

“Evaluación de la seguridad radiológica de 71 salas de radiodiagnóstico de Honduras en el periodo 2019 al 2021, mediante el uso de un modelo de análisis radiológico simplificado”



Tesis para optar al título de Master en Física

Realizada por: Addi Josué Elvir Carranza

Asesor: Master en Física Médica Angel Trinidad Velásquez Silva

Tópicos abarcados: aplicaciones de las radiaciones en materiales de construcción para protección radiológica.

“Evaluación de la seguridad radiológica de 71 salas de radiodiagnóstico de Honduras en el periodo 2019 al 2021, mediante el uso de un modelo de análisis radiológico simplificado”

Addi Josué Elvir Carranza

Tesis para optar al título de Master en Física

Coordinador de la maestría

Dra. Melissa Cruz

Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Facultad de Ciencias

Maestría de Física

Tegucigalpa D.C.

29 de junio de 2022

1 Agradecimientos

A los consejos oportunos que me han brindado los compañeros de trabajo sobre diferentes tópicos dentro de la temática de seguridad radiológica, entre ellos destacan el de mi asesor el Físico Médico Ángel Velásquez, el especialista en seguridad radiológica Javier Martínez y el profesor Alejandro Galo, que recuerdo claramente como un día me dijo “le recomiendo aprender de las aplicaciones de Física médica que es un campo muy amplio para hacer proyectos”

Sin olvidar el apoyo de la familia por la paciencia que me han tenido por viajar a los diferentes lugares del país a recabar gran parte de la información que hoy comparto con ustedes, el tiempo de los ingenieros de biomédica de CDIBIR y del personal del laboratorio de Dosimetría que me ayudaron a nivel técnico con algunas de las pruebas que aquí describo.

Agradecerle a nuestro padre celestial Jehová por ser el creador de la materia y el dador de las segundas oportunidades que nos da en la vida.

2 Resumen

El presente trabajo muestra los fundamentos del modelo teórico utilizado para la deducción de las ecuaciones y criterios que respaldan los cálculos de blindaje que se deben realizar para garantizar la protección radiológica en las instalaciones de las salas de radiodiagnóstico

Además de la parte teórica que la constituyen los cálculos de blindaje y la aplicación de la normativa de país, se hizo una parte experimental que se desarrollada en vivo con las fuentes de radiación encendidas (emitiendo disparos) empleando instrumentos de medición de radiación dispersa, como son los Geiger Müller (ó contadores).

Este trabajo incluye la evaluación de las salas de 71 instituciones de salud tomándose como base el diseño de blindaje expuesto por la Comisión Nacional de Protección y medición de radiación (NCRP) según su informe número 147 titulado Diseño de Blindaje estructural para instalaciones médicas de imágenes de rayos X, donde se encuentran las recomendaciones técnicas para la instalación de blindaje.

Como parte de la evaluación se hizo una medición de la radiación al otro lado de las barreras (dispositivos de protección) que se llama levantamiento Radiométrico. Cuyo fin primordial es determinar si las barreras de protección radiológica cumplen con los criterios necesarios para garantizar la seguridad del personal, público o equipo que se desee proteger. Se muestra en el estudio los datos de 9 salas con los equipos de radiodiagnóstico más comunes en el país.

Como resultado de las evaluaciones se explica la clasificación de zonas controladas, supervisadas y se recomienda el empleo de la señalización radiológica correspondiente.

Hay casos que se evaluó su protección radiológica con el blindaje instalado y se determinó en algunos casos que no cumplía los parámetros de seguridad radiológica establecidos por la normativa nacional vigente.

También se detallan los diferentes materiales que se utilizan como medios de radioprotección en paredes y dispositivos. Estos se tabularon y con gráficos de pastel se muestra la distribución de los materiales más usados en nuestro país para proporcionar blindajes.

No se brindan los datos exactos de ubicación y nombre de las instituciones de salud donde se realizaron los estudios en un tiempo de más de 3 años, esto para respetar la confidencialidad de cada una instalación.

Índice

1	Agradecimientos	3
2	Resumen	4
3	Introducción	12
4	Objetivos	13
5	Antecedentes	14
6	Marco teórico: Modelo radiológico empleado para interpretar la interacción de los fotones con los medios absorbentes	16
7	Metodología para determinar la atenuación que ofrecen los materiales absorbentes al paso de la radiación	26
8	Materiales de construcción utilizados en Honduras para proporcionar blindaje	32
8.1	Láminas de plomo:	32
8.2	Concreto como material de blindaje	35
8.3	Acero ó hierro para blindaje:	37
8.4	Tablas de Knauf safeboard	38
8.5	Sulfato de bario	39
9	Memoria Analítica de Cálculo de Blindaje	41
9.1	Modelo utilizado para el cálculo de blindaje	41
9.1.1	Modelo utilizado para el cálculo de blindaje en tomografía	42
9.1.2	Modelo utilizado para el cálculo de blindaje en mamografía	42
9.1.3	Modelo utilizado para la evaluación del blindaje	43
9.1.4	Consideraciones iniciales	43
9.1.5	Sala de rayos X	43
9.1.6	Descripción de las barreras de rayos estacionario	44
9.1.7	Resultados del cálculo de blindaje en Rayos X	45
9.1.8	Sala de rayos X con Fluoroscopia	47
9.1.9	Descripción de las barreras de rayos X con fluoroscopia	47
9.1.10	Resultados del cálculo de blindaje en Rayos X con fluoroscopia	49
9.1.11	Mamografía	50
9.1.12	Descripción de las barreras de mamografía	50
9.1.13	Resultados del cálculo de blindaje en mamografía	52
9.1.14	Sala de Tomografía	53
9.1.15	Descripción de las barreras de tomografía	53
9.1.16	Resultados del cálculo de blindaje en una sala de tomografía	55

9.1.17	Rayos X panorámico dental	56
9.1.18	Descripción de las barreras de rayos X panorámico dental	56
9.1.19	Resultados del cálculo de blindaje en sala de rayos X panorámico dental	58
9.1.20	Sala de quirófano (Brazo en C).....	59
9.1.21	Descripción de las barreras de quirófano	59
9.1.22	Resultados del cálculo de blindaje en el quirófano.....	61
9.1.23	Angiografía.....	62
9.1.24	Descripción de las barreras de sala de angiografía	62
9.1.25	Resultados del cálculo de blindaje en sala de angiografía	64
9.1.26	Rayos X portátil.....	65
9.1.27	Descripción de las barreras de rayos X portátil	65
9.1.28	Resultados del cálculo de blindaje en Rayos X portátil	67
9.1.29	Densitometría ósea.....	68
9.1.30	Descripción de las barreras de densitometría ósea	68
9.1.31	Resultados de la evaluación de los blindajes instalados	70
10	Clasificación de Zonas.....	74
11	Protección radiológica del paciente y el POE	81
12	Levantamiento radiométrico de salas de una institución de salud.....	83
13	Pruebas de la existencia del blindaje en los dispositivos de protección	88
14	Resumen de los porcentajes de los blindajes usados en Honduras	97
15	Discusión	102
16	Conclusiones	103
17	Referencias Bibliográficas	104
18	Anexos	105

Índice de figuras.

