minuto/semana; al observar la tabla del anexo 7, se ve que no hay valor exacto, sobre dicha carga de trabajo, por lo que se tomará el

criterio de diseño siguiente; de manera de asegurar la protección de la barrera elegida. En primer lugar, se tomará la carga de trabajo, próxima superior, es decir que para el caso de la sala 1, se tomará el valor de 100 mA minuto, para un emisor de 150 Kvp, como el que esta en la sala 1. El segundo criterio, esta basado en la distancia actual desde la fuente a las barreras; en las tablas no hay valor exacto para tales distancias, por lo que se tomará la distancia próxima inferior, para brindar protección a la barrera elegida.

Los valores de U y T se eligen de 1, para las tres salas, pues con ello se magnifican las protecciones a diseñar, es decir que el valor predominante es W.

Las barreras primarias están dadas por las siguientes distancias, las cuales se presentan con su valor próximo anterior, así se tendrá:

$$d_{priA} = 4.63 \text{ mts se aproximan a } 4.2 \text{ mts}$$

$$d_{p1} = 1.61 \text{ mts se aproxima a } 1.5 \text{ mts}$$

Nota: los valores de p_1 , p_2 y p_3 , se tomarán en centímetros de concreto, pues son los pisos de cada sala.

Para encontrar las barreras, se debe tener en cuenta, que se han establecido todas las áreas como "zonas supervisadas", debido a los flujos del público en las zonas controladas. Utilizando el anexo 7, se obtienen los siguientes espesores:

$$S_{priA} = 1.75 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{p1} = 23 \text{ centímetros de concreto}$$

Los valores de las distancias, de las barreras secundarias y su próximo inferior son:

$$d_{secB} = 1.25 \text{ mts} \approx 1.5$$

$$d_{secC} = 3.45 \text{ mts} \approx 3.0$$

$$d_{secD} = 0.56 \text{ mts} \approx 1.5$$

Los espesores respectivos, encontrados por tablas son:

$$S_{secB} = 1.05 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{secC} = 0.55 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{secD} = 1.05 \text{ mm de plomo}$$

Nota: este método presenta la desventaja de limitar los valores a los establecidos en las tablas, por que para valores inferiores o superiores a los presentados, no se dispone de sus espesores, lo que hace dudosas algunas respuestas.

Sala No 2:

Para esta sala, el valor de carga de trabajo es 179.4 mA minuto/semana, U y T son 1, así el valor próximo superior, a utilizar en las tablas será de 200 mA minuto. Las distancias de las barreras primarias con su próximo inferior son:

$$d_{\text{pril}} = 1.955 \text{ mts} \approx 1.5 \text{ mts}$$

$$d_{\text{p2}} = 0.805 \text{ mts} \approx 1.5 \text{ mts}$$

Los espesores de las barreras primarias, para las áreas no controladas, con 200 mA minuto, según tablas (anexo 7), serán:

$$S_{\text{pril}} = 2.9 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{\text{p2}} = 25 \text{ cm de concreto}$$

Las distancias, para las barreras secundarias son:

$$d_{\text{secF}} = 0.705 \text{ mts} \approx 1.5 \text{ mts}$$

$$d_{\text{secG}} = 1.52 \text{ mts} \approx 1.5 \text{ mts}$$

$$d_{\text{secH}} = 3.345 \text{ mts} \approx 3.0 \text{ mts}$$

Los espesores de las barreras secundarias, como zonas no controladas, para 200 mA minuto, son:

$$S_{\text{secF}} = 1.3 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{\text{secG}} = 1.3 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{\text{secH}} = 0.75 \text{ mm de plomo}$$

Sala No 3:

Para esta sala, la carga de trabajo es de 115.9 mA minuto/semana, como dicha instalación cuenta con fluoroscopia, se tomara el anexo 8, para efectos del cálculo de la barrera secundaria. De donde también se nota, que el valor próximo superior de dicha carga de trabajo, es de 200 mA minuto, utilizando los factores U y T con valor de 1, con un emisor de 150 Kvp.

Para encontrar la barrera primaria, se tomaran los valores de la tabla del anexo 7, para radiodiagnóstico.

Las distancias de las barreras primarias son:

$$d_{p3} = 2.038 \text{ mts} = 1.5 \text{ mts}$$

El espesor en centímetros de concreto será:

$$S_{p3} = 25 \text{ cm de concreto}$$

Para las barreras secundarias, las distancias y su respectivo próximo inferior, son:

$$d_{\text{secJ}} = 2.15 \text{ mts} \approx 2.1 \text{ mts}$$

$$d_{\text{secK}} = 2.72 \text{ mts} \approx 2.1 \text{ mts}$$

$$d_{\text{secL}} = 4.75 \text{ mts} \approx 4.2 \text{ mts}$$

$$d_{\text{secM}} = 2.31 \text{ mts} \approx 2.1 \text{ mts}$$

$$d_{\text{secN}} = 2.90 \text{ mts} \approx 2.1 \text{ mts}$$

$$d_{\text{secO}} = 2.16 \text{ mts} \approx 2.1 \text{ mts}$$

Los espesores de las barreras, de acuerdo a la tabla precalculada, son:

$$S_{\text{secJ}} = 1.3 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{\text{secK}} = 1.3 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{\text{secL}} = 0.6 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{\text{secM}} = 1.3 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{\text{secN}} = 1.3 \text{ mm de plomo}$$

$$S_{\text{secO}} = 1.3 \text{ mm de plomo}$$

4.9 COMPARACIÓN DE LOS ESPESORES OBTENIDOS, CON LOS EXISTENTES.

En la comparación de los espesores, se busca determinar si los espesores actuales, cumplen o no, su función.

Hay que mencionar que factores como los cambios del valor MDP para el público y personal ocupacionalmente expuesto, criterios de diseño, costos, disponibilidad de materiales, pueden influir, en la diferencia entre espesores diseñados en la actualidad y los encontrados en una instalación determinada.

Bajo ese criterio, se procede a observar en la siguiente tabla, la comparación de los espesores actuales, de las instalaciones del HNNBB y los diseñados en los tres métodos de cálculo:

# de barrera de sala de rayos-x	Espesor actual	Espesor calculado en el primer método	Espesor calculado en el segundo método	Espesor calculado en el tercer método
Pared A	1 mm de Pb	2.3 mm de Pb	3.9 mm de Pb	1.75 mm de Pb
Piso p ₁	25 cm de Ct	20.75 cm de Ct	35.84 cm de Ct	23 cm de Ct
Pared B	1 mm de Pb	2.42 mm de Pb	3.3 mm de Pb	1.05 mm de Pb
Pared C	1 mm de Pb	1.07 mm de Pb	1.8 mm de Pb	0.55 mm de Pb
Pared D	1 mm de Pb	3.69 mm de Pb	4.5 mm de Pb	1.05 mm de Pb
Piso p ₂	25 cm de Ct	30.4 cm de Ct	42.56 cm de Ct	25 cm de Ct
Pared F (1 y 2)	1 mm de Pb	3.84 mm de Pb	4.8 mm de Pb	1.3 mm de Pb
Pared G	1 mm de Pb	2.51 mm de Pb	3.3 mm de Pb	1.3 mm de Pb
Pared H	1 mm de Pb	1.34 mm de Pb	1.8 mm de Pb	0.75 mm de Pb
Pared I	1 mm de Pb	3.27 mm de Pb	4.8 mm de Pb	2.9 mm de Pb
Piso p ₃	25 cm de Ct	20.67 cm de Ct	33.6 cm de Ct	25 cm de Ct
Pared J	1 mm de Pb	1.11 mm de Pb	2.4 mm de Pb	1.3 mm de Pb
Pared K	1 mm de Pb	0.81 mm de Pb	1.8 mm de Pb	1.3 mm de Pb
Pared L	1 mm de Pb	0.46 mm de Pb	1.5 mm de Pb	0.6 mm de Pb
Biombo M	2 mm de Pb	0.92 mm de Pb	2.1 mm de Pb	1.3 mm de Pb
Pared N	1 mm de Pb	0.77 mm de Pb	1.8 mm de Pb	1.3 mm de Pb
Pared O	1 mm de Pb	1.11 mm de Pb	2.4 mm de Pb	1.3 mm de Pb

Los datos obtenidos, se han hecho en base a una carga de trabajo experimental de un año, él termino Pb significa Plomo y Ct es concreto.

De lo anterior se concluye, que los espesores actuales ya no son funcionales, para radioprotección, bajo el criterio de diseño propuesto.

CAPITULO V. ANALISIS DE LAS INSTALACIONES DEL HNNBB

5.1 VALIDACION DE LAS INSTALACIONES

Para establecer si una instalación para radiodiagnóstico, cumple con la misión de proteger a los usuarios y trabajadores, contra niveles de radiación nocivos a su salud, puede validarse dicha instalación, por métodos teóricos y prácticos.

Los métodos teóricos se realizaron en el capítulo IV; donde se establecieron los espesores de las barreras, según los criterios de diseño implementados. El método práctico, involucra realizar mediciones de los niveles de radiación, que se fugan por las barreras de protección radiológica. Hay que tener en cuenta que una barrera puede tener un nivel de fuga cero o cierto umbral de fuga, lo que la hace mas o menos efectiva, o más o menos costosa su fabricación.

En la determinación de los niveles de fuga de una instalación, se utilizan métodos dosimétricos, tales como mediciones de la tasa de dosis en una barrera, auxiliándose de equipos con cámaras de ionización, tales como los contadores Geiger. También se pueden hacer mediciones integrales durante un periodo de tiempo, en un área específica usando los dispositivos de banda de película o los DTL, ya que estos instrumentos almacenan en el tiempo, de manera acumulativa, la radiación que se recibe en una barrera, siendo de relativo bajo costo y con un amplio margen de medición.

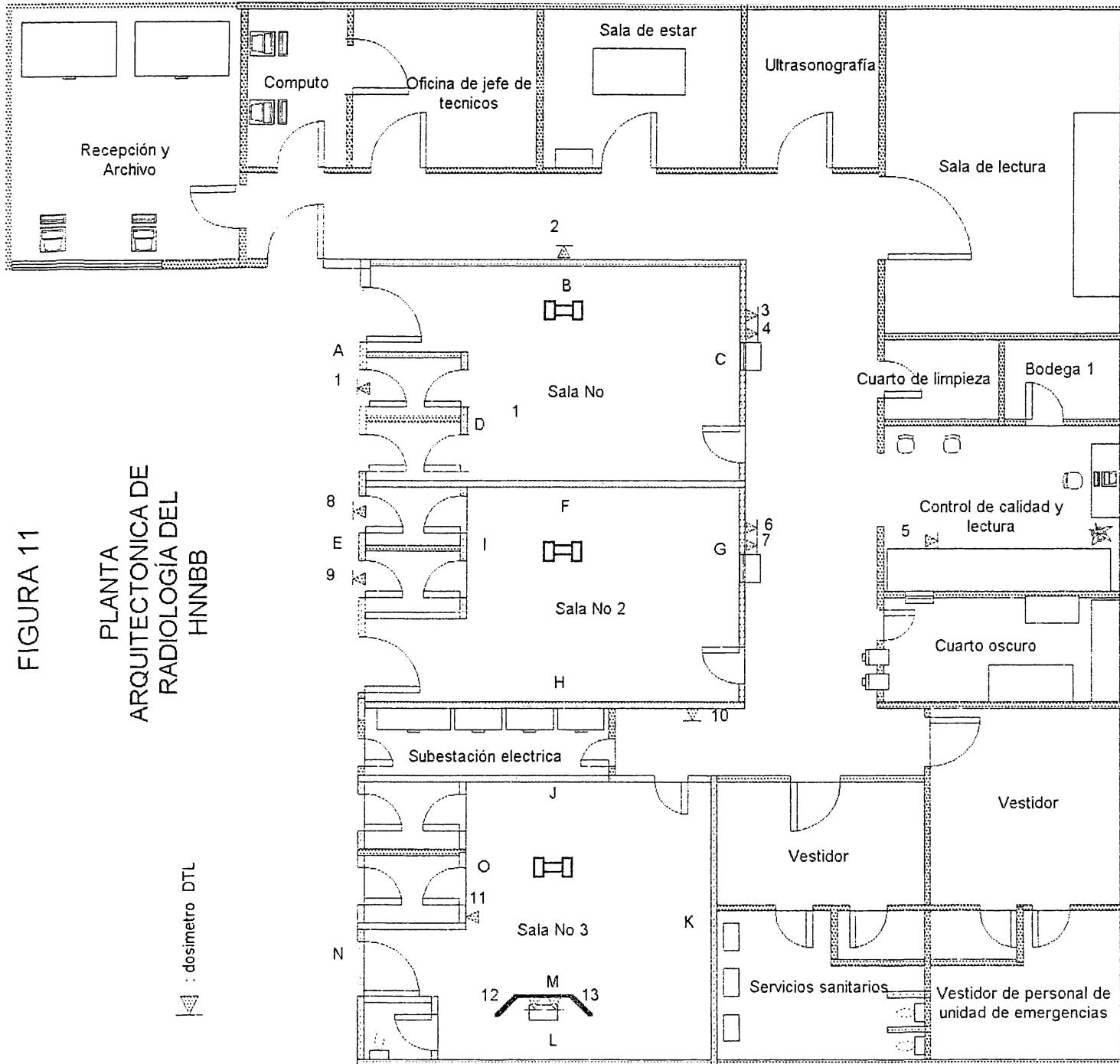
En las instalaciones del HNNBB, se colocaron durante un mes, dosímetros de DTL de tipo TLD-100 (de Fluoruro de Litio), los cuales son aplicables a los rayos x, además poseen un rango de dosis de 10 microGray a 10 Gray, suficiente para propósitos de validación, en una instalación.

Los dosímetros empleados, se colocaron estratégicamente en el área de radiología del HNNBB (fig. 11), teniendo en cuenta los siguientes criterios:

1. Las zonas que se validaron son las áreas controladas y supervisadas, mostradas en la planta arquitectónica de radiología (figura 10).
2. Los dosímetros se colocaron a una altura de 65 cm del piso, bajo el criterio de vigilar la exposición recibida por las gónadas, ya que son los órganos humanos con mayor radiosensibilidad, debido a su alto nivel metabólico.
3. Los contenedores de los cristales de DTL, cuentan con dos espacios o ventanas que poseen filtros especiales, uno de aluminio, simulando la piel, para cuantificar la exposición para dosis de piel, y otro de mylar, simulando el tejido interno para cuantificar la dosis profunda o subcutánea, bajo el criterio de conocer las dosis absorbidas por un ser humano

FIGURA 11

PLANTA
ARQUITECTÓNICA DE
RADIOLOGÍA DEL
HNNBB



4. El intervalo de medición fue de un mes, ya que para dosimetría, deben utilizarse durante no más de dos meses, pues el error de la lectura crece con el tiempo, debido a efectos ambientales, tales como temperatura y humedad.
5. La ubicación de los dosímetros, se realizó teniendo en cuenta, el tipo de barrera (primaria y secundaria). Colocándose detrás de la barrera, para poder cuantificar la cantidad de radiación, que se fuga de una barrera.
6. En las áreas de la consola del operador, en las salas 1,2 y 3, se colocaron dos dosímetros juntos, con el objetivo, de poder comparar sus lecturas y comprobar la exactitud de la medición.