Figura 1	<i>Publicación de la D.G.S.R. invitando a las instituciones a legalizar su servicio</i>	14
Figura 2	<i>Primera hoja de la notificación entregada a una institución ubicada en San Pedro Sula</i>	15
Figura 3	<i>Configuración experimental para la determinación simple del coeficiente de atenuación μ.</i>	18
Figura 4	<i>Medición de la atenuación de fotones en material absorbente:</i>	19
Figura 5	<i>Portada del reporte NCRP 147.</i>	22
Figura 6	<i>Graficas de las mediciones de atenuaciones para laminas plomadas</i>	22
Figura 7	<i>muestra el modelado de las 5 energías mas comunes en rayos x.</i>	25
Figura 8	<i>Láminas de plomo</i>	26
Figura 9	<i>Imagen de placa radiográfica realizada a una lámina plomada de 1mm de grosor</i>	27
Figura 10		27
Figura 11	<i>Paciente ubicado en el bucky de pared para un estudio de Tórax.</i>	28
Figura 12	<i>Esquema del montaje experimental</i>	28
Figura 13	<i>Montaje Fuente-detector, Fuente-Plomo-detector</i>	29
Figura 14	<i>valores digitados en la consola de control de los rayos X.</i>	30
Figura 15	<i>Valores captados con el detector para las barreras de 1mm a 5 mm</i>	30
Figura 16	<i>graficas de puntos y continua por regresión de los datos medidos</i>	31
Figura 17	<i>Mampara de sala de rayos x.</i>	32
Figura 18	<i>Blindaje de paredes.</i>	33
Figura 19	<i>Blindaje de puertas.</i>	33
Figura 20	<i>Vista lateral y frontal de una sección de plomo de 6mm.</i>	34
Figura 21	<i>Etiqueta colocada en el vidrio de una mampara de mamografía con un plomo de 0.1 mm.</i>	34
Figura 22	<i>Etiqueta de certificación.</i>	35
Figura 23	<i>Encofrado y acabo de paredes para sala de rayos x con puertas de acero con pb.</i>	36
Figura 24	<i>Construcción y acabado de pare con bloque de 8" con concreto de 2.3g/cm3 con vidrio plomado.</i>	36
Figura 25	<i>Vista de perfil y frontal de puerta de láminas de acero.</i>	37
Figura 26	<i>Lámina de acero.</i>	38
Figura 27	<i>Pared de sala rayos x blindada con panel knauf y un pedazo de Knauf de 20 mm.</i>	39
Figura 28	<i>Perfil de una cerámica sulfatada de 15 x 30 cm y un grosor de 3.5 cm.</i>	39
Figura 29	<i>Instalación de cerámica de sulfato de bario y sala de rayos X en funcionamiento.</i>	40
Figura 30	<i>Sala revestida con cerámica de sulfato de bario y cerámica de 25 x 25 cm.</i>	40
Figura 31	<i>Sala de rayos X.</i>	44
Figura 32	<i>Plano de una sala de rayos X.</i>	45
Figura 33	<i>Detalles para el blindaje de pared y puertas.</i>	46
Figura 34	<i>Máquina de rayos X con fluoroscopia.</i>	47
Figura 35	<i>Plano de una sala de rayos X con fluoroscopia.</i>	48
Figura 36	<i>Detalles para el blindaje de pared y puertas.</i>	48
Figura 37	<i>Mamógrafo de un hospital de Tegucigalpa.</i>	50
Figura 38	<i>Detalle para el blindaje de pared.</i>	51
Figura 39	<i>Plano de una sala de mamografía.</i>	51
Figura 40	<i>Tomógrafo de un hospital de Tegucigalpa.</i>	53
Figura 41	<i>Plano de una sala de tomografía.</i>	54
Figura 42	<i>Detalles para el blindaje de pared y puertas.</i>	54
Figura 43	<i>Imagen de una máquina de rayos X dental.</i>	56

Figura 44	<i>Plano de una sala de rayos X dental</i>	57
Figura 45	<i>Detalles para el blindaje de pared y puertas</i>	57
Figura 46	<i>Sala de quirófano de un hospital de Tegucigalpa</i>	59
Figura 47	<i>Plano de una sala de quirófano</i>	60
Figura 48	<i>Detalle de blindaje de pared</i>	60
Figura 49	<i>Imagen de una sala de angiografía</i>	62
Figura 50	<i>Plano de una sala de angiografía</i>	63
Figura 51	<i>Detalles para el blindaje de pared y puertas</i>	63
Figura 52	<i>Maquina de rayos X portátil</i>	65
Figura 53	<i>Plano de una sala con rayos X portátil</i>	66
Figura 54	<i>Detalles para el blindaje de paredes</i>	66
Figura 55	<i>Máquina de densitometría ósea</i>	68
Figura 56	<i>Plano de una sala densitometría ósea</i>	69
Figura 57	<i>Detalles para el blindaje de pared y puertas</i>	69
Figura 58	<i>Señalización de zona controlada</i>	74
Figura 59	<i>Señalización de zona supervisada</i>	75
Figura 60	<i>Este rótulo de zona supervisada siempre va acompañado del rótulo del posible estado de embarazo</i>	76
Figura 61	<i>Rótulo de prohibido el ingreso con el foco rojo encendido</i>	76
Figura 62	<i>Rótulo normado en la Guía orientativa</i>	77
Figura 63	<i>Rótulo de advertencia del posible estado de embarazo ubicado dentro de la sala de rayos X</i>	77
Figura 64	<i>Imagen de rotulo para evitar el acceso a damas en estado de embarazo a sala de rayos X</i>	78
Figura 65	<i>Rótulo de posible estado de embarazo colocado en una veterinaria de la capital</i>	78
Figura 66	<i>Se muestra el foco rojo encendido indicando que se está realizando un estudio</i>	79
Figura 67	<i>Señal de uso de indumentaria de protección en una sala de intervención</i>	79
Figura 68	<i>La fotografía muestra la colocación de la señalización dentro de una sala de rayos X veterinario</i>	80
Figura 69	<i>Plano que indica las zonas donde se colocan la señalización radiológica</i>	80
Figura 70	<i>Una mampara muy común utilizada en Rayos X, mamografía y densitometría ósea</i>	81
Figura 71	<i>Se muestra una mampara de un hospital capitalina para una sala de rayos X</i>	81
Figura 72	<i>Una sala de control de un tomógrafo de un Hospital en San Pedro Sula</i>	82
Figura 73	<i>Mampara de fábrica de 0.3 mm pb marca LORAD para un mamógrafo</i>	82
Figura 74	<i>Fotografía de un técnico haciendo el disparo</i>	83
Figura 75	<i>Valores digitados en la consola</i>	84
Figura 76	<i>Fantoma utilizada para dispersar la radiación aprovechando su volumen y densidad</i>	84
Figura 77	<i>Imágenes de mediciones realizadas</i>	85
Figura 78	<i>Fantoma utilizada para dispersar la radiación en sala de rayos X con fluoroscopia</i>	86
Figura 79	<i>Imágenes de las mediciones realizadas</i>	87
Figura 80	<i>Se muestra la ubicación del Geiger dentro de la sala de tomografía</i>	88
Figura 81	<i>Se obtuvo un valor máximo de radiación de 722.5 μSv/h</i>	89
Figura 82	<i>Se muestra la colocación del geiger al otro lado del vidrio obteniéndose un valor de 8.85 μSv/h</i>	89
Figura 83	<i>Se puede apreciar el dosímetro colocado sobre el inyector dentro de la sala de control</i>	90
Figura 84	<i>Se muestra la gráfica de brillo de la radiación obtenida de los cristales del dosímetro piloto</i>	90

Figura 85 <i>Sensor Survey midiendo la radiación emitida por el Cesio.</i>	91
Figura 86 <i>Fantoma colocado para un estudio de abdomen completo donde el tiempo de exposición es alto.</i>	93
Figura 87 <i>El detector de radiación marcó el valor de interés mostrado en la fotografía detrás del vidrio, que al cambiarlo de notación sería equivalente a 0.504 mSv, que es un valor que llama la atención.</i>	93
Figura 88 <i>El valor detectado es de 0.252 mSv</i>	94
Figura 89 <i>El detector indicó un valor extremadamente alto 1.26 mSv/h en la pared de la consola de control.</i>	94
Figura 90 <i>La Fotografía del detector muestra el valor obtenido en el lado de la sala de control.</i>	95
Figura 91 <i>Irradiación del fantoma con valores altos de tensión de tubo y corriente de exposición.</i>	96
Figura 92 <i>Materiales de blindaje.</i>	98
Figura 93 <i>Materiales de blindaje usados en mamparas.</i>	99
Figura 94 <i>Materiales usados en blindaje de puertas de acceso.</i>	100
Figura 95 <i>lámina de knauf de 1.2 cm de grosor.</i>	101
Figura 96 <i>Gráfico de transmisión de radiación secundaria generada por un tomógrafo a través de plomo.</i>	107
Figura 97 <i>Gráfico de transmisión en función del espesor de concreto para radiación secundaria emitida por un tomógrafo.</i>	108
Figura 98 <i>Gráfica de factores de transmisión vs grosor de concreto.</i>	109
Figura 99 <i>Tasa de dosis por paciente en estudios panorámicos dentales.</i>	112

Índice de tablas.

Tabla 1	Valores de mediciones aumentando el grosor del plomo.....	30
Tabla 2	Tabla de calculo del factor de atenuación.....	31
Tabla 3	Descripción del servicio de Rayos X	44
Tabla 4	Datos para cálculo de blindaje de Rayos X y espesores mínimos requeridos para barrera primaria y secundarias.....	45
Tabla 5	Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de Rayos X.	46
Tabla 6	Descripción del servicio de Rayos X con fluoroscopia.....	47
Tabla 7	Datos para cálculo de blindaje de Rayos X con fluoroscopia y espesores mínimos requeridos para barrera primaria y secundarias.	49
Tabla 8	Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de Rayos X.	49
Tabla 9	Detalles del servicio de mamografía.	50
Tabla 10	Datos para radiación secundaria del servicio de mamografía.....	52
Tabla 11	Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de mamografía.	52
Tabla 12	Descripción del servicio de tomografía.....	53
Tabla 13	Cálculo de blindaje para sala de tomografía.	55
Tabla 14	Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de tomografía.	55
Tabla 15	Detalles del servicio de rayos X panorámico dental.....	56
Tabla 16	Datos para cálculo de blindaje del servicio de rayos X panorámico dental.....	58
Tabla 17	Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de rayos X panorámico dental.	58
Tabla 18	Descripción del servicio de quirófano con brazo en C.	59
Tabla 19	Datos para cálculo de blindaje en el quirófano (brazo en C).....	61
Tabla 20	Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de quirófano.	61
Tabla 21	Descripción del servicio de angiografía.....	62
Tabla 22	Datos para cálculo de blindaje en sala de angiografía.	64
Tabla 23	Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de angiografía.....	64
Tabla 24	Descripción del servicio de Rayos X portátil.....	65
Tabla 25	Datos para cálculo de blindaje en el servicio de rayos X portátil.	67
Tabla 26	Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de Rayos X portátil.	67
Tabla 27	Descripción del servicio de densitometría ósea.....	68
Tabla 28	Descripción del blindaje existente en la sala de densitometría ósea.	70
Tabla 29	Evaluación del blindaje de la sala de rayos X.....	70
Tabla 30	Evaluación del blindaje de la sala de rayos X con fluoroscopia.	71
Tabla 31	Evaluación del blindaje de mamografía.	71
Tabla 32	Evaluación del blindaje de la sala de tomografía.	72
Tabla 33	Evaluación del blindaje de la sala de rayos X panorámico dental.	72
Tabla 34	Evaluación del blindaje de la sala de quirófano (brazo en C).....	73