5.2 ANALISIS DEL COSTO BENEFICIO DE LA RADIOPROTECCION

El uso de las radiaciones ionizantes, contribuye al bienestar con importantes aportes, directos e indirectos, para mejorar la salud a través de la medicina, la industria y la investigación. Se justifica su uso cuando se asegura una ventaja neta. En la decisión de la aplicación y de la utilización de las radiaciones ionizantes, se debe realizar un análisis del costo-beneficio.

El concepto de costo-beneficio, se utilizó por primera vez en la publicación número 22, del ICR, en 1973, donde se uso el concepto de "costo del detrimento", para una sociedad; definido como el valor monetario del impacto potencial a la salud, asociado con el nivel de exposición. En dicho cálculo se aplica la siguiente ecuación:

$$Y=\alpha S$$

Donde :

Y: es el costo del detrimento

S: es la exposición colectiva, la cual es la sumatoria de las exposiciones individuales, de los miembros de una sociedad o grupo en especial, el cual para este caso será el personal del departamento de Radiología del HNNBB.

α : es el valor monetario de la unidad de dosis colectiva

El término α , se relaciona con el valor Sievert-hombre, el cual es el producto de la dosis promedio, en un grupo expuesto a una fuente de radiación, multiplicado por el número de personas en el grupo.

La pérdida de la esperanza de vida asociada con un Sievert-hombre, se deriva de los coeficientes de riesgo, publicados por la ICRP. El método propuesto por la ICRP, establece que el valor monetario de la pérdida de un año de vida, está dado por una aproximación del capital humano, donde el valor monetario está dado por la Producción Anual Bruta (PIB) per capita, en el país considerado en el análisis.

La clave de este modelo de costo-beneficio, está en buscar el costo total mínimo, dado por el costo de una protección más el costo del detrimento.

A continuación se muestran algunos promedios en la pérdida de la esperanza de vida, tomados de la NRC (Concilio Nacional de la Radiación), según diferentes causas:

RIESGO EN LA SALUD	PERDIDA ESTIMADA DE VIDA
Fumar una cajetilla al día	6 años
Sobre peso del 15%	2 años
Consumo de alcohol	1 año
Cualquier accidente	207 días
Cualquier peligro natural	7 días
Dosis ocupacional de 300 mR/año	15 días
Dosis ocupacional de 1000 mR/año	51 días
RIESGOS EN EL TRABAJO	PERDIDA ESTIMADA DE VIDA
Cualquier industria	60 días
Agricultura	320 días
Construcción	227 días
Minería	167 días
Fabricación	40 días
Dosis ocupacional de 300 mR/año	15 días
Dosis ocupacional de 1000 mR/año	51 días

En la publicación 60 de la ICRP, se considera otro modelo de costo-beneficio, el cual tiene como objetivo el reducir la exposición colectiva, reducir la dispersión de exposiciones individuales, es decir uniformar la tasa de exposición, dando prioridad a los niveles altos de exposición individual. Donde se aplica el concepto de aversión y prudencia en el campo de la protección radiológica, ya que se genera la hipótesis de un incremento en el riesgo con el nivel de exposición. Al incrementarse dichas exposiciones aumenta el valor monetario de la unidad de exposición individual.

El modelo propuesto (tomado del documento publicado por la Asociación Internacional de la Protección Radiológica (IRPA), en el noveno congreso sobre optimización de la radioprotección) para el valor monetario del Sievert-hombre está dado en la siguiente ecuación:

$$\alpha_{\text{ref}}(d) = \alpha_{\text{Base}} \quad \text{para } d < d_0 \quad (\text{ec.10})$$

$$\alpha_{\text{ref}}(d) = \alpha_{\text{Base}} (d/d_0)^a \quad \text{para } d \geq d_0 \quad (\text{ec.11})$$

Donde:

$\alpha_{\text{ref}}(d)$: es la referencia del valor monetario de la unidad de dosis colectiva para el nivel anual de exposición individual d

d : es el nivel anual de exposición individual

α_{Base} : es el valor monetario básico de la unidad de exposición colectiva

d_0 : es el nivel superior de la exposición individual para el cual $\alpha_{\text{ref}}(d) = \alpha_{\text{Base}}$

a : es el coeficiente característico del grado de aversión de la dispersión del riesgo ($a = 0$ para $d < d_0$; $a \neq 0$ para $d \geq d_0$)

De manera práctica, para implementar este modelo, se necesita dar valor a los parámetros " α_{Base} ", " d_0 " y " a ", los cuales son sugeridos por la ICRP.

El valor de α_{Base} representa, por definición de la ICRP 60, el valor monetario del detrimento de la salud asociado con una unidad de dosis colectiva.

El valor de d_0 corresponde al nivel superior de dosis individual, junto al cual la aversión de la dispersión de exposición no sea considerada. Este valor depende del grado de aceptación del riesgo, de la población expuesta. En el caso de la exposición ocupacional, es razonable adoptar el valor correspondiente al límite de la exposición individual para el público (1 mSv/año).

El coeficiente " a " refleja el grado de aversión de la dispersión de la exposición individual. Donde la ICRP establece que " a " puede ser mayor que 1, para satisfacer los tres valores mencionados. En el caso de la exposición ocupacional, el rango de valores será de 1.2 a 1.5 (precalculado por la ICRP).

En el análisis económico, los costos de operación para la protección radiológica incluyen el costo total del sitio, el costo de los salarios, el costo del entrenamiento y el costo del material gastable (por ejemplo: chalecos protectores). La evaluación debe involucrar el cálculo del número de personas necesarias para cada tarea y el tiempo total, tomado para realizar una labor (inclusive, el tiempo necesario para llegar al lugar de trabajo y el tiempo tomado en vestirse y desvestirse, el tiempo del almuerzo, etc.)

El sistema de valor monetario de referencia para un Sievert-hombre, es una ayuda para tomar una decisión cuando esta siendo considerada una medida de protección radiológica. El sistema se basa en la protección racional de la salud y en la administración preventiva del riesgo radiológico. Al igual que en las recomendaciones de la ICRP, lo que se busca es la igualdad en la distribución de las dosis individuales, en el sentido que entre mayor sea la categoría de los trabajadores que reciben la dosis individual más alta (anual), implica que esta mas preparado. El sistema de valor monetario de referencia solamente puede ser implementado si se desea determinar adecuadamente la exposición de varios grupos de trabajadores.

En radioprotección, la optimización es el análisis del costo beneficio, donde la dosis colectiva es asignada a un valor monetario, el cual es actualmente derivado del "valor de la vida humana", con ayuda de relaciones a la dosis de exposición.

El análisis de una protección radiológica, se caracteriza por el valor de dosis colectiva y del costo del financiamiento de dicha protección.

Todo lo anterior se resume en la aplicación del principio ALARA, el cual esta considerado como un "estado mental", pues es la conciencia de cada individuo el cumplir o no las reglas de la radioprotección.

Otro aspecto importante en la radioprotección, es el hecho de que al proteger trabajadores y público contra la radiación ionizante, el nivel de riesgo, nunca será cero, pues no es un objetivo razonable, ya que esto significaría un uso extensivo de los recursos para la protección, para poder alcanzar el nivel de riesgo cero.

El alcance general de la optimización de la protección, es el asegurar que el nivel de las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de ser sujeto a exposiciones; cuando el nivel es incierto, se mantengan tan bajo como sea razonablemente posible, tomando en cuenta factores económicos y sociales, según los recursos y cultura de un país.

Como ejemplo de análisis del costo beneficio, se presenta el siguiente caso:

Cada año durante el relleno de un tanque de una planta nuclear, una válvula debe ser desensamblada para inspección y debe ser reensamblada. Dicho trabajo lo realizan tres mecánicos en al menos cinco horas.

Investigaciones hechas por la EDF (Electricidad de Francia), se sabe que el rango de dosis recibida es de 0.5 mSv/hora y que las dos fuentes que contribuyen a dicha dosis son: una tubería (0.4 mSv/hora), la cual es rellena con agua por el trabajador, con la válvula y la válvula por sí misma (0.1 mSv/hora). La exposición individual de cada mecánico será de 2.5 mSv en las cinco horas y la dosis total de exposición colectiva para dicha trabajo será de 7.5 mSv.

Ante tal situación, surge la pregunta de que si cualquier acción de radioprotección aplicable, tendrá un costo razonable para reducir la exposición.

Para el propósito del ejemplo, una sola acción de protección radiológica esta planeada, es decir, la instalación de un blindaje entre la tubería y la estación de trabajo, durante el cambio de la válvula.

Por razones de seguridad, el blindaje no puede permanecer en ese lugar después de que el trabajo ha sido completado. El tiempo que lleva el colocar el blindaje y removerlo puede demorar 30 minutos en el área. Luego de colocar el blindaje, el rango de dosis en la estación de trabajo desde la tubería, se reduce a 0.1 mSv/hora. Este rango de dosis se agrega a la dosis existente en la válvula, la cual es de 0.2 mSv/hora.

Sin embargo, la dosis recibida por los trabajadores tiene un rango de 0.5 mSv/hora, lo cual debe tomarse en dichas cantidades. La dosis colectiva será reducida de 7.5 Sievert-hombre a 3.5 Sievert-hombre, debido a la reducción de 4.5 Sv-hombre en los mecánicos gracias al blindaje, pero se incluye una dosis adicional de 0.5 mSv/hora en la colocación de la protección.

El costo total en la instalación del blindaje es de \$410 incluyendo el valor de una hora de trabajo en la colocación (a \$20 la hora).

El costo anterior, hace la pregunta de que si es razonable gastar \$410 para ahorrar 4 Sievert-hombre. La respuesta a esta pregunta, obviamente depende de la máxima cantidad que la compañía esta dispuesta a pagar para evitar la dosis de un Sievert-hombre.

Desde que cada tipo específico de trabajador, esta caracterizado por un promedio de dosis individual, con un correspondiente valor monetario de referencia asignado para cada Sievert-hombre.

Considerando en el ejemplo de la inspección de la válvula, asumiendo que la dosis principal individual para los mecánicos y para el instalador es de 12 mSv/año y de 45 mSv/año, con un valor de referencia monetario para los Sievert-hombre de \$400 y de \$2700, respectivamente (ver tabla 13). Esos valores se utilizan para determinar la cantidad máxima que la compañía considera razonable pagar en la instalación del blindaje, en vista del ahorro en dosis que representa, dicha cantidad se conoce como "costo razonable".

El costo razonable puede definirse para cada tipo de trabajador, usando el producto de la reducción de dosis colectiva por el valor de referencia monetario del Sievert-hombre. El costo total razonable corresponde a la suma algebraica del costo razonable obtenido de cada categoría específica de trabajadores. En el ejemplo dado, este costo es de \$450, por lo que el blindaje considerado, es razonable pues solo costaría \$410.

En las siguientes tablas se observan los valores monetarios para los Sievert-hombre y el desarrollo de la sumatoria para encontrar el costo razonable (tabla 14).

Nota: los datos mostrados son los utilizados por la EDF de Francia, país reconocido como autoridad, en lo referente al análisis del costo beneficio en la radioprotección.

RANGO DE DOSIS INDIVIDUAL (mSv)	VALOR DEL SIEVERT-HOMBRE (\$)
0 a 1	20
1 a 5	90
5 a 15	400
15 a 30	1200
30 a 50	2700

TABLA 13.- VALORES DE REFERENCIA MONETARIA DE LOS SIEVERT-HOMBRE, SEGÚN LA EDF DE FRANCIA

TIPO DE TRABAJADOR	REDUCCIÓN EN LA DOSIS COLECTIVA	VALOR MONETARIO DE REFERENCIA PARA LOS SIEVERT-HOMBRE	COSTO RAZONABLE
Mecánicos	4.5 Sievert-hombre	\$400	\$1800
Instalador	-0.5 Sievert-hombre	\$2700	-\$1350
		COSTO TOTAL RAZONABLE: \$ 450	

TABLA 14.- CALCULO DEL COSTO RAZONABLE

5.2.1 CALCULO DE LOS VALORES DE REFERENCIA MONETARIOS DEL SIEVERT-HOMBRE EN EL SALVADOR

En El Salvador, no se poseen registros sobre el cálculo del valor del Sievert-hombre, por lo que se harán las siguientes estimaciones, según la información disponible.

Para establecer el valor monetario de los Sievert-hombre, se utilizara la ecuación 11, donde el valor de α_{Base} esta dado por la producción anual bruta (PIB) por habitante, tomando su valor total o la porción proveniente de los servicios relacionados con la salud. En el caso de El Salvador en 1999, el PIB por habitante fue de \$2026 (dato tomado de la pagina web del BCR) y la porción de salud en 1999 fue del 6.6 % (Servicios Comunes, Sociales, Personales y Domésticos,

según el Ministerio de Economía) es decir representan \$121.56, en los gráficos 12 y 13 se muestran los valores de referencia monetario, tomando el valor total del PIB por habitante y la porción del ramo de salud del PIB por habitante, donde para ambos casos, se utilizaron para el gráfico, las ecuaciones 1 y 2; para valores de d , desde cero a 50 mSv, el valor de d_0 , se tomó de 1 mSv (valor mas alto permitido para el público), el valor de "a" se escogió de 1.5 por definición, luego sustituyendo los diferentes valores de d , en las ecuaciones 1 y 2 (cumpliendo las restricciones establecidas en ellas) se lograron los respectivos gráficos 12 y 13

El grupo de trabajadores de base, será los ocupacionalmente expuestos, donde el grado de aceptación del riesgo esta dado por:

El valor de d_0 elegido será de 1 mSv/año, siendo el valor de dispersión de exposición, no considerado para el personal ocupacionalmente expuesto.

El valor de d , ira de cero a 50 mSv, para establecer los diferentes valores monetarios de Sievert-hombre, según los niveles de dosis.

El valor de a , se asume de 1.5; luego utilizando los valores elegidos de d , d_0 , a y α_{Base} se obtiene los valores de $\alpha_{ref}(d)$, a través del uso de las ecuaciones 1 y 2, donde los resultados se muestran en las gráficas 12 y 13, en ellos se muestran los valores de los niveles de exposición individuales contra el valor monetario de la unidad de exposición colectiva.

5.2.2 PASOS PARA ESTABLECER EL COSTO BENEFICIO

Bajo criterio de la IRPA(Asociación Internacional de la Protección Radiológica), se establecen los siguientes pasos, para realizar un análisis del costo beneficio de una protección radiológica.

- a- En primer lugar hay que establecer el número de trabajadores y el número de horas trabajadas, para determinar los mSv/hora, en el caso del HNNBB, los trabajadores en radiología son 18, con turnos de 6 horas, donde se espera que los 18 técnicos reciban no más de 0.057 mSv al día (producto de dividir 20 mSv por 50 semanas y su resultado se divide por 7 días y se multiplica por los 18 trabajadores, para encontrar el valor de la dosis colectiva), es decir la dosis colectiva será de 1.029 mSv, al dividir ese valor de dosis por el número de horas trabajadas, se tienen 0.171 mSv/hora. Con la dosis de 50 mSv, se obtiene un valor de 2.571 mSv, o bien 0.429 mSv/hora.

En el caso del público donde médicos y personal administrativo, permanece en el área un promedio de 2 horas, por ejemplo un medico interno permanece 45 minutos dentro del área en una clase de radiología, luego pasa un promedio de 1 hora solicitando placas de pacientes provenientes del departamento de emergencias y luego ayuda durante 15 minutos en un examen radiológico a un paciente de hospitalización; una enfermera

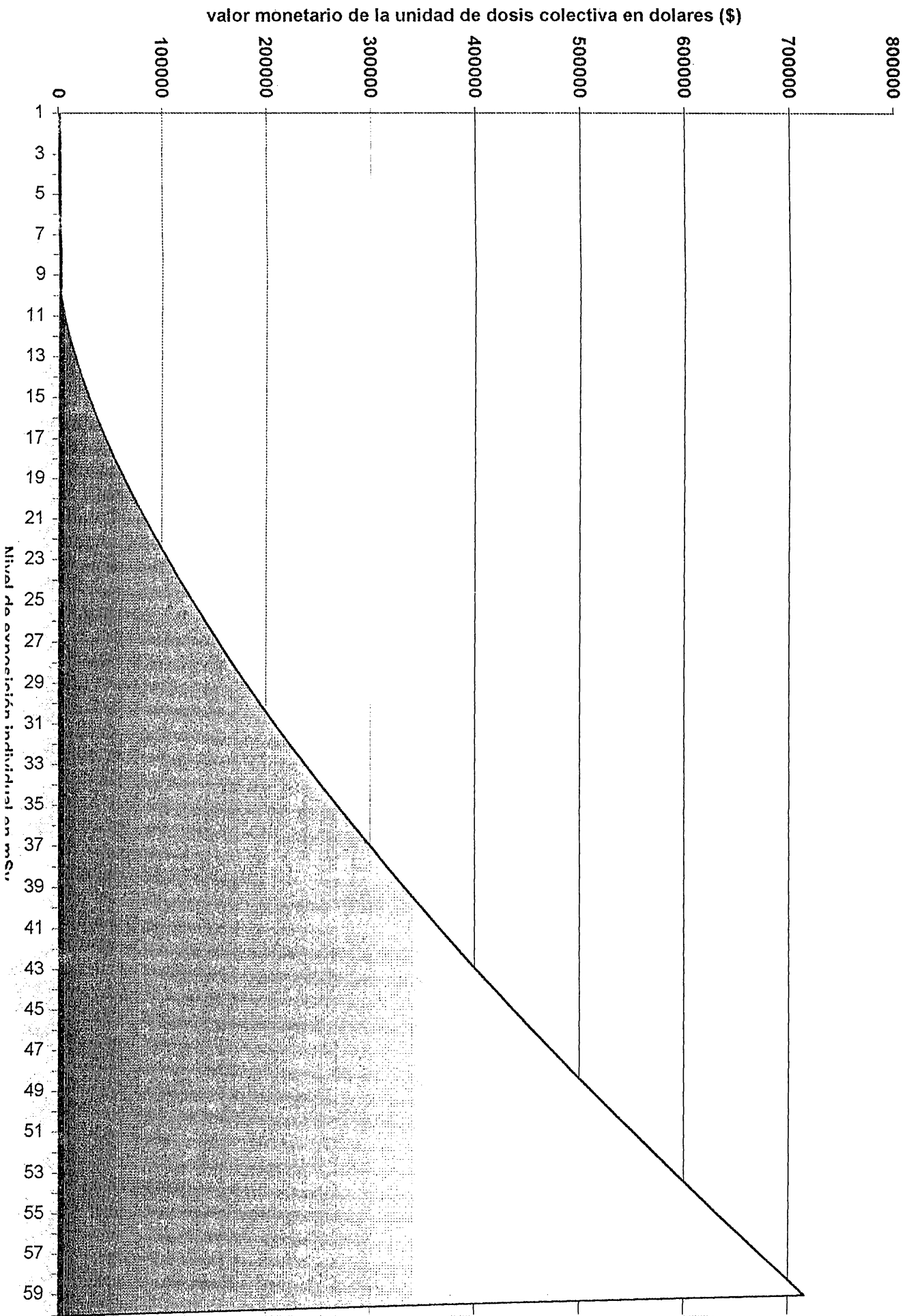
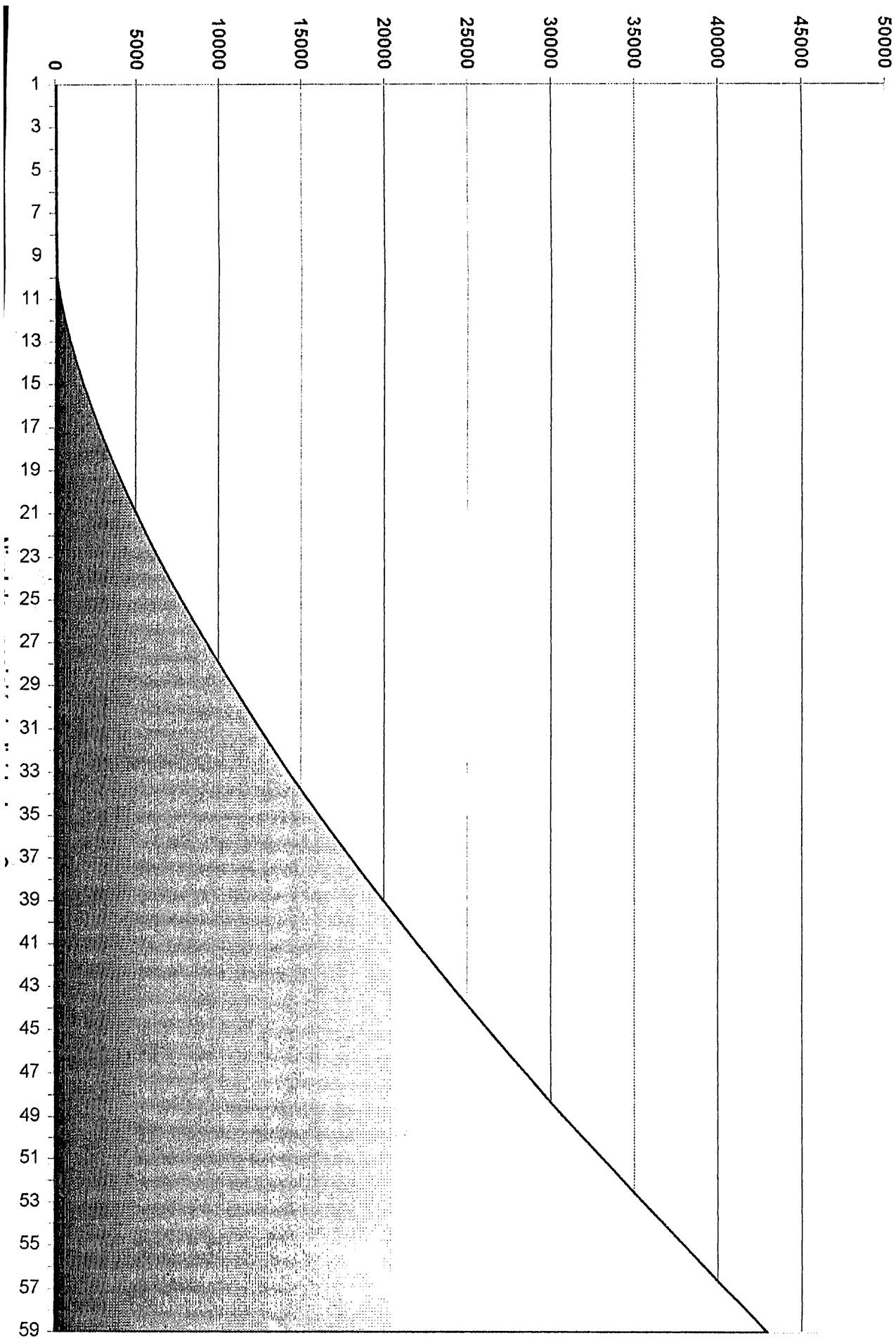


FIGURA 12.-VALOR MONETARIO DEL SIEVERT HOMBRE CON TODO EL VALOR DEL PIB

FIGURA 13.- VALOR MONETARIO DEL SIEVERT HOMBRE, SEGÚN LA PORCIÓN DEL RAMO DE LA SALUD DEL PIB



destacada para cateterismo o para ayudar a un paciente durante un examen radiológico, permanece según información suministrada por el departamento de enfermería del HNNBB un tiempo estimado de 2 horas; por lo que para una dosis de 5 mSv, el valor recibido por una persona en ese intervalo será de 0.014 mSv (5 mSv entre 50 semanas dividido por 7 días), o lo que en las dos horas representa 0.007 mSv/hora.

En la reducción de la exposición a 1 mSv, se obtienen 0.003 mSv, los que en dos horas son 0.0015 mSv/hora. Se supondrá que el número promedio de personas del público en el área es de 8 (4 secretarias y 4 médicos), por lo que la dosis colectiva es para el caso de los 5 mSv, de 0.114 mSv/hora; en la reducción a 1 mSv será de 0.023 mSv/hora.

Así para el caso del POE, se busca reducir el valor de dosis colectiva, en 6 horas, de 2.571 mSv a 1.029, es decir un valor neto de 1.542 mSv o 1.542 Sievert.hombre. Para el público, la reducción será de 0.114 mSv a 0.023, o sea un valor neto de 0.091 Sievert-hombre

- b- Conocer el costo de una instalación con blindaje, el cual contiene el costo de la mano de obra y el costo de la amortización, dada cada vez que se usa la barrera. El costo aproximado de las barreras, en las instalaciones de las salas 1, 2 y 3, del HNNBB será de 240, 415 colones, en una instalación a nivel del suelo. Si están en una planta específica del edificio, será de 307, 031 colones. En los costos anteriores se incluye la mano de obra y materiales, para paredes de 25 cm de concreto, en un área de 175.3 m², con paredes de 2.6 m de altura. Si en lugar de concreto se coloca plomo de 2 mm, el costo de las instalaciones es de 435, 177 colones, para una instalación al nivel del suelo. Si la instalación esta en un piso determinado, el costo de las instalaciones, con plomo de 2 mm será de 505, 076 colones aproximadamente(fuente: Laudo Arbitral de la Industria de la Construcción)
- c- De las tablas 15 y 16 de los valores monetarios de los Sievert-hombre (previamente calculada, según lo recomendado anteriormente por la ICRP 60), se obtiene el costo razonable. El costo razonable, puede definirse para cada tipo de trabajador, usando el producto de la reducción de dosis colectiva por el valor de referencia monetaria del Sievert-hombre.

El costo total razonable corresponde a la suma algebraica de los costos razonables, obtenidos de cada categoría de trabajador. Según la información recabada, del valor total del PIB por habitante y de la porción del PIB por habitante, dada por el ramo de la salud, se encuentran los siguientes valores, según el tipo de trabajador. En el HNNBB, los valores monetarios, están dados por:

RANGO DE DOSIS INDIVIDUAL (mSv)	VALOR DEL SIEVERT-HOMBRE (\$)
0-1	2026
1-5	10, 312.68
5-15	47, 524.3
15-30	107, 602.9
30-50	191, 696.7

TABLA 15.- VALORES DE REFERENCIA MONETARIOS, ESTIMADOS EN EL SALVADOR UTILIZANDO EL VALOR TOTAL DEL PIB

RANGO DE DOSIS INDIVIDUAL (mSv)	VALOR DEL SIEVERT-HOMBRE (\$)
0-1	121.56
1-5	618.76
5-15	2, 851.45
15-30	6, 456.17
30-50	11, 501.8

TABLA 16.- VALORES DE REFERENCIA MONETARIOS, ESTIMADOS EN EL SALVADOR UTILIZANDO LA PORCION, PRODUCTO DEL RAMO DE LA SALUD DEL PIB

- d. En la obtención del costo razonable, hay que especificar, en cuanto se va a reducir la dosis colectiva. Luego se multiplica el dato obtenido con el valor monetario de referencia (Sievert-hombre) encontrándose así, el costo total razonable. La reducción de la dosis para el POE, será de 50 mSv (dosis considerada en la época del diseño actual de las instalaciones) a 20 mSv, para el público (personal médico y administrativo de hospital), tendrán una reducción de 5 mSv a 1 mSv (bajo el criterio de la reducción de las dosis anteriores a las establecidas en 1993, por la ICRP).

El resultado de la reducción se muestra en las tablas 17 y 18 según el valor tomado del PIB por habitante; donde en ambos casos, según el tipo de trabajador se tiene una reducción en la dosis, tal como se estableció en el paso a, luego según el valor de referencia monetario de la dosis actual que recibe el trabajador, se obtiene su respectivo valor, por ejemplo el POE recibiría una dosis de 50 mSv, lo cual en la tabla 15 y 16 equivale para el valor total del PIB por habitante, a \$191,696,7 y para la porción de los servicios de la salud \$11,501.8.

Como siguiente paso se multiplica el valor monetario con la reducción en la dosis colectiva, para encontrar el costo razonable, como último paso se realiza la sumatoria de los costos razonables, según el tipo de trabajador y

su supuesta dosis a recibir. Para realizar el análisis del costo beneficio, según el valor del costo razonable, se compara el costo de la barrera o instalación, contra el valor obtenido de costo razonable, donde si el valor del blindaje es mayor que el costo razonable, indica que no es recomendable la inversión en protección, pues el ahorro en la reducción de la dosis es menor.

Si en costo de la barrera es menor que el valor monetario del costo razonable, debido a la reducción en la dosis, implica que si es conveniente invertir en la barrera.