Tabla 35	<i>Evaluación del blindaje de la sala de angiografía.</i>	73
Tabla 36	<i>Evaluación del blindaje del servicio de rayos X portátil.</i>	74
Tabla 37	<i>Rótulo instalado sobre una puerta de la sala de Rayos X de un centro en Tegucigalpa.</i>	75
Tabla 38	<i>Resumen de las mediciones Obtenidas en sala de rayos X:</i>	86
Tabla 39	<i>Resumen de las mediciones Obtenidas en sala de rayos X con fluoroscopia:</i>	86
Tabla 40	<i>Lectura de dosis mensuales registradas en la plataforma.</i>	91
Tabla 41	<i>Se colocó la pastilla dentro de la sala del TAC y al otro lado se midió 0.00 nSv/h.</i>	92
Tabla 42	<i>Tabla de los materiales que se usan en las instituciones.</i>	97
Tabla 43	<i>Materiales de blindaje utilizados en mamparas.</i>	99
Tabla 44	<i>Tablas de materiales usados en blindaje de puertas de acceso.</i>	100
Tabla 45	<i>Tabla 4.3 del NCRP 147.</i>	105
Tabla 46	<i>Tabla 4.1 del NCRP 147.</i>	106
Tabla 47	<i>Valores de referencia para capa hemirreductora.</i>	110
Tabla 48	<i>Gráfica de espesor de plomo para barrera secundaria en mamografía.</i>	110
Tabla 49	<i>Tabla F3 del NCRP 145.</i>	111

3 Introducción

La evaluación del blindaje de las salas de radiodiagnóstico se hace necesario para poder dar respuesta a las dudas de seguridad radiológica que tienen el personal ocupacionalmente expuesto (POEs) que hacen uso de equipo que opera con fuentes de radiación ionizante en sus labores diarias. Esta evaluación en su mayoría, es un cálculo numérico requiere el uso de fórmulas físicas donde intervienen parámetros reales medibles, datos tomados de tablas y valores obtenidos de gráficas. Cada servicio de radiodiagnóstico tiene sus propias características, los cálculos varían de acuerdo al tamaño de la sala, el equipo emisor de radiación que se usa, los materiales de construcción empleados y la carga de trabajo proyectada (cantidad de estudios radiográficos que se realicen).

En el país el personal capacitado para realizar estos estudios es muy escaso, a tal grado que solamente existen 4 personas con formación de físicos dedicados a este rubro. Sus conocimientos han sido adquiridos por cursos brindados por la Dirección General de Seguridad radiológica (DGSR), entrenamientos brindados por el organismo internacional de energía atómica (OIEA) en el marco de proyectos de país y capacitaciones que han brindado empresas extranjeras por la compra de equipamiento.

En países de primer mundo donde las regulaciones son más estrictas para las instalaciones hospitalarias que posean equipos de radiodiagnóstico, quienes realizan estos estudios de evaluación de seguridad radiológica son físicos médicos con experiencia en metrología de las radiaciones.

Para darle una respuesta satisfactoria a la incertidumbre de los POEs sobre si existe seguridad radiológica en sus lugares de trabajo, el estudio examinó directamente a más de 71 instituciones de salud que cuentan con estos equipos y se encontró que hay un porcentaje no cumplían con las normas mínimas de seguridad radiológica establecidas en la reglamentación vigente en el país. Por lo que se tuvieron que brindar una serie de recomendaciones a implementar de forma inmediata en estas instalaciones, que iban desde señalizaciones hasta reforzar el blindaje instalado.

Las salas donde se realizarán las evaluaciones son las que tienen equipos de radiodiagnóstico que poseen fuentes emisoras de radiación ionizantes para el diagnóstico médico como ser:

- Rayos X estacionarios
- Rayos X portátiles
- Rayos X panorámicos
- Rayos X veterinarios
- Mamógrafos
- Tomógrafos
- Densitómetro óseo
- Brazos en C
- Angiógrafo

4 Objetivos

Objetivo general

Mostrar las condiciones de seguridad radiológica que existen en 71 salas de radiodiagnóstico ubicadas en diferentes localidades del país, detallando los materiales de construcción utilizados para blindarlas por medio de cálculos originados de modelos radiológicos teóricos y experimentales.

Objetivos específicos

1. Explicar de una manera práctica y sencilla la metodología radiológica para el cálculo de los blindajes que garantizan la seguridad radiológica de las salas de radiodiagnóstico.
2. Brindar los detalles de construcción de los dispositivos de protección de radiodiagnóstico.
3. Dar a conocer las clasificaciones de zonas en las instalaciones por medio del uso de la señalización radiológica según el reglamento de la autoridad reguladora nacional.
4. Detallar con ejemplo reales el cálculo de blindajes empleando los criterios de la normativa internacional contenidos National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP).
5. Por medio de estudios de casos mostrar el cumplimiento de la normativa de seguridad radiológica en las instalaciones.
6. Mostrar estadísticamente la distribución de los materiales que se utilizan en el país para proporcionar la protección radiológica de pacientes, público y personal ocupacionalmente expuesto (POEs).

5 Antecedentes

En el país no existe un inventario de las condiciones de la seguridad radiológica de las salas de radiodiagnóstico, esto debido en parte, a que la autoridad reguladora es relativamente joven funcionando en el país y que ejerce sus funciones despacio por varias limitantes.

Hay leyes publicadas desde el 2009 sobre las actividades nucleares y la seguridad radiológica, pero hasta hace poco en el 2019 la autoridad reguladora (D.G.S.R.) inició una campaña para que de manera voluntaria las instituciones que cuentan con fuentes de radiación ionizante hicieran su proceso de autorización de operación con equipo de radiodiagnóstico médico.

Figura 1

Publicación de la D.G.S.R. invitando a las instituciones a legalizar su servicio

32 La Tribuna Miércoles 27 de marzo, 2019



Gobierno de la
República de Honduras

Secretaría de Estado
en el Despacho de Energía

LA SECRETARÍA DE ESTADO EN EL DESPACHO DE ENERGÍA (SEN)

LA SECRETARÍA DE ESTADO EN EL DESPACHO DE ENERGÍA (SEN) a través de La **DIRECCIÓN GENERAL DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA (DGSR)**, **CONVOCA** a nivel nacional, a todos los usuarios PÚBLICOS Y PRIVADOS que emplean Fuentes de Radiación Ionizante (Entiéndase equipos de rayos X y/o fuentes radiactivas) en aplicaciones médicas, industriales, de la construcción, mineras, de investigación y agropecuarias, abocarse a la Secretaría de Energía, ubicada en la Colonia Tepeyac, Calle Real de Minas, contiguo a Farmacias Kielsa, en Tegucigalpa M.D.C. para conocer los requisitos regulatorios e iniciar su proceso de autorización de uso de fuentes de radiación, en cumplimiento al Decreto Legislativo No. 195-2009 "Ley Sobre Actividades Nucleares y Seguridad Radiológica" sus reglamentos, el Acuerdo Ejecutivo 006-2016 y Decreto Ejecutivo PCM 048-2017. La vigencia para realizar las gestiones correspondientes será de noventa (90) días posterior a esta publicación.