TIPO DE TRABAJADOR	REDUCCIÓN EN LA DOSIS COLECTIVA	VALOR MONETARIO DE REFERENCIA PARA LOS SIEVERT-HOMBRE	COSTO RAZONABLE
POE	1.542 Sievert-hombre	\$191, 696.7	\$295, 596.3
Personal médico y administrativo	0.091 Sievert-hombre	\$10, 312.68	\$938. 4
		COSTO TOTAL RAZONABLE	\$296, 534.7

TABLA 17.- CALCULO DEL COSTO RAZONABLE, UTILIZANDO EL VALOR TOTAL DEL PIB, EN EL SALVADOR

TIPO DE TRABAJADOR	REDUCCIÓN EN LA DOSIS COLECTIVA	VALOR MONETARIO DE REFERENCIA PARA LOS SIEVERT-HOMBRE	COSTO RAZONABLE
POE	1.542 Sievert-hombre	\$11, 501.8	\$17, 735.8
Personal médico y administrativo	0.091 Sievert-hombre	\$618.76	\$56.3
		COSTO TOTAL RAZONABLE	\$17, 792.1

TABLA 18.- CALCULO DEL COSTO RAZONABLE, UTILIZANDO LA PORCIÓN DEL RAMO DE LA SALUD DEL PIB, EN EL SALVADOR

De los datos anteriores, se observa que en el primer caso, el ahorro proyectado para los 1.633 Sievert-hombre, será de \$296, 534.7, es decir en colones (8.75 colones por un dólar) son 2, 594, 678.6 colones, los que al compararlos con el precio de las instalaciones. Demuestra que si es justificable el hecho de proteger

al personal y público. Ya que los costos de dichas barreras, no sobrepasan, en ninguna de las alternativas presentadas, el millón de colones, por lo que según el costo beneficio, es aceptable en invertir en las barreras de protección.

En el segundo caso del valor de PIB, el ahorro en los 1.633 Sievert-hombre, es de \$17, 792.1, es decir 155, 680.9 colones; de donde se deduce que con este ahorro, sale mas caro el hecho de proteger al personal, pues todas las alternativas sobrepasan los 200, 000 colones. En este caso, no es justificable en hecho de invertir en las barreras, si el valor monetario de los Sievert-hombre, no absorben el costo de la inversión. Con esta situación, se puede observar que el valor del producto de los servicios de salud (porción del PIB) es insuficiente, al considerar el análisis anterior. Por lo tanto, para poder justificar en el HNNBB, el costo de una remodelación en las instalaciones de radiología, se debe considerar que el valor monetario de los Sievert-hombre, son los obtenidos del valor total del PIB, pues con los valores de dicho análisis, se justifica grandemente la inversión.

- e. A pesar de los conceptos establecidos en el análisis del costo-beneficio, normalmente prevalece en diseño de las protecciones radiológicas, el criterio individual de los planificadores de los servicios de salud

5.3. MATERIALES UTILIZADOS EN LAS BARRERAS PARA LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Para radioprotección, muchos materiales pueden utilizarse, empleando el suficiente espesor para atenuar la radiación, según el nivel que se requiera. Aunque los dos materiales mayormente utilizados son el plomo y concreto, otros materiales proveen más ventajas, bajo ciertas circunstancias. En la selección del material del blindaje, los siguientes factores deben considerarse:

1. Espesor necesario y peso del material
2. Posibilidad de múltiples usos (por ejemplo, uso del material como blindaje y para propósitos estructurales)
3. Uniformidad del blindaje
4. Duración del blindaje
5. Transparencia óptica (cuando se requiera)
6. Cumpla con los requerimientos del control de calidad
7. Costo del material, incluyendo instalación y mantenimiento
8. Apariencia

Generalmente se elige plomo y concreto debido a razones económicas además depende de la energía de la radiación a ser atenuada. Por ejemplo, una protección primaria de concreto para una instalación de rayos-x de 100 Kv, tendrá 80 veces el espesor y 17 veces el peso de una instalación de plomo, para proveer el mismo grado del blindaje

Cuando la consideración del espacio es muy importante, es en algunos casos, ventajoso el uso del plomo o acero en algunas partes. Por muchos años ha sido una regla general que el plomo es más económico que el concreto, como material para el blindaje, para barreras en equipos de rayos-x con máquinas que operan abajo de 300 Kv. Sin embargo, cambios en las condiciones económicas y variaciones en los precios locales, pueden llegar a ser efectos negativos en casos específicos, por lo que se deben hacer comparaciones económicas, donde la elección económica no es obvia.

En la tabla 19, se muestran algunos de los materiales más utilizados en la radioprotección, junto a su precio:

TIPO DE MATERIAL	DIMENSIÓN BÁSICA	PRECIO EN COLONES	RANGO DE DENSIDAD (gm/cm ³)
Sulfato de bario	Libra	17	3.6 - 4.1
Ladrillo blando	Metro cuadrado	300	1.4 - 1.9
Ladrillo duro	Metro cuadrado	260	1.8 - 2.3
Plomo de 2 mm	Metro cuadrado	1580	11.36
Vidrio plomado de 2 mm	Metro cuadrado	32, 300	3.27
Mármol de 2 cm	Metro cuadrado	2260	2.6 - 2.86
Concreto de 25 cm de espesor	Metro cuadrado	450	2.25 - 2.4
Acero de 2 mm	Metro cuadrado	678	7.8
Laminas de plástico de 3 mm	Metro cuadrado	697	1.6 - 2.5
Panel acrílico plomado de 2 mm	Metro cuadrado	60, 000	2.4 - 3.6

TABLA 19.- PRECIOS DE LOS MATERIALES USADOS COMO BARRERAS

De los precios mostrados en la tabla anterior, se hará una comparación, tomando como base la sala 2, del HNNBB, la cual posee, según las dimensiones de las paredes, un área de 53.58 m², por lo que los precios según el tipo de barrera serán:

MATERIAL DE LA BARRERA	PRECIO DEL BLINDAJE EN COLONES
Sulfato de bario	Desconocido
Ladrillo blando	16, 074
Ladrillo duro	13, 930.8
Plomo de 2 mm	84, 656.4
Vidrio plomado de 2 mm	1, 730, 634
Mármol de 2 cm	121, 090.8
Concreto	24, 111
Acero de 2 mm	36, 327.24
Laminas de plástico de 3 mm	37, 345.26
Panel acrílico plomado de 2 mm	3, 214,800

Analizando la tabla anterior, desde el punto de vista económico, demuestra que los materiales más baratos para la construcción de las barreras, son el ladrillo duro, el ladrillo blando y el concreto. Pero hay que considerar a parte del factor económico, los factores anteriormente planteados, por ejemplo, la densidad del

concreto es superior a la de los ladrillos, ya que la porosidad de estos últimos es notoria.

De ese análisis, se puede decir que el siguiente grupo de barreras confiables serían las láminas de acero, plástico y plomo, siendo este último el que mayor número atómico presenta, por lo que al momento de elegir entre los distintos materiales, siguen prevaleciendo el plomo y el concreto.

El último grupo de materiales abarca al vidrio y acrílico plomado, los cuales económicamente, son inaceptables. Su función y utilidad principal, estriba en la transparencia óptica, por lo cual, en la mayoría de los casos, solo se utilizan como ventanas protectoras, para poder observar a los pacientes durante los exámenes de radiodiagnóstico.

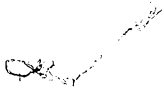
Además de los materiales presentados, existen muchos otros que se pueden utilizar para el mismo fin, pero poseen las desventajas de precio, disponibilidad, durabilidad y peso, entre otras desventajas, por lo que siguen siendo el plomo y el concreto, los materiales que en El Salvador, prevalecen como los más factibles en la construcción de las barreras de radioprotección.

5.4. ANALISIS DE RESULTADOS

Para realizar el análisis de los niveles obtenidos en el área de radiología del HNNBB, mediante la dosimetría con DTL, hay que tener en cuenta que para el personal ocupacionalmente expuesto (POE), la MDP es de 20 mSv/año, es decir, al dividir entre 12 meses, se obtiene 1.67 mSv/mes; en el caso del público, la MDP es de 1mSv/año, equivalente a 0.083 mSv/mes.

Los valores presentados a continuación, son los obtenidos durante un mes, mediante el monitoreo de las instalaciones de radiología, dichos niveles son:

# del dosimetro, según su ubicación	Dosis promedio (mSv)
1	0.1054
2	0.1107
3 y 4	0.1126
5	0.1186
6 y 7	0.1035
8	0.1102
9	0.1156
10	0.1362
11	0.2515
12 y 13	0.1515



La posición de los dosímetros se muestra en la planta arquitectónica, de la figura 11.

Al comparar la MDP con los valores medidos, se concluye que el POE, estuvo expuesto durante ese intervalo de tiempo a niveles inferiores a los establecidos para ellos (1.67 mSv/mes), por lo tanto, suponiendo que si un miembro del POE, permaneciera en cualquiera de los puntos monitoreados, durante un mes, demuestra que la dosis recibida es menor que la establecida para él, como se observa en la tabla anterior, lo que determina que el espesor actual de las barreras de protección, todavía es seguro para ellos.

En el caso del público, los niveles recibidos son mayores a 0.083 mSv/mes, si se observa la tabla anterior, y si se toma en cuenta el flujo interno dentro de radiología, por la presencia del público, todas las áreas se consideran como supervisadas. Por lo tanto con dicho análisis se observa que para el público, el espesor de las barreras, no es seguro, si se considera que su permanencia en el área de radiología, es grande, en especial para el caso del personal administrativo.

Debido a falta de recursos, el monitoreo se realizó solo durante un mes, por lo que dentro de la trayectoria normal del área de radiología, la muestra estadística posee la incertidumbre de que si se trata de un máximo o mínimo, pues dentro de radiología, no hay controles internos exactos, que permitan cuantificar la carga de trabajo, para así compararla con las anteriores.

4.3 CALCULO DE NUMERO DE SALAS Y DISTRIBUCIONES DE LAS CARGAS DE TRABAJO POR SALA

Muchos diseñadores han desarrollado criterios generales, para estimar el tamaño de un departamento de radiología, algunas de las recomendaciones son:

- 1) Para el cálculo del número de salas necesarias, en un departamento de radiología se tienen los siguientes criterios:

$$\frac{\text{\# de exámenes por año}}{5000} = \text{\# de salas de rayos x necesarias}$$

Donde 5000, representa el número estándar, de exámenes realizados durante un año, determinado estadísticamente, pero resulta excesivamente muy general dicho criterio, pues se debe tener en cuenta en el dimensionamiento de las salas de rayos-x, características como la edad, población, densidad e ingresos medios de la comunidad a la que hay que servir, por ejemplo si es área es de ingresos bajos y de elevada densidad poblacional, las solicitudes de exámenes de rayos-x, será grande.

$$\frac{\text{\# de camas del hospital}}{50} = \text{\# de salas de rayos x necesarias}$$

El valor de 50, representa, el valor promedio de exámenes diarios, realizados en una sala de radiología.

Con estas fórmulas, y con los datos respectivos del HNNBB, los cuales para el número de exámenes anuales, tienen un promedio de 5000 exámenes mensuales, es decir 60, 000 exámenes al año, da como resultado, según el primer criterio, un número de 12 salas, siendo las actualmente disponibles "3", de donde se puede apreciar que ante la demanda de exámenes, el total de salas disponibles ya no es funcional.

Bajo el segundo criterio, el HNNBB, tiene un promedio de 292 camas, de donde se obtiene, el dato de aproximadamente 6 salas para radiología. De ambos criterios, a pesar de sus diferencias numéricas, demuestran que las tres salas existentes en el HNNBB, necesitan del auxilio de otras instalaciones adicionales.

Otro criterio general en el diseño del número de salas de radiología, es que por cada 100 camas en un hospital, se necesitará de una sala de radiología.

- 2) En base a las cargas de trabajo teóricas, se debe establecer, cuantos exámenes al día se deben tomar, para no sobre pasar los valores de carga de trabajo establecidos, por las instituciones internacionales, que sugieren dichas recomendaciones.

Para las salas 1 y 2, el valor teórico de carga de trabajo es de 200 mA minuto/semana, pues cuentan con equipos para radiografía general, los pasos sugeridos para determinar el número máximo, que limite la carga de trabajo son:

- (a) Establecer las técnicas estándar (mAs) utilizadas en la sala, en el caso del HNNBB, los mAs mayormente utilizados, de acuerdo a la cantidad de exámenes solicitados (según se observa en el gráfico de barras para las salas 1 y 2, en 1999) son:

Tórax6.4 mAs (39, 831 exámenes en un año)

Cráneo..... 10 mAs (5, 923 exámenes en un año)

Abdomen..... 12.5 mAs (2, 931 exámenes en un año)

Antebrazo..... 2.5 mAs (2, 275 exámenes en un año)

Cavum..... 4 mAs (2, 609 exámenes en un año)

Mano..... 2.5 (1, 737 exámenes anuales)

P.E.V..... 10 mAs (1, 135 exámenes anuales)

Toracoabdominal... 6.4 mAs (2, 540 exámenes anuales)

- (b) El dato de carga de trabajo teórico se cambia a su valor como mAs/semana, así, los 200 mA min/semana, equivalen a 12, 000 mAs/semana ó 1714.3 mAs/día
- (c) Del gráfico de barras, se establece que el valor estándar de mAs, mas utilizado es el de 6.4 mAs, luego el de carneo con 10 mAs, en tercer lugar 12.5 mAs para abdomen.
- (d) El dato de los mAs por semana, representa el máximo de la muestra, donde aproximadamente el 58% es utilizado en tórax, el 8% es cráneo y el 4% es para abdomen, así, con un valor estándar de 6.4 mAs, implica que su 58% de 12, 000 mAs/semana, es 6, 960 mAs/semana, es decir 994 mAs/día, o lo que equivale en una jornada de 24 horas a 41 mAs/hora, es decir con relación a los 6.4 mAs de la técnica empleada en tórax, significa que se pueden tomar aproximadamente 6 exámenes de ese tipo en una hora, de manera de no sobre pasar la carga de trabajo teórica establecida, además de los 1714.3 mAs/día (según el paso b), menos el numero de mAs, generados con las radiografías de tórax, resulta un sobrante de 720.3 mAs.

Para el caso de los cráneos, son iguales a 960 mAs/semana, es decir 137 mAs/día, donde de los 720.3 mAs restantes en el día, darán un remanente de 583.3 mAs.

En el caso de los abdómenes, equivalen con su 4% a 480 mAs/semana o 68.6 mAs/día, donde al restar su valor de los 583.3 mAs, quedan libres 514.7 mAs , los cuales pueden utilizarse en los demás tipos de estudios realizados en el área, teniendo en cuenta de no sobrepasar dicho valor.

Se han tomado solamente los tres tipos de estudios con mas demanda en las salas 1 y 2, pues son los que mas veces se realizan en el área, de manera de conocer que nivel de mAs disponible, en el supuesto de haber atendido el nivel promedio de los exámenes mas solicitados durante un día de trabajo, en el que se demanda la máxima carga de trabajo.

- (e) Para la sala 3, donde la carga de trabajo máxima es de 150 mA min/semana, es decir 9, 000 mAs/semana o 1285.7 mAs/día, se tienen las siguientes técnicas, con mayor frecuencia de uso (según la carga de trabajo de 1999):

Esofagograma..... 12.5 mAs (406 exámenes al año)

T.D.S..... 12.5 mAs (798 examenes al año)

Enema baritado..... 16 mAs (311 exámenes al año)

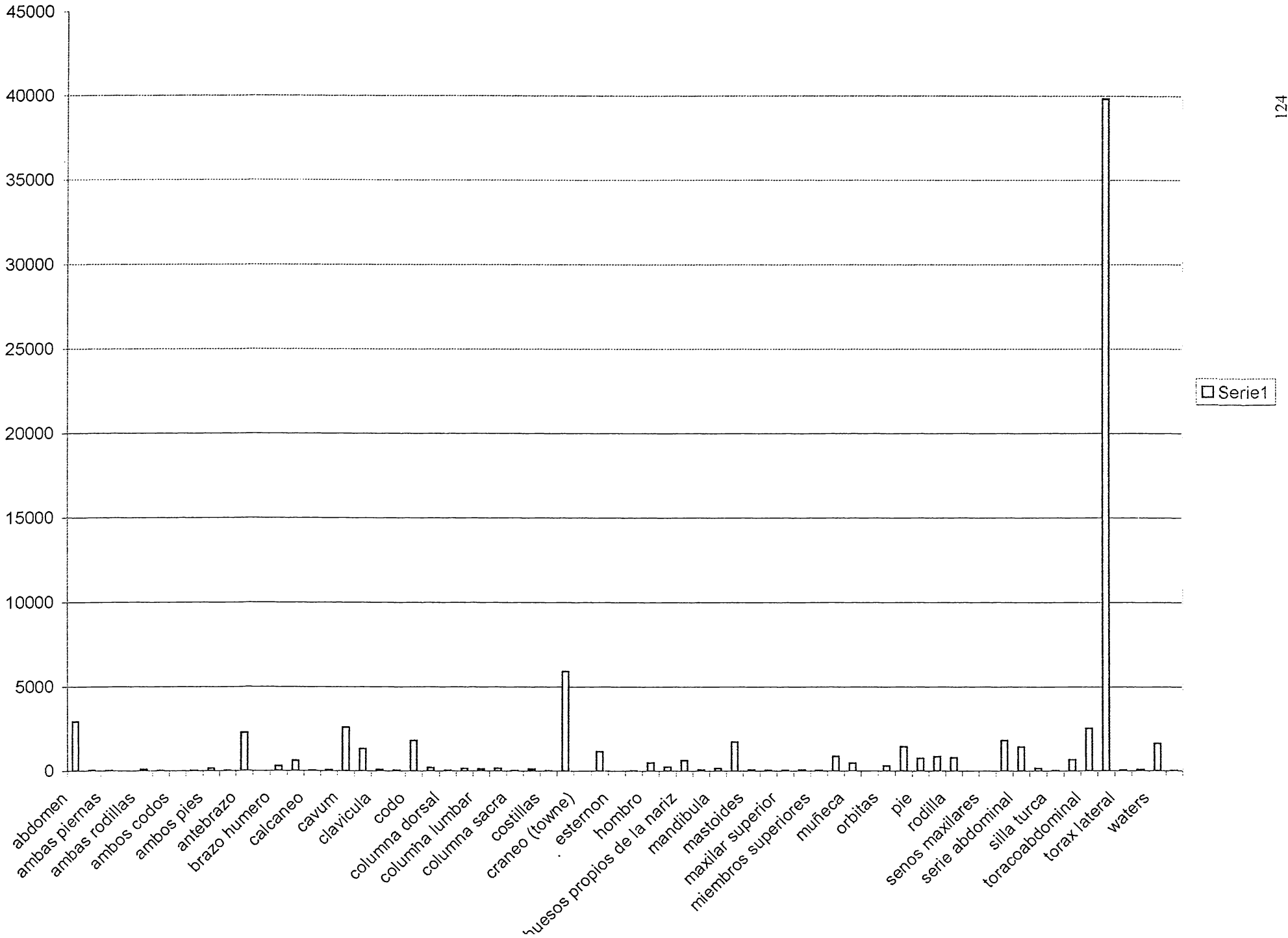
Como se dispone de 9, 000 mAs/semana, y se conoce la cantidad de exámenes se tienen para TDS el 52%, Esofagograma con el 26% y para enema baritado el 20%, se estima que para los 12.5 mAs, se tiene un total del 78% (TDS mas Esofagograma), lo que representa de los 9, 000, el valor de 7020, lo que equivale para una semana de 7 días a 1002 mAs/día, es decir que de los 1285.7 mAs/día, disponibles, quedaría un total disponible de 283.7 mAs. En el caso del Enema baritado, quien representa en 20%, indica que de los 9, 000 mA min/semana, son 1800 mAs por semana, o 257 mAs por día y de acuerdo a la cantidad disponible de mAs, es decir los 283.7 mAs, menos los necesario para realiza los estudios del Enema baritado, significa que quedarían disponibles 26.7 mAs, los cuales se utilizarían en los demás estudios, inclusive los de fluoroscopia.

De todo lo anterior se concluye que de los niveles de mAs por día, según los valores de carga de trabajo establecidos teóricamente, se puede tener un estimado del número de exposiciones por día, haciendo énfasis en los estudios con mas demanda, con el objetivo de cubrir dichas metas, logrando cubrir la demanda de dichos exámenes, sin el riesgo de sobre pasar la carga de trabajo.

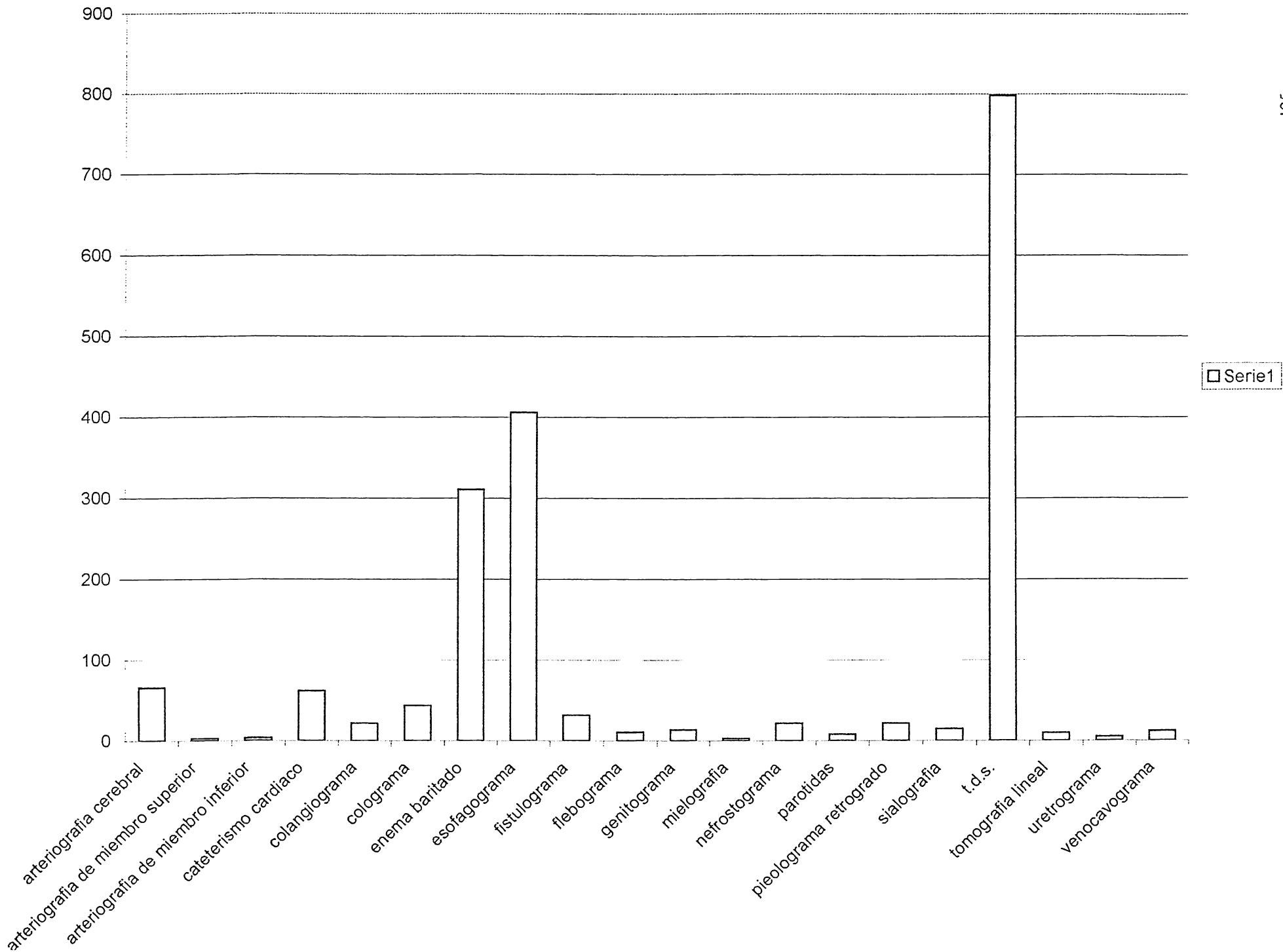
Con el análisis anterior y con referencia a las cargas de trabajo encontradas de manera real, se llega a la conclusión de que el número de salas es suficiente, desde el punto de vista de la carga de trabajo, pero si se pone en juego el nivel colectivo de exposición, se ve la necesidad de contar con otra sala de radiodiagnóstico, por ejemplo si se desea bajar en las salas 1 y 2, el número de exámenes de tórax, de recomendaría la construcción de una sala especial para dicho tipo de exámenes, lo cual aliviaría el nivel de carga de trabajo con respecto a los exámenes de tórax, para una sala en especial.

Al recomendar la construcción de otra sala, obviamente se refleja la necesidad de contratar más personal, con el objeto de distribuir la dosis colectiva de manera mas uniforme, ya que si un número reducido de personal, recibe cierta cantidad de radiación, si se incrementa, el personal, cabe la posibilidad de distribuir la dosis colectiva en un número mayor de personas, con ellos los turnos disminuyen en frecuencia y los miembros del POE, se exponen a la larga a niveles menores de radiación.

HISTOGRAMA DE EXAMENES HECHOS EN LA SALA 2 DE RADIOLOGIA DEL HNNBB DURANTE 1999



HISTOGRAMA DE EXAMENES HECHOS EN LA SALA 3 DE RADIOLOGIA DEL HNNBB DURANTE 1999



CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al analizar la disponibilidad, costos y seguridad en las instalaciones de radiología del HNNBB, se sugieren tomar las siguientes medidas, en base al estudio y análisis realizado.

6.1 RECOMENDACIONES ARQUITECTONICAS

- 1) Se recomienda aumentar el espesor de las paredes que dan hacia el público, partiendo del hecho, de que actualmente, el espesor es de 1 mm de plomo en las salas 1, 2 y 3 (señaladas como A e I). Dicho aumento se sustenta con el hecho de que en las mediciones dosimétricas realizadas; el nivel de fuga de acuerdo a los datos medidos, tuvo un promedio de 0.1 mSv/mes, cuando la dosis para el público debe ser menor a 0.083 mSv/mes. Además quedo demostrado mediante métodos matemáticos, que con el cambio a nivel internacional, de los valores de MDP, para el público (de 5 mSv a 1 mSv al año), demuestra que se necesita un reajuste en los espesores de las paredes donde se desplazan miembros del público.
- 2) Es necesario también, el aumentar el espesor de la pared B (según la planta arquitectónica) de la sala 1, la cual tiene 1 mm de espesor de plomo; ya que el flujo del personal médico y administrativo se mueve por dicha zona, de manera considerable.
- 3) El aumento de los espesores se determinará mediante las siguientes consideraciones:
 - a- Para el cálculo de las barreras A e I, el factor de uso se tomara de 1, pues la cantidad de exámenes de tórax, es grande.
 - b- El factor de ocupación en las paredes A e I, se tomara de 1/4, ya que se trata de una sala de espera con un gran flujo de personas, además en los cálculos anteriores se tomo el factor de ocupación, por mayor seguridad, de 1.
 - c- El factor de ocupación para la pared B será de 1, ya que se trata de un corredor con ocupación total, donde permanecen gran parte del tiempo, médicos y personal administrativo, además con dicho valor se brinda la mayor protección.

Para el cálculo de los espesores de las paredes A e I, se utilizará la ecuación que reúna los datos de mayor peso en el cálculo. Por ejemplo, en dichas barreras primarias son de vital importancia, datos como la exposición semanal (P), pues permite dentro de la formula, el actualizar su valor o escogerlo según el criterio de diseño, de manera de brindar mayor protección; otro dato importante son las distancias desde la fuente a las barreras, de donde se toman las menores

distancias para asegurar que las barreras tendrán el suficiente espesor, de acuerdo al nivel de energía recibido según la proximidad con la barrera; el valor de carga de trabajo, donde dicho dato es de suma importancia, pues claramente determina, si la carga de trabajo en el área bajo estudio, es mayor a las establecidas bajo recomendaciones internacionales; el factor de ocupación, sugiere la fracción de tiempo que puede permanecer una persona según el tipo de zona aledaña a la fuente de exposición y el factor de uso, el cual es la fracción de tiempo en que la radiación se dirige hacia una barrera en particular.

El espesor de la pared A, se determinará con la ecuación 1 de la sección 4.8, donde con los datos a utilizar son:

$$P = 0.002 \text{ rem/semana}$$

$$d_{\text{pri barrera A}} = 4.639 \text{ mts}$$

$$W_{\text{sala 1}} = 97.773 \text{ mA minuto/semana}$$

$$U = 1$$

$$T = 1/4$$

Tomando en cuenta las recomendaciones arriba señaladas, se obtiene el siguiente espesor:

$$K_{\text{uxA}} = 1.76 \times 10^{-3}$$

$$S_A = 1.75 \text{ mm de plomo}$$

Partiendo del milímetro actual de plomo, el aumento total es de 0.75 mm de plomo

El espesor de la pared I, también se obtiene con la ecuación 1 de la sección 4.8, con los datos de P, U y T igual que en la sala 1, pero con valores de W de 179.39 mA min/semana y $d_{\text{pri barrera I}} = 1.955 \text{ mts}$, así el espesor será:

$$K_{\text{uxI}} = 1.704 \times 10^{-4}$$

$$S_I = 2.7 \text{ mm de plomo}$$

De donde el espesor a aumentar, respecto al espesor actual de 1 mm de plomo, el aumento total es de 1.7 mm de plomo.