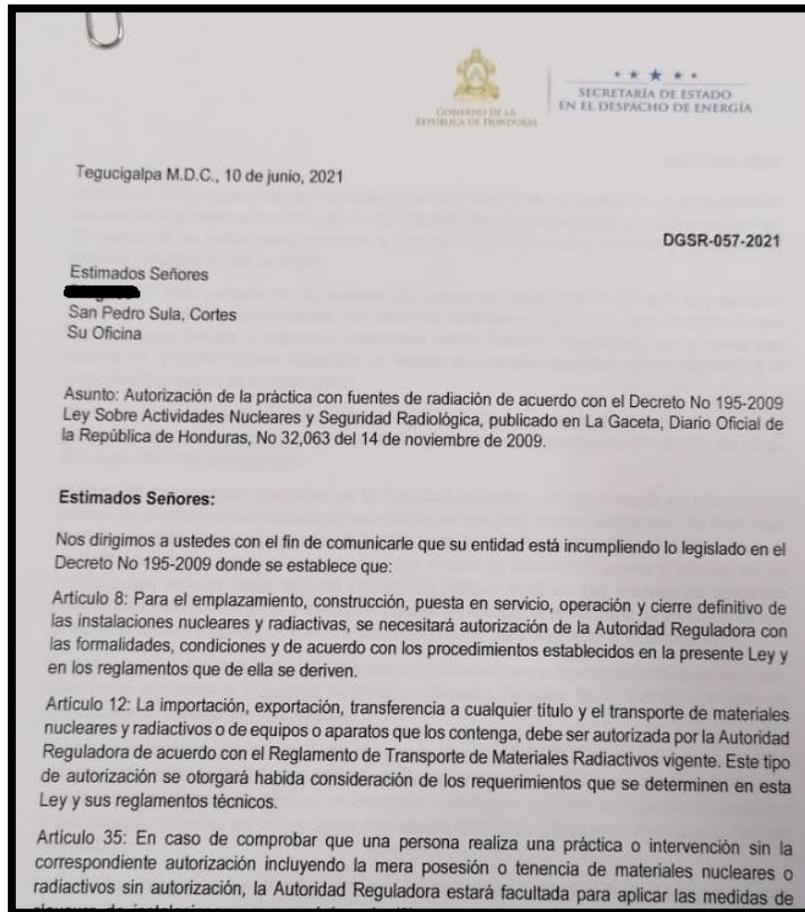
EL INCUMPLIMIENTO de lo anterior constituye una falta a ley y se considerará a la instalación como un **RIESGO** para los usuarios y la población en general. Para más información puede comunicarse al **+504 22328500 ext. 120 o 121**.

ING. ROBERTO A. ORDOÑEZ WOLFOVICH
SECRETARIO DE ESTADO EN EL DESPACHO DE ENERGÍA

En el 2021 la Dirección General de Seguridad Radiológica (D.G.S.R.) empezó a entregar notificaciones de cumplimiento obligatorio a las diferentes instituciones públicas y privadas para legalizar el uso de operaciones con fuentes de radiación ionizante, dándoles un tiempo de 90 días hábiles para poderlo realizar.

Figura 2

Primera hoja de la notificación entregada a una institución ubicada en San Pedro Sula



Estas notificaciones dieron lugar a que las instituciones se acercaran la D.G.S.R. a presentar sus estudios del Programa de Protección Radiológica de su institución. Lo que implicaba:

- Memoria analítica de cálculo de blindaje
- Plano de barreras de la instalación de radiodiagnóstico
- Declaración jurada firmada por el Oficial de Protección Radiológica
- Inventario de los equipos emisores de radiación
- Manual de procedimientos de medidas de seguridad para:
Personal ocupacional expuesto (POEs), exposición médica, exposición del público.
- Manual de protección radiológica del paciente
- Controles de calidad básicos del equipo.

6 Marco teórico: Modelo radiológico empleado para interpretar la interacción de los fotones con los medios absorbentes.

Para explicar cómo los fotones interactúan con la materia y algunas de estas poseen características especiales que los hacen servir de barreras al paso de fotones. Trabajaremos con la teoría básica necesaria para explicar esta interacción, que es muy común a los fenómenos que presentan decaimientos.

Al penetrar en un medio absorbente, los fotones pueden experimentar varias interacciones con los átomos del medio.

Estas interacciones involucran los elementos que conforma la estructura atómica del medio absorbente:

1. Las interacciones con los núcleos pueden ser interacciones directas fotón-núcleo (fotodesintegración) o interacciones entre el fotón y el campo electrostático del núcleo.
2. Las interacciones fotón-electrón orbital se caracterizan como interacciones entre el fotón y un electrón débilmente ligado (dispersión de Thomson, efecto Compton, producción de triplete) o un electrón fuertemente ligado (efecto fotoeléctrico, La dispersión de Rayleigh).

Un electrón débilmente enlazado es un electrón cuya energía de enlace E_B es pequeña en comparación con energía fotónica $h\nu$, es decir, $E_B \ll h\nu$. Una interacción entre un fotón y Se considera que un electrón débilmente unido es una interacción entre un fotón y un electrón "libre" (es decir, no ligado).

Un electrón fuertemente ligado es un electrón cuya energía de enlace E_B es comparable, mayor, o ligeramente menor que la energía del fotón $h\nu$. Para una interacción de fotones con un electrón fuertemente ligado ocurra, la energía de enlace E_B del electrón debe ser del orden de la energía fotónica $h\nu$, pero ligeramente menor que ella, es decir, $E_B \lesssim h\nu$. Una interacción entre un fotón y un electrón fuertemente ligado se considera una interacción entre un fotón y el átomo como un todo.

En lo que respecta al destino del fotón después de la interacción con un átomo, hay 3 resultados posibles:

1. El fotón desaparece (es decir, se absorbe por completo) y una parte de su energía es transferida a partículas de carga ligera (electrones y positrones).
2. El fotón se dispersa y tiene dos resultados:
 - a. El fotón resultante tiene la misma energía que el fotón incidente y ninguna partícula con carga ligera se liberan en la interacción.
 - b. El fotón dispersado resultante tiene una energía menor que el fotón incidente. y el exceso de energía se transfiere a una partícula con carga ligera (electrón).

Las partículas de carga ligera (electrones y positrones) liberadas o producidas en el medio absorbente a través de interacciones de fotones van a:

1. Depositar su energía en el medio a través de interacciones de Coulomb con electrones orbitales del medio absorbente (pérdida por colisión también conocida como ionización pérdida).
2. Irradiar su energía cinética en forma de fotones a través de interacciones Coulomb con los núcleos del medio absorbente (pérdida por radiación).

El parámetro más importante utilizado para la caracterización de la penetración de rayos X o rayos gamma en medios absorbentes es el coeficiente de atenuación lineal μ . Este coeficiente depende de la energía $h\nu$ del fotón y del número atómico Z del absorbedor, y puede describirse como la probabilidad por unidad de longitud de trayectoria de que un fotón tenga una interacción con el absorbedor.

La relación funcional entre el espesor de un absorbedor y la intensidad de un haz de fotones atenuado por el absorbedor generalmente se deriva usando cálculo diferencial. Sin embargo, la relación también se puede derivar sin cálculo con la ayuda de un experimento mental (experimento de Gedanken) que se muestra esquemáticamente en la figura 3. Un haz de fotones monoenergético colimado de energía $h\nu$ golpea un detector y produce una intensidad medida I_0 . Cuando se coloca un absorbente de espesor ℓ en la trayectoria del haz de fotones, la intensidad del haz medido disminuye a I_1 que puede ser expresado como $I_1 = RI_0$ siendo R la relación entre I_1 e I_0 . Como $I_1 < I_0$, por lo que $R < 1$.

Cuando se coloca otra capa ℓ del mismo material absorbente en el haz del fotón, la intensidad medida disminuye a $I_2 = RI_1 = R^2I_0$, con tres capas para $I_3 = RI_2 = R^3I_1$, etc., hasta que para un gran número n de capas absorbentes obteniendo $I_n = RI_{n-1} = \dots = R^{n-1}I_1 = R^nI_0$.

Designar el espesor total del absorbedor como x donde $x = n\ell$ ahora podemos escribir.

$$I_n = I(x) = R^n I_0 = R^{x/\ell} I_0 \quad (1)$$

Aplicamos un logaritmo natural en ambos lados de la ecuación:

$$\ln \left(\frac{I(x)}{I_0} \right) = x \frac{\ln R}{\ell} \quad (2)$$

Llamaremos el coeficiente de atenuación al cociente

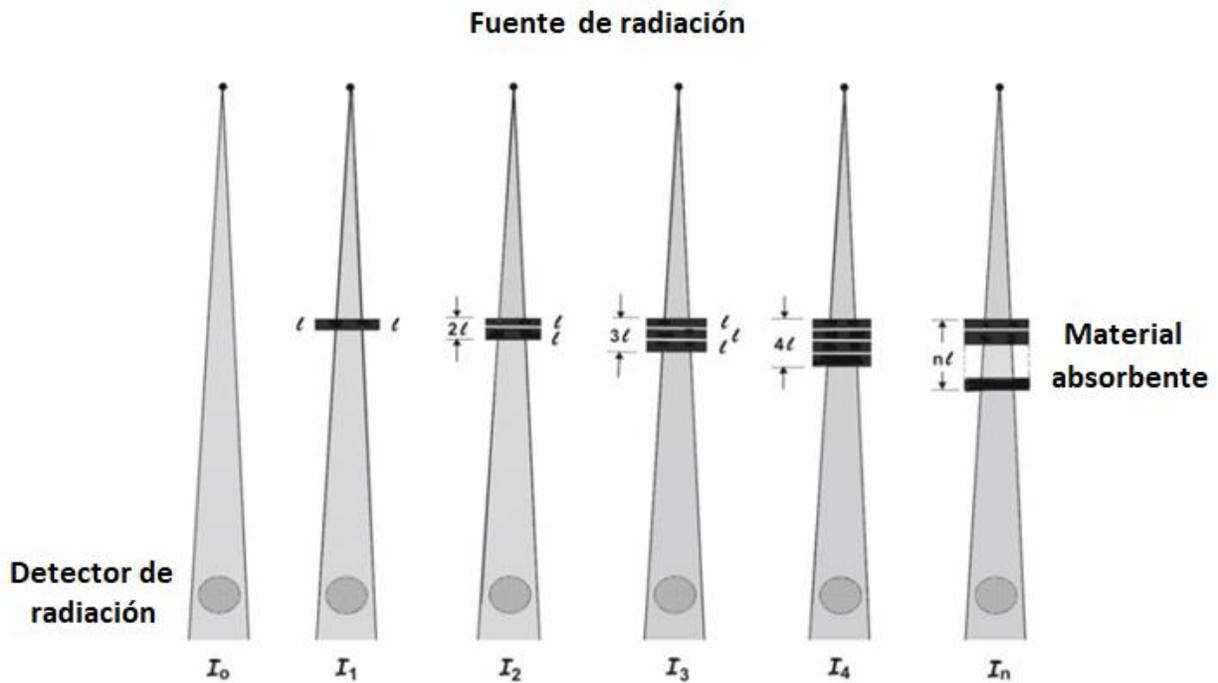
$$\mu = \frac{\ln R}{\ell} \quad (3)$$

Quedándonos:

$$\ln \frac{I(x)}{I_0} = x \frac{\ln R}{\ell} = -\mu x \quad (4)$$

Figura 3

Configuración experimental para la determinación simple del coeficiente de atenuación μ .



donde, como consecuencia de $R < 1$, es decir, en $R < 0$, definimos la relación $-(\ln R)/\ell$ como el coeficiente de atenuación μ .

La ecuación para la intensidad $I(x)$ representa el estándar ley de atenuación exponencial y generalmente se escribe en forma exponencial de la siguiente manera:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (5)$$

Donde las variables:

I_0 es la intensidad del haz sin atenuador.

μ es el coeficiente de atenuación lineal.

Geometría de haz estrecho.