El espesor de la pared B, se obtiene de las ecuaciones 2 y 4 de la sección 4.8, considerando el nuevo valor de factor de ocupación, los datos a utilizar son:

$$P = 0.002 \text{ rem/semana}$$

$$I = 18.24 \text{ mA}$$

$$W_{\text{sala 1}} = 97.773 \text{ mA minuto/semana}$$

$$T = 1$$

$$F = 1548$$

$$a = 0.0016$$

$$d_{\text{sec B}} = 1.25 \text{ mts}$$

$$d_{\text{sca}} = 0.5 \text{ mts}$$

con esos datos y aplicando las fórmulas para la radiación dispersa y de fuga se obtiene:

$$B_{\text{IXB}} = 0.347$$

$$S_{\text{IB}} = 0.450 \text{ mm de plomo}$$

$$K_{\text{uxB}} = 1.290 \times 10^{-3}$$

$$S_{\text{uxB}} = 1.85 \text{ mm de plomo}$$

$S_{\text{B}} = 2.3 \text{ mm de plomo}$ (tamaño de la barrera con la suma de las dos barreras calculadas)

Cómo ya se mencionó, en la pared B, existe actualmente 1 mm de Plomo, por lo tanto, el aumento total será de 1.3 mm de plomo.

- 4) Es necesaria la redistribución de ciertas áreas, debido al cambio en la categoría de dichas áreas, lo cual tiene que ver con los espesores existentes, tal como se establece a continuación:
 1. La sala de lectura del médico radiólogo se debe trasladar hacia el área del control de calidad y lectura, ya que con esa medida se evita la permanencia innecesaria del personal médico en dicha área, pues esa zona es exclusiva para el POE, es decir se cambia una zona supervisada en una zona controlada.
 2. Hacer una división con acceso restringido, en la zona de la entrada hacia el pasillo donde se encuentran los paneles de control de las salas 1 y 2, con esto se evita que el personal administrativo se tenga que desplazar a dejar las boletas de los exámenes solicitados, hasta el área de trabajo del POE.
 3. Utilizar la puerta en el pasillo de la pared L hacia los servicios sanitarios, para evitar que el personal administrativo circule dentro del área del pasillo

principal de las salas 1 y 2, recomendando al personal administrativo, de que al hacer uso de dicho acceso, se evita la posible exposición a la radiación y al hospital se le ahorra la construcción de otro servicio sanitario fuera de radiología.

4. Distribuir el área de la sala de espera de los pacientes, de manera que ellos y sus acompañantes, se alejen lo suficiente de las barreras A e I. Una manera de lograr esta recomendación es colocar las sillas de la sala de espera lo mas alejado de las barreras, con el propósito de que no reciban dosis innecesarias de radiación, debido a la cercanía con respecto a las barreras, pues entre mayor distancia, menor cantidad de radiación.
5. Redistribuir el área de limpieza y bodega en el área de descanso, evitando así la permanencia del personal de limpieza dentro del área controlada, la sala de descanso del POE, estaría ubicada dentro de la zona controlada.
6. Al cambiar el flujo de personal administrativo, dentro del área de radiología, los limite de dosis considerados para 1 mSv (zona supervisada), se pueden tomar como 20 mSv(zona controlada), de manera que con este cambio de dosis las barreras del área de trabajo del POE, no necesitaría de ajuste, pues de acuerdo a los niveles monitoreados, el umbral es seguro para ellos. Por ejemplo la barrera B, calculada anteriormente con 2.3 mm de plomo, si se cambia el valor de P a 0.04 (MDP semanal para el POE) y se mantiene los demás datos los resultados serian:

$$B_{ixB} = 6.995$$

S_{ixB} = no necesita barrera contra la radiación de fuga

$$K_{uxB} = 2.6 \times 10^{-2}$$

S_{uxB} = 0.75 mm de plomo

S_B = 0.75 mm de plomo (no necesita aumento de espesor)

El espesor actual es de 1 mm de plomo, si se cambia el valor de P, según el cambio de zona supervisada a controlada, se evita con el cambio de dosis, el aumentar los espesores, tal como se acaba de demostrar

En la figura 14, se observa como quedaría la planta arquitectónica, si se realizan los cambios propuestos.

- 5) Con las recomendaciones anteriores, se pretende alejar del área de trabajo del POE, a personal administrativo y médico, ya que con esta medida el espesor de las barreras internas se mantiene, pues el valor de dosis semanal se calcula para 20 mSv al año, lo que hace el espesor de las barreras internas

mucho menor, que si se tratase de considerar la dosis semanal para el público (1 mSv al año).

- 6) Las paredes del baño dentro de radiología, no necesitan aumento, pues solo reciben radiación secundaria y el área aledaña, es decir el vestidor, son zonas con un factor de ocupación inferior a uno, pues la permanencia del personal es de tiempo limitado y de poca cantidad de personal.

6.2 RECOMENDACIONES ADMINISTRATIVAS

1. Dentro de las recomendaciones administrativas, se recomienda elaborar rótulos internos, que le recuerden al personal médico y administrativo, sobre el posible riesgo al ingresar a las áreas donde se desplaza el POE, de manera de implementar una cultura radio sanitaria dentro de dicho personal.
2. Se recomienda implementar dentro de los controles internos, la guía sugerida para determinar la carga de trabajo dentro de radiología. A pesar de que en un principio genere incomodidad y atraso, pero a la larga los beneficios serán tangibles para todo el POE, por ejemplo, permitirá limitar el número de estudios en una sala determinada, para obtener uniformidad en las cargas de trabajo de las tres salas, de manera de no sobrepasar los límites establecidos por las instituciones que velan por la seguridad radiológica; otro beneficio que proporciona la carga de trabajo real, es el hecho de que con dicho valor (si es mayor al recomendado) se puede justificar ante las autoridades superiores, la necesidad de más personal, para poder distribuir mejor las dosis de radiación, se puede aumentar el número de salas, si la carga de trabajo real es muy grande, o se puede disminuir la carga de trabajo, hasta cierto punto, si dicha medida no afecta la atención a los pacientes.
3. Restringir la permanencia de personal no autorizado en los procedimientos con fluoroscopia, para evitar que ellos se expongan, innecesariamente, a recibir niveles de dosis perjudiciales. Por ejemplo, estudiantes de radiología o medicina presentes durante uno de los procedimientos con fluoroscopia.
4. Evitar la aglomeración del personal medico, administrativo o público en general, en lugares muy próximos a las barreras de protección, ya que hay que recordar que en una barrera el nivel de fuga nunca será cero. Por ejemplo, colocando rótulos y avisos o que una persona se apoye en alguna pared que forme parte de las barreras de protección durante un estudio radiológico.
5. Realizar jornadas informativas periódicas a cerca de las normas básicas de radioprotección, tanto para el POE como al público, pues con el tiempo la información queda muchas veces en desuso, por lo que es necesaria una retroalimentación periódica, por ejemplo se le puede informar al público acerca de la permanencia y medidas de seguridad que deban guardar durante un examen.

6.3 RECOMENDACIONES RADIO SANITARIAS

- 1) Se recomienda la compra de accesorios para el POE y para el público que ayuda a sostener a los pacientes en los exámenes, dichos accesorios son lentes, guantes plomados, chalecos y de ser posibles dosímetros de cámara de ionización, disponibles para aquellos miembros del público que frecuentemente deben sostener a los pacientes o permanecer en el área durante los procedimientos (ejemplo: enfermeras, acompañantes de los pacientes, médicos, anestesistas, etc.)
- 2) Se deben colocar rótulos en las diferentes áreas dentro de radiología, de manera que el personal médico y administrativo este enterado acerca de las normas básicas, de la categoría de la barrera donde este se encuentre y de los riesgos potenciales si no se protegen adecuadamente de la radiación ionizante.
- 3) Se recomienda al POE que se encuentra bajo vigilancia dosimétrica, el guardar las medidas radio sanitarias, establecidas bajo el principio ALARA, donde se buscara el menor tiempo de exposición, la mayor distancia desde la fuente y colocarse siempre las barreras biológicas disponibles.
- 4) Evitar la exposición innecesaria a la radiación ionizante, tanto a los pacientes como al POE, teniendo criterio médico acertado al momento de dar un diagnostico.

COSTO APROXIMADO DE LAS RECOMENDACIONES

Costo de la división para recepción de boletas: 3, 000 colones

Costo de la redistribución del área de descanso con el área de bodega y limpieza: 9, 000 colones

Costo del ajuste del espesor, en la pared A (0.75 mm de Pb, en un área de 5 mt por 2.6 mt): 8, 000 colones

Costo del ajuste del espesor, en la pared I (1.7 mm de Pb, en un área de 5 mt por 2.6 mt): 20, 000 colones

Costo del ajuste del espesor, en la pared B (1.3 mm de Pb, en un área de 7.4 mt por 2.6 mt): 20, 000 colones

El costo total, aproximadamente es de 60, 000 colones, si se hacen efectivas las recomendaciones de este documento.

GLOSARIO

1. Sievert-hombre: es el producto de multiplicar la dosis de radiación promedio, recibida por un grupo de personas, por el número de ellas.
2. Dosis colectiva: dosis a que ha resultado sometido un cierto grupo de personas, se mide en Sievert por persona.
3. Dispersión: separación de los elementos de un conjunto de datos
4. BCR: Banco Central de Reserva
5. Atenuar: disminución de alguna cosa
6. TDS: examen radiográfico del tubo digestivo

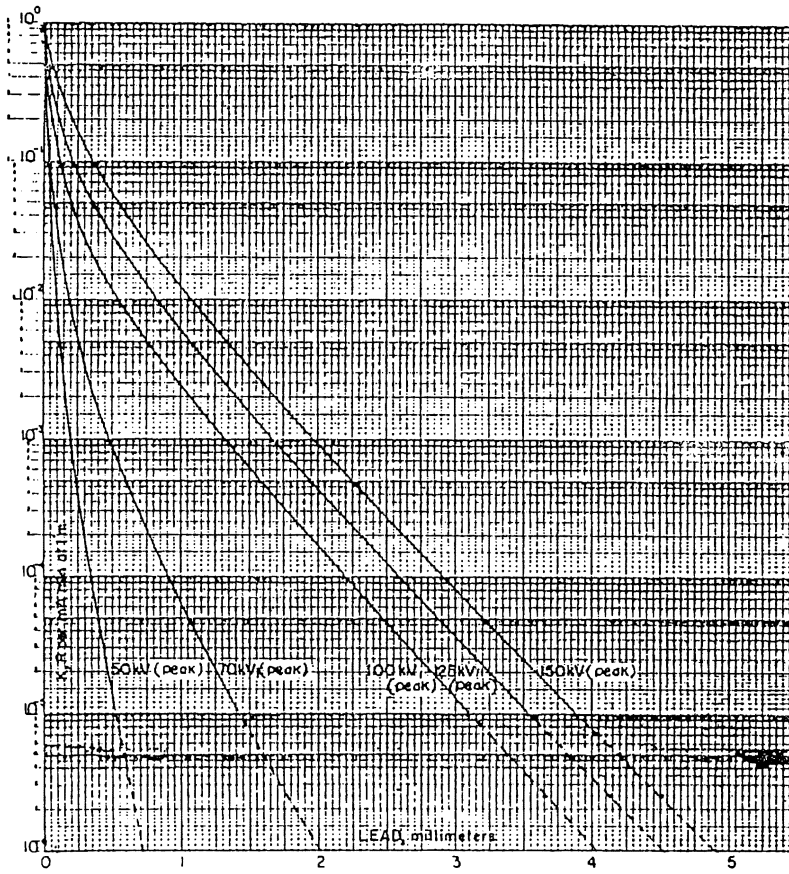
BIBLIOGRAFIA

1. STRUCTURAL SHIELDING DESIGN AND EVALUATION FOR MEDICAL USE OF X RAYS AND GAMMA RAYS OF ENERGIES UP TO 10 MEV, REPORTE NO 49 DE LA NCRP, JULIO DE 1998, TERCERA EDICIÓN.
2. CHRISTENSEN'S PHYSICS OF DIAGNOSTIC RADIOLOGY, THOMAS S. CURRY, III; JAMES E. DOWDEY; ROBERT C. MURRY, JR, 1990, CUARTA EDICIÓN, EDITORIAL WILLIAMS & WILKINS
3. MANUAL DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL TUBO BIANGULIX 150/30/51-100, EDITADO POR SIEMENS AG, 1998
4. MANUAL DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL TUBO BIANGULIX 150/30/52R-100, EDITADO POR SIEMENS AG, 1998
5. RADIOFISICA SANITARIA, CURSO BASICO PARA MEDICOS, ODONTOLOGOS, INGENIEROS Y TÉCNICOS, DEPARTAMENTO DE RADIOFISICA SANITARIA, DIRECCION NACIONAL DE CALIDAD AMBIENTAL, SUBSECRETARIA DE PROGRAMAS DE SALUD, SECRETARIA DE SALUD, MINISTERIO DE SALUD Y ACCIÓN SOCIAL, BUENOS AIRES, 1988.
6. WWW.LOWDOSE.ORG
7. WWW.IAEA.ORG
8. WWW.BRITANNICA.COM
9. INSTALLATIONS POUR LA PRODUCTION ET L'UTILISATION DE RAYONS X, EDITADO POR LA UNION TECNICA DE ELECTRICIDAD DE FRANCIA, 1973
10. WWW.NCRP.COM
11. WWW.ICRP.ORG
12. WWW.ICRU.ORG
13. WWW.IRPA-EXOF.NL
14. NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-156-SSA1-1996, REQUISITOS TÉCNICOS PARA LAS INSTALACIONES EN ESTABLECIMIENTOS DE DIAGNOSTICO MEDICO CON RAYOS-X, SECRETARIA DE SALUD, 1997

15. CURSO DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN RADIOLOGICA OPERACIONAL, PARTE DE DOSIMETRIA, CCHEN, 2000
16. IRPA 9, NINTH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTENATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION, VIENNA, APRIL 17,1996.
17. WWW.AMBIENTE-ECOLOGICO.COM
18. WWW.EHS.UMARYLAND.EDU/RAD/ALARA.HTM
19. CRC HANDBOOK OF HOSPITAL SAFETY, PAUL STANLEY, CRC PRESS, 1988.
20. MANUAL DE RADIOLOGÍA PARA TECNÓLOGOS, STEWARD C. BUSHONG, QUINTA EDICIÓN, MOSBY, 1993.
21. APPLIED CLINICAL ENGINNERING, BARRY N. FEINBERG, PRENTICE-HALL, 1987.
22. MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS Y TECNICAS RADIOLÓGICAS, HOSPITAL NACIONAL DE NIÑOS BENJAMIN BLOOM, CARMEN DE GRANILLO, DR, JUAN MANUEL SANCHEZ BERMUDEZ, PRIMERA EDICIÓN, JUNIO DE 2000.
23. NORMA BASICA SALVADOREÑA, NBS 115, CONACYT
24. REVISTA TRIMESTRAL DEL BANCO CENTRAL DE RESERVA DE EL SALVADOR, PRIMER TRIMESTRE DE 2000.