El coeficiente de atenuación μ se determina experimentalmente usando la técnica llamada geometría de haz estrecho que implica una fuente estrechamente colimada de fotones monoenergéticos y un detector estrechamente colimado.

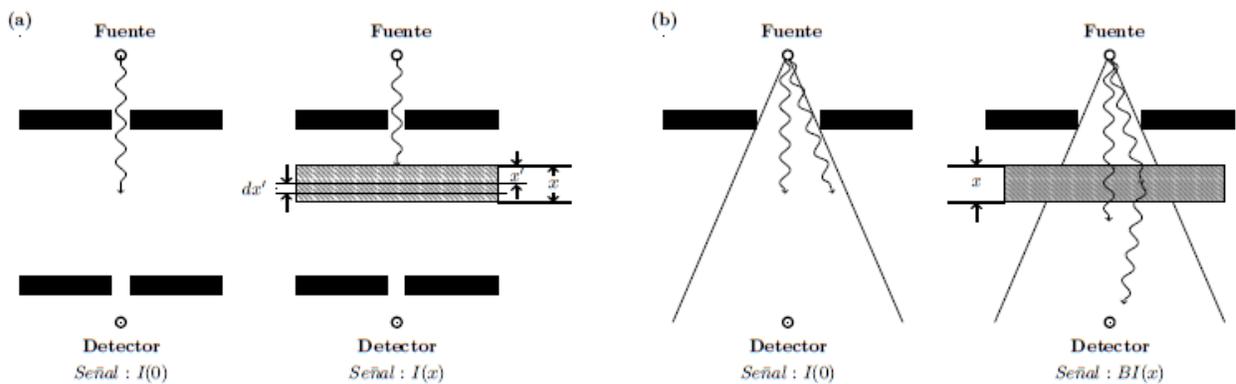
La figura 4 se ilustra como realizar el experimento del coeficiente de atenuación:

Primer paso: Se coloca una losa de material absorbente de espesor x entre la fuente y el detector. El absorbente disminuye la señal del detector (intensidad que es proporcional al número de fotones golpeando el detector) desde $I(0)$ medido sin el absorbente en su lugar hasta $I(x)$ medido con espesor absorbente x en el haz. Una capa de espesor dx' del absorbente reduce la intensidad del haz por dI y la reducción fraccionaria en la intensidad, $-dI/I$, es proporcional a dos parámetros:

1. Coeficiente de atenuación lineal μ (a menudo denominado coeficiente de atenuación μ), medido en unidades de $(longitud)^{-1}$
2. Espesor de capa dx'

Figura 4

Medición de la atenuación de fotones en material absorbente:



Nota:(a) geometría de haz estrecho

(b) geometría de haz ancho

Trabajaremos en la demostración de una ecuación para determinar la atenuación

Podemos escribir $-dI/I$ de la siguiente manera:

$$-\frac{dI}{I} = \mu dx' \quad (6)$$

donde el signo negativo se usa para indicar una disminución en la señal I con un aumento en el espesor del absorbente x y μ representa la probabilidad de que un fotón interactúe en una unidad del espesor del absorbente atravesado.

El producto $\mu dx'$ representa la probabilidad de que un el fotón interactúa en la capa absorbente dx .

Ahora integraremos la ecuación sobre el espesor del absorbente de 0 a x y sobre intensidad de la intensidad inicial $I(0)$ a la intensidad $I(x)$ en el espesor del absorbente x , obtenemos:

$$\int_{I(0)}^{I(x)} \frac{dI}{I} = - \int_0^x \mu dx' \quad (7)$$

$$I(x) = I(0)e^{-\int_0^x \mu dx'} \quad (8)$$

Para un medio homogéneo el coeficiente de atenuación μ es uniforme ($\mu = \text{const}$) y se reduce a la relación exponencial estándar válida para haces de fotones monoenergéticos.

$$I(x) = I(0)e^{-\int_0^x \mu dx'} = I(0) e^{-\mu x} \quad (9)$$

La ecuación representa la expresión estándar de la ley de atenuación exponencial que se aplica a la geometría de haz estrecho teniendo estas características:

1. Ya sea un coeficiente de atenuación constante μ y una simple absorción de radiación sin ninguna dispersión y sin producción de radiación secundaria en el absorbedor
2. O, cuando la dispersión y la radiación secundaria están presentes, no contribuyen a $I(x)$.

Para contar con una constante de atenuación emplearemos un poco de matemáticas para tener un valor más exacto.

Dado que la función exponencial $y = e^z$ se puede aproximar mediante la siguiente infinita serie de Taylor.

$$y = e^z = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{n!} = 1 + \frac{z}{1!} + \frac{z^2}{2!} + \frac{z^3}{3!} + \frac{z^4}{4!} + \dots \quad (10)$$

para μx lo suficientemente pequeño y jugando un poco con las ecuaciones tenemos $z = -\mu x$ y $y = I(x) = I(0)$, por los dos primeros términos de la serie obtenemos:

$$\frac{I(x)}{I(0)} \approx 1 - \mu x \quad (11)$$

Cuanto menor es μx en comparación con 1, más precisa es la aproximación anterior.

Geometría de haz ancho

En los estudios de radiodiagnóstico es usado el haz ancho para poder abarcar las estructuras óseas que se necesitan generar radiografías, por lo que se hace obligatorio su análisis.

En contraste con la geometría de haz estrecho que se usa en la determinación de los diversos coeficientes de atenuación y secciones transversales para la atenuación del haz de fotones, también se puede lidiar con la geometría de haz ancho en la que la lectura del detector no solo disminuye por la atenuación del haz de fotones primario en el absorbedor, pero también se incrementa por la radiación dispersada desde el absorbedor hacia el detector.

La señal $I_B(x)$ medida por el detector para un absorbente con espesor x en la geometría del haz ancho se expresa de la siguiente manera.

$$\frac{I_B(x)}{I_N(0)} = B \quad (12)$$

Donde B es el llamado factor de acumulación que explica los fotones secundarios que se dispersan desde el absorbedor hacia el detector.