A N E X O S

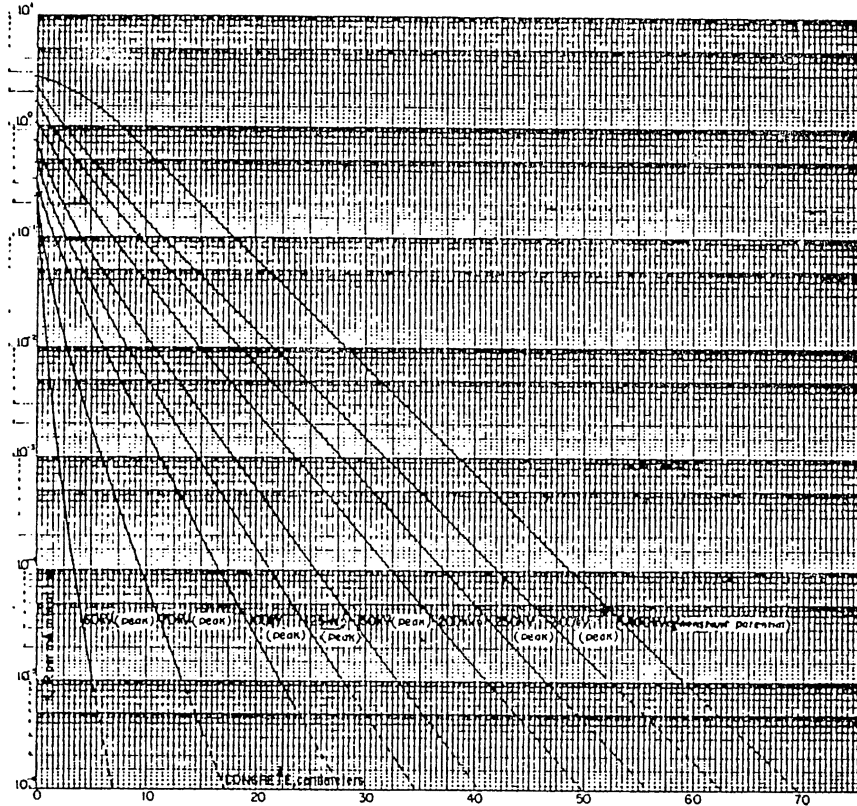
ANEXO 1



K_{ux}

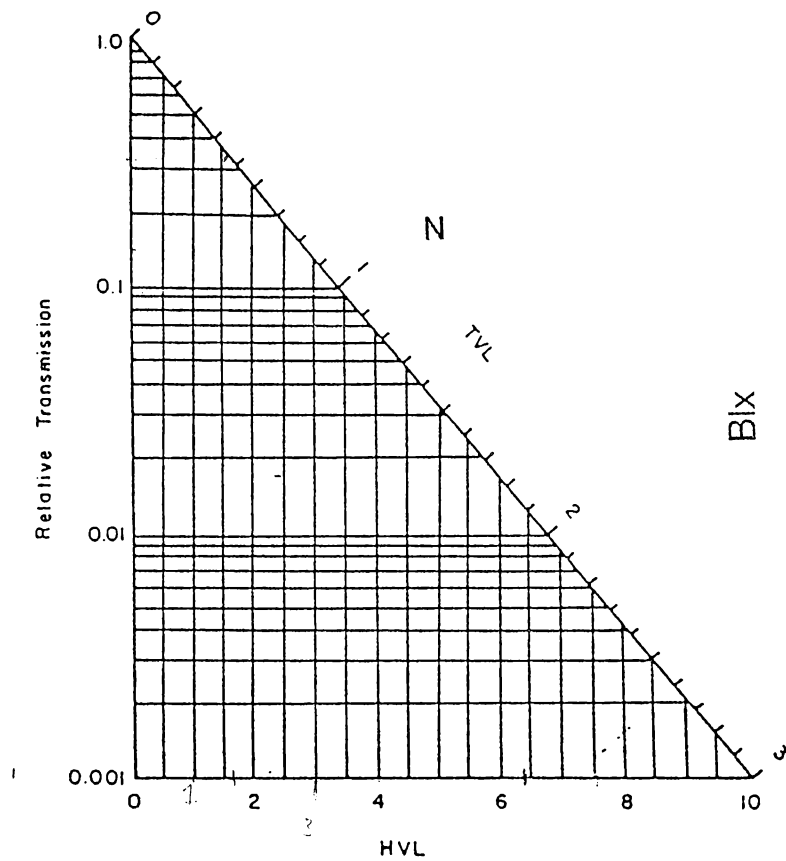
Espesor de plomo en milímetros

ANEXO 2



Espesor de concreto en centímetros

ANEXO 3

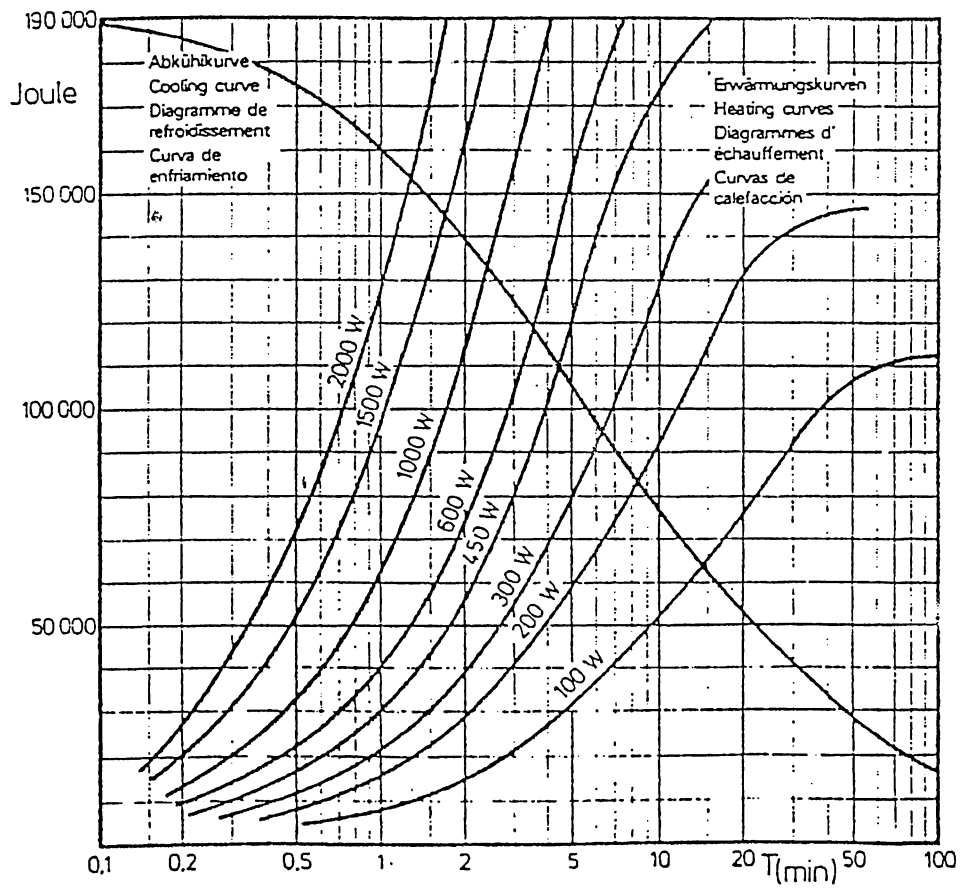


n

Valor del la capa hemirreductora

ANEXO 4

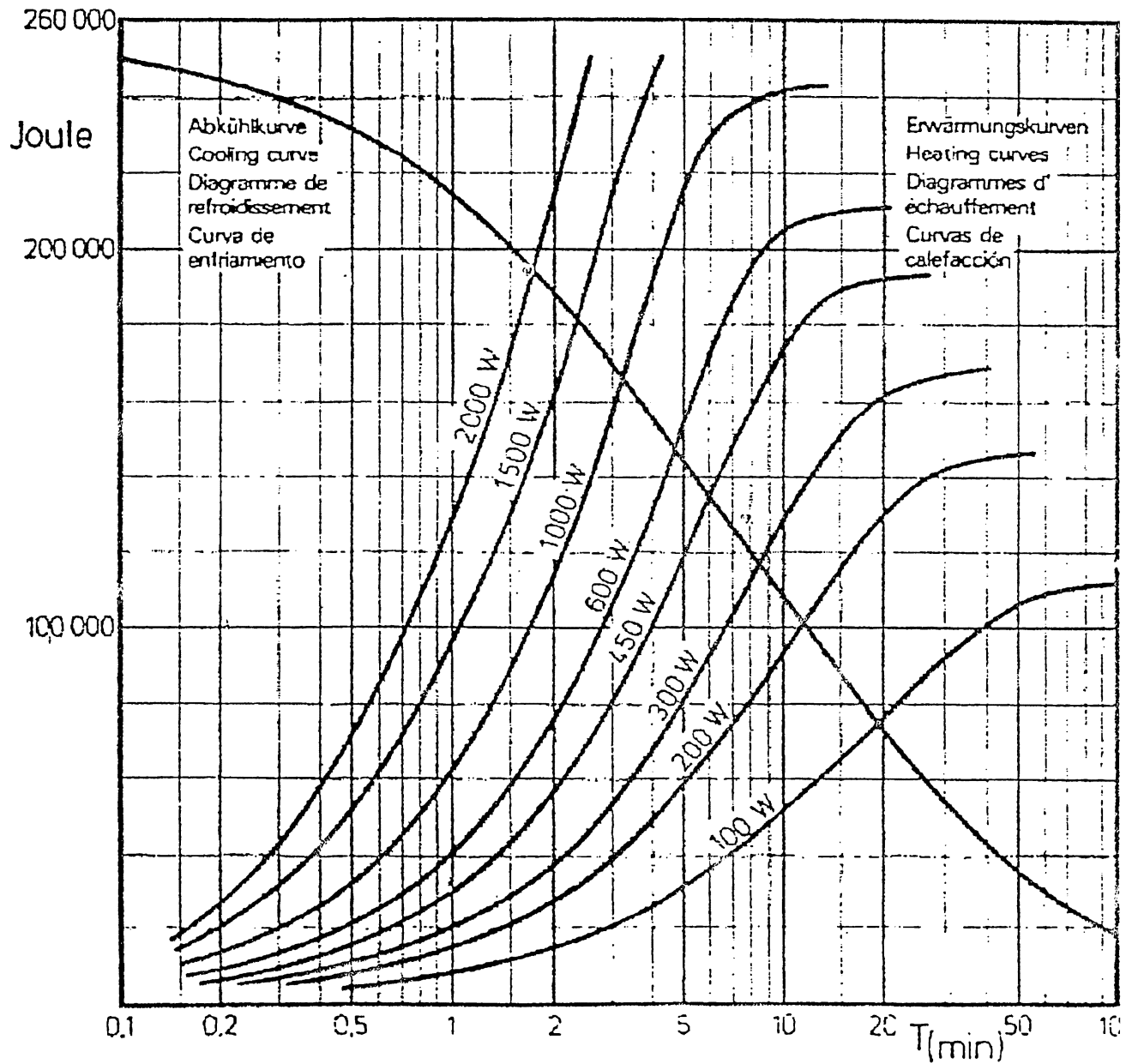
6.4 Erwärmungs- und Abkühlkurven / Heating and cooling curves Anode / Anode



ANEXO 5

6.4 Erwärmungs- und Abkühlkurven / Heating and cooling curves

Anode / Anode



ANEXO 6

TABLE B-2—Ratio, a , of scattered to incident exposure^a

Source	Scattering Angle (from Central Ray)					
	30	45	60	90	120	135
X Rays						
50 kV ^b	0.0005	0.0002	0.00025	0.00035	0.0008	0.0010
70 kV ^b	0.00065	0.00035	0.00035	0.0005	0.0010	0.0013
100 kV ^b	0.0015	0.0012	0.0012	0.0013	0.0020	0.0022
125 kV ^b	0.0018	0.0015	0.0015	0.0015	0.0023	0.0025
150 kV ^b	0.0020	0.0016	0.0016	0.0016	0.0024	0.0026
200 kV ^b	0.0024	0.0020	0.0019	0.0019	0.0027	0.0028
250 kV ^b	0.0025	0.0021	0.0019	0.0019	0.0027	0.0028
300 kV ^b	0.0026	0.0022	0.0020	0.0019	0.0026	0.0028
4 MV ^c	—	0.0027	—	—	—	—
6 MV ^d	0.007	0.0018	0.0011	0.0006	—	0.0004
Gamma Rays						
¹³⁷ Cs ^e	0.0065	0.0050	0.0041	0.0028	—	0.0019
⁶⁰ Co ^f	0.0060	0.0036	0.0023	0.0009	—	0.0006

ANEXO 7

TABLE 5—Minimum shielding requirements for radiographic installations

WUT ^a in mA min			Distance in meters from source to occupied area										
100 kV ^b	125 kV ^b	150 kV ^b	1.5	2.1	3.0	4.2	6.1	8.4	12.2				
1,000	400	200											
500	200	100		1.5	2.1	3.0	4.2	6.1	8.4	12.2			
250	100	50			1.5	2.1	3.0	4.2	6.1	8.4	12.2		
125	50	25				1.5	2.1	3.0	4.2	6.1	8.4	12.2	
62.5	25	12.5					1.5	2.1	3.0	4.2	6.1	8.4	12.2
Type of Area	Material	Primary protective barrier thickness ^c											
Controlled	Lead, mm ^c	1.95	1.65	1.4	1.15	0.9	0.65	0.45	0.3	0.2	0.1	0.1	
Uncontrolled	Lead, mm ^c	2.9	2.6	2.3	2.05	1.75	1.5	1.2	0.95	0.75	0.55	0.35	
Controlled	Concrete, cm ^d	18	15.5	13.5	11.5	9.5	7	5.5	4	2.5	1.5	0.5	
Uncontrolled	Concrete, cm ^d	25	23	20.5	18.5	16.5	14	12	10	8			
Secondary protective barrier thickness ^e													
Controlled	Lead, mm ^c	0.55	0.45	0.35	0.3	0	0	0	0	0	0	0	
Uncontrolled	Lead, mm ^c	1.3	1.05	0.75	0.55	0.45	0.35	0.3	0.05	0	0	0	
Controlled	Concrete, cm ^d	5	3.5	2.5	2	0	0	0	0	0	0	0	
Uncontrolled	Concrete, cm ^d	11.5	9.5	7.5	5.5	4	3	2	0.5	0	0	0	

W—weekly workload in mA min, U—use factor, T—occupancy factor.

Peak pulsating x-ray tube potential.

See Table 26 for conversion of thickness in millimeters to inches or to surface density.

Thickness based on concrete density of 2.35 g cm⁻³ (147 lb ft⁻³).

Barrier thickness based on 150 kV.

ANEXO 8

TABLE 7—Minimum shielding requirements for fluoroscopic installations

WT ^a in mA min			Distance in meters from source to occupied area											
100 kV ^b	125 kV ^b	150 kV ^b												
2,000	800	400	1.5	2.1	3.0	4.2	6.1	8.4	12.2					
1,000	400	200		1.5	2.1	3.0	4.2	6.1	8.4	12.2				
500	200	100			1.5	2.1	3.0	4.2	6.1	8.4	12.2			
250	100	50			^c 1.5	2.1	3.0	4.2	6.1	8.4	12.2			
125	50	25				1.5	2.1	3.0	4.2	6.1	8.4	12.2		
62.5	25	12.5					1.5	2.1	3.0	4.2	6.1	8.4	12.2	
Type of Area	Material	Secondary protective barrier thickness												
Controlled	Lead, mm ^c	0.75	0.6	0.45	0.35	0.3	0.05	0	0	0	0	0	0	
Noncontrolled	Lead, mm ^c	1.6	1.3	1.05	0.75	0.6	0.45	0.4	0.35	0.05	0	0	0	
Controlled	Concrete, cm ^d	7.5	5.5	4	3	2.5	0.5	0	0	0	0	0	0	
Noncontrolled	Concrete, cm ^d	14	12	10	8	6	4.5	3.5	2.5	0.5	0	0	0	

^a W—weekly workload in mA min, T—occupancy factor.

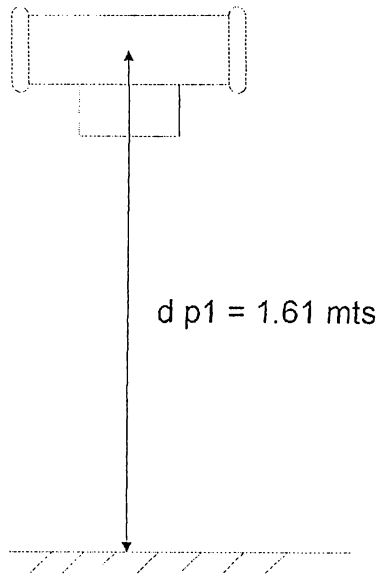
^b Peak pulsating x-ray tube potential.

^c See Table 26 for conversion of thickness in millimeters to inches or surface density.

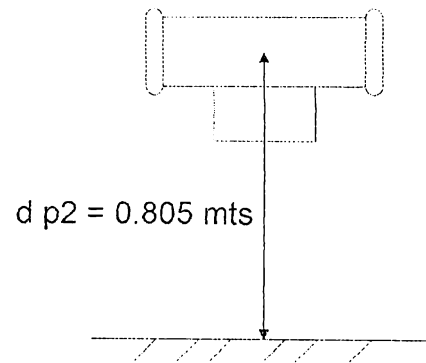
^d Thickness based on concrete density of 2.35 g cm⁻³ (147 lb ft⁻³).

ANEXO 9.- DISTANCIAS MINIMAS DESDE EL PISO AL PUNTO FOCAL DE LA FUENTE, EN RADIOLOGÍA DEL HNNBB

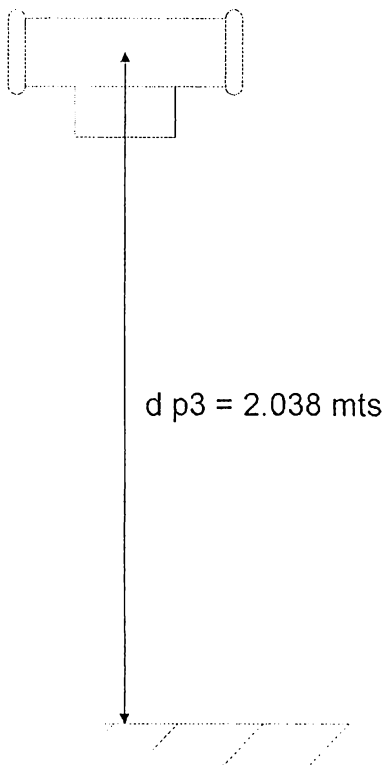
DISTANCIA DEL PISO AL PUNTO FOCAL DE LA SALA No 1



DISTANCIA DEL PISO AL PUNTO FOCAL DE LA SALA No 2



DISTANCIA DEL PISO AL PUNTO FOCAL DE LA SALA No 3



ANEXO 10

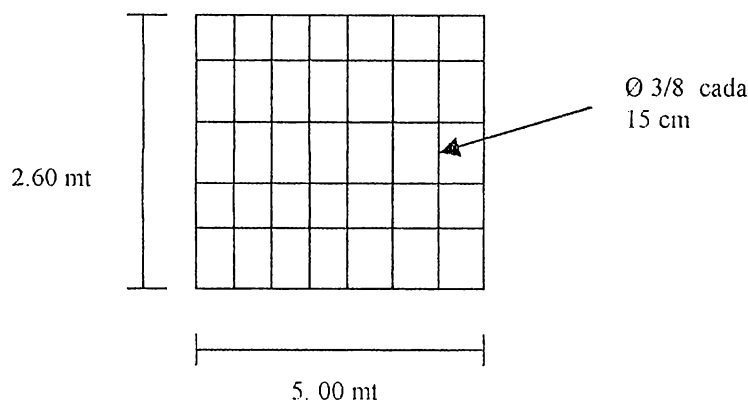
COSTO UNITARIO DEL METRO CUADRADO DE LA PARED DE CONCRETO, DE 25 CM DE ESPESOR

1. Materiales (área de trabajo: 13 m²)

1.1 Concreto

Volumen = (13.00) (0.25) (1.05) = 3.41 m³ x 600 = 2, 046 colones

1.2 Hierro de Ø 3/8



a) (35) (2.60) = 91 mt

b) (19) (5) = 95 mt

186 mt

186 / 6 = 31 varillas / 14 = 2.21 qq

2.21 x 1.15 = 2.54 qq x 170 = 431.80 colones

1.3 Madera (tabla)

a) (20) (2.60) = 52 metros

b) (11) (5.00) = 55 metros

107 metros / 0.836 = 128 varas

128 x 1.05 = 135 varas / 3 usos = 45 x 12.50 x 2 = 1125 colones

1.4 Clavos y alambre de amarre = 50 colones

Total materiales = 3, 652.80 colones

2. Mano de obra, moldeado y hechura de concreto = 2000 colones

3. Transportes = 200 colones

Total = $\frac{5.852.800}{13} = 5.852.8$ colones

$5,852.80 / 13 = \underline{450.22 \text{ por m}^2}$

Volúmenes de la obra

a) Salas 1 y 2:

a.1 Fundaciones

$$(5 + 5 + 7.4 + 7.4) (0.25) (0.40) = 2.48 \text{ m}^3$$

a.2 Paredes

a.2.1 de concreto:

$$(5 + 5 + 7.4 + 7.4) (2.60) = 64.48 \text{ m}^2 - 9.90 - 1.00 = 53.58 \text{ m}^2$$

a.2.2 de fibrolit:

$$(1.50 + 3.70) (2.60) = 13.52 \text{ m}^2 - 4.40 = 9.12 \text{ m}^2$$

a.3 Vigas de coronamiento:

$$(5 + 5 + 7.4 + 7.4) (0.25) (0.40) = 2.48 \text{ m}^3$$

a.4 Cubierta de losa de concreto

$$\text{Viga} = (5.00) (7.40) = 37.0 \text{ m}^2$$

a.5 Puertas = 6

a.6 Ventanas = 1 de 1.00 mt x 1.00 mt

a.7 Piso de ladrillo de cemento:

$$\text{Area} = (5.00) (7.40) = 37.00 \text{ m}^2$$

a.8 Plomo en paredes:

$$\text{Area de paredes} = 53.58 \text{ m}^2$$

b) Sala 3

b.1 Fundaciones:

$$(8.10 + 8.10 + 7.10 + 7.10) (0.25) (0.40) = 3.04 \text{ m}^3$$

b.2 Paredes:

b.2.1 de concreto:

$$(8.10 + 8.10 + 7.10 + 7.10) (2.60) = 79.04 \text{ m}^2$$

$$79.04 - 9.90 - 1.00 = 68.14 \text{ m}^2$$

b.2.2 de fibrolit:

$$(8.00) (2.60) = 20.80 - 6.60 = 14.20 \text{ m}^2$$

b.3 Vigas de coronamiento

$$(8.10 + 8.10 + 7.10 + 7.10) (0.25) (0.40) = 3.04 \text{ m}^3$$

b.4 Cubierta de losa de concreto
Area = $(5.10) (7.10) = 57.51 \text{ m}^2$

b.5 Puertas = 7

b.6 Ventanas = 1

b.7 Piso de ladrillo de concreto
Area = $(8.10) (7.10) = 57.51 \text{ m}^2$

b.8 Plomo de paredes = 68.14 m^2

b.9 Artefactos sanitarios

1 Inodoro

1 Lavamanos

PRESUPUESTO 1. SALA 1 Y 2 EN PRIMERA PLANTA			
1. Fundaciones	2.48 m cub *	1, 800 colones =	4, 464 colones
2. Paredes			
Pared de concreto	53.58 m cuad *	450.25 colones =	24, 124.40 colones
Divisiones	9.12 m cuad *	180 colones =	1, 641.60 colones
3. Vigas de coronamiento	2.48 m cuad *	3, 100 colones =	7, 688 colones
4. Losa de concreto	37.00 m cuad *	650 colones =	24, 050 colones
5. Puertas	6 c/u *	800 colones =	4, 800 colones
6. Ventanas	1 c/u		
7. Piso de ladrillo			
cemento 25 x 25	37.00 m cuad *	110 colones =	4, 070 colones
8. Plomo en pared	53.58 m cuad		
9. Instalacion electrica		1	
		total =	70, 838 colones

PRESUPUESTO 2. SALA 3 EN PRIMERA PLANTA			
1. Fundaciones	3.04 m cub *	1, 800 colones =	5, 472 colones
2. Paredes			
Pared de concreto	68.14 m cuad *	450.25 colones =	30, 680.04 colones
Divisiones	14.20 m cuad *	180 colones =	2, 556 colones
3. Vigas de coronamiento	3.04 m cuad *	3, 100 colones =	9, 424 colones
4. Losa de concreto	57.51 m cuad *	650 colones =	37, 381.50 colones
5. Puertas	7 c/u *	800 colones =	5, 600 colones
6. Ventanas	1 c/u		
7. Piso de ladrillo			
cemento 25 x 25	57.51 m cuad *	110 colones =	6, 326.10 colones
8. Plomo en pared	68.14 m cuad		
9. Instalacion electrica		1	
10. Instalacion hidraulica			
1 inodoro	1 c/u *	700 colones =	700 colones
1 lavamanos	1 c/u *	600 colones =	600 colones
		total =	98, 739.64 colones

PRESUPUESTO 3. SALA 1 Y 2 CON PLAFON ABAJO Y ARRIBA			
1. Paredes			
Pared de concreto	53.58 m cuad *	450.25 colones =	24, 124.40 colones
Divisiones	9.12 m cuad *	180 colones =	1, 641.60 colones
2. Vigas de coronamiento	2.48 m cuad *	3, 100 colones =	7, 688 colones
3. Losa de concreto (techo)	37.00 m cuad *	650 colones =	24, 050 colones
4. Puertas	6 c/u *	800 colones =	4, 800 colones
5. Ventanas	1 c/u		
6. Losa de concreto			
Piso	37.00 m cuad *	650 colones =	24, 050 colones
7. Plomo en pared	53.58 m cuad		
8. Instalacion electrica	1		
		total =	86, 354 colones

PRESUPUESTO 4. SALA 3 CON PLAFON ABAJO Y ARRIBA			
1. Paredes			
Pared de concreto	68.14 m cuad *	450.25 colones =	30,680.04 colones
Divisiones	14.20 m cuad *	180 colones =	2,556 colones
2. Vigas de coronamiento			
	3.04 m cuad *	3,100 colones =	9,424 colones
3. Losa de concreto (techo)			
	57.51 m cuad *	650 colones =	37,381.50 colones
4. Puertas			
	7 c/u *	800 colones =	5,600 colones
5. Ventanas			
	1 c/u		
6. Losa de concreto			
Piso	57.51 m cuad *	650 colones =	37,331.50 colones
7. Plomo en pared			
	68.14 m cuad		
8. Instalacion electrica			
	1		
9. Instalacion hidraulica			
1 Inodoro	1 c/u *	700 colones =	700 colones
1 Lavamanos	1 c/u *	600 colones =	600 colones
		Total =	134,323.04 colones

Si el equipo da de una vez este dato, no anotar el valor de mA y tiempo

Para cada disparo, dichos datos, los anotará el técnico radiólogo, según la técnica empleada en el examen respectivo

No olvidar que si el equipo, proporciona los mAs, solo anotar dicho valor, sino lo presenta, entonces, colocar los valores de mA y tiempo. Para ambos casos se debe colocar la técnica de Kv y el número de cuarto o sala de radiodiagnóstico.

Para los siguientes casos, también se deben anotar los datos de las técnicas empleadas:

- 1- Hay que tener en cuenta, que si en una placa se toman mas de un disparo, estos deben colocarse, uno a uno.
- 2- Si la placa se repite, ya que al procesarse, demuestra que la técnica no fue la adecuada o si hubo problemas en el procesado, también se debe agregar en la boleta, las veces que se repitieron
- 3- Si se realizan trabajos de mantenimiento preventivo o correctivo, hay que solicitar al personal que lo realiza; dejar constancia de los disparos hechos, por medio de las técnicas empleadas, en boletas similares a la siguiente:

Boleta para servicio de mpp y mc

Kilovoltaje	mA	mAs	tiempo

- c) Entregar a recepción o al servicio encargado de procesar la información obtenida; las boletas de solicitud de exámenes y boletas de servicio técnico; para introducir los datos de mAs, # de sala o el producto de mA con el tiempo; en un sistema computarizado, o a un sistema mecanizado, según la conveniencia o posibilidad del departamento.

- d) Al finalizar el intervalo de tiempo, el cual puede ser mensual; se realizará la sumatoria de los mAs o del producto mA tiempo (mecanizado o computarizado), proporcionado en las boletas de solicitud de exámenes y las empleadas por el servicio técnico en los mantenimientos correctivos y preventivos.
- e) El dato obtenido de mAs en el mes, se divide entre 60, para convertir el dato en mA minuto; luego este valor se divide por 4, para conocer los mA minuto/semana.
- f) Al finalizar el año, se debe realizar nuevamente la sumatoria de los mAs generados, ya sea por métodos manuales o computarizados que se utilicen en el departamento de radiología. El total anual de mAs, se divide por 60, para obtener los mA minuto, luego este resultado se divide por 50 semanas, para obtener la carga de trabajo promedio, anual. Este dato se compara con los obtenidos mensualmente, para comparar los valores mensuales con el valor anual, estableciendo la tolerancia de las cargas de trabajo.
- g) Se deben conservar los datos mensuales y anuales en un documento o folder especial; ya que se pueden necesitar en casos de una remodelación en las barreras, para casos de dosimetría o en una investigación sobre radioprotección.
- h) Informar de los resultados a la unidad respectiva, que se encargue de la regulación control de calidad, en radioprotección