$I_N(x)$ es la señal de geometría de haz angosto para el espesor del absorbedor x dada como

$$I_N(x) = I_N(0) e^{-\mu x} \quad (13)$$

con $I_N(0)$ la señal de geometría de haz estrecho medida en ausencia del absorbedor. El factor de acumulación B se ve afectado por la energía del haz de fotones, así como por la geometría, número atómico y espesor del absorbente, y la cantidad medida que puede ser flujo de fotones, flujo de energía de fotones, intensidad del haz, exposición del haz, kerma o dosis. Para geometría de haz estrecho $B = 1$, para geometría de haz ancho B es positivo y bajo ciertas condiciones puede ascender a un factor de 10 o más. Ya que en haz ancho los fotones de atenuación que interactúan con el absorbente pueden dispersarse en el detector contribuyendo así a la señal medida.

Un concepto alternativo al factor de acumulación es el concepto de la media efectiva del coeficiente de atenuación $\bar{\mu}_{eff}$ como sigue

$$I_B(x) = I_N(x) B = I_N(0) B e^{-\mu x} = I_N(0) B e^{-\bar{\mu}_{eff} x} \quad (14)$$

De la ecuación obtenemos la expresión siguiente para $\bar{\mu}_{eff}$

$$\bar{\mu}_{eff} = \mu - \frac{\ln B}{x} \quad (15)$$

A este resultado nos interesa llegar porque la geometría de haz ancho se utiliza en la protección radiológica para el diseño del blindaje de la sala de tratamiento y estudios de transporte en haz.

Para unificar criterios en los cálculos de blindaje de las salas el Consejo nacional de Protección radiológica creó la publicación NCRP 147

Figura 5
Portada del reporte NCRP 147.



Donde se plantean varios cambios de variables, donde:

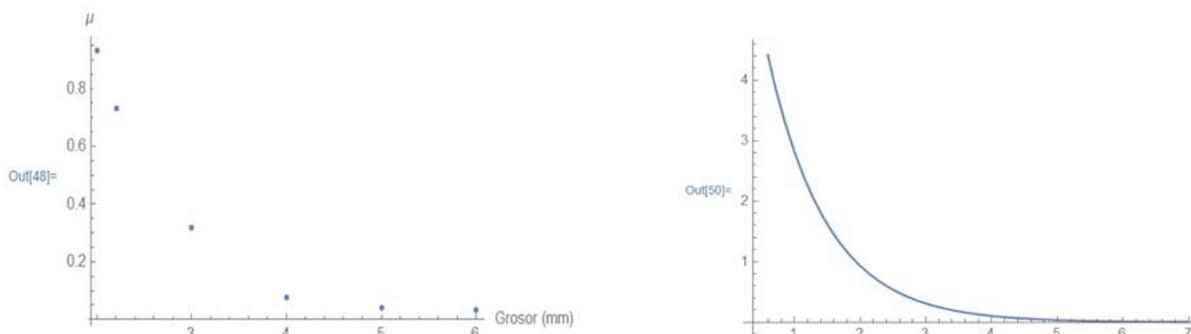
$$K = B = \frac{I_B(x)}{I_N(0)} \quad (16)$$

$$K = \frac{P}{W} \quad (17)$$

En la publicación NCRP49 encontramos el modelado de la atenuación de la radiación con respecto al grosor del plomo (x), mismo experimento que realicé en el siguiente apartado para demostrar que se obtiene la misma tendencia.

Al realizar el experimento para la atenuación se encuentra una gráfica de puntos como la que tengo abajo que pertenece a una energía de 100 kVp.

Figura 6
Gráficas de las mediciones de atenuaciones para láminas plomadas



Donde la gráfica que más se adapta es un modelado exponencial (la de la derecha), este se obtiene usando la opción de regresiones o ajustes del paquete de Mathematicas. Para este caso en particular se trabajo

```
In[ ]:= g = {1, 2, 3, 4, 5, 6};
```

```
In[ ]:= m = {0.98, 0.93, 0.32, 0.076, 0.040, 0.033};
```

```
In[ ]:= c = Partition[Riffle[g, m], 2]
      |particiona |intercala
```

```
Out[ ]:= {{1, 0.98}, {2, 0.93}, {3, 0.32}, {4, 0.076}, {5, 0.04}, {6, 0.033}}
```

```
In[ ]:= g1 = ListPlot[c, AxesLabel -> {"Grosor (mm)", "μ"}]
      |representació... |etiqueta de ejes
```

```
In[ ]:= Exp[a x + b]
      |exponencial
```

```
Out[ ]:= eb+ax
```

```
In[ ]:= coeficientes = FindFit[c, Exp[a x + b], {a, b}, x]
      |ajusta una f... |exponencial
```

```
Out[ ]:= {a -> -0.540359, b -> 0.62946}
```

```
In[ ]:= g2 = Plot[Exp[a x + b] /. coeficientes, {x, 0, 7}, AxesLabel -> {"Grosor (mm)", "μ"}]
      |repr... |exponencial |etiqueta de ejes
```

```
datos = {{1, 0.98}, {2, 0.93}, {3, 0.32}, {4, 0.076}, {5, 0.040}, {6, 0.033}}
```

```
k = NonlinearModelFit[datos, a * (Exp[b * x + c]), {a, b, c}, x]
```

```
FittedModel [1.37977 e0.307546-0.540359*x]
```

```
Plot[Callout[1.379 * e0.31-0.54*x, "150kVp", {4, 0.2 * 10-5}, {x, 0, 6}, PlotRange
      -> {{0, 6}, {1 * 10-2, 1.4}}, PlotLegends -> {"150kVp"}, Frame -> True, FrameLabel
      -> {"Plomo" ("mm"), "Coeficiente de Atenuación"}]
```

El ajuste que más se aproxima a los datos experimentales medidos es una función de decaimiento exponencial y comparativamente se gráfica con el modelo empírico de la atenuación de fotones propuesto por el NCRP49 apéndice D determinado mecánicamente.

El factor de acumulación tomando las condiciones es:

$$K = K_o \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{+\alpha \gamma x} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{\frac{-1}{\gamma}} \quad (18)$$

Esto sirve de base para graficar las demás energías, tomando como los valores de las constantes de la función:

```

In[ ]:=      K0 = 0.1;
In[ ]:=      a = 0.31;
In[ ]:=      b = 0.01;
In[ ]:=      c = 24.5;
In[ ]:=      g = 0.31;
In[ ]:=      h = 0.01;
In[ ]:=      i = 56;
In[ ]:=      alpha = 0.01;
In[ ]:=      d = 0.31;
In[ ]:=      e = 0.01;
In[ ]:=      f = 27;
In[ ]:=      j = 0.31;
In[ ]:=      k = 0.01;
In[ ]:=      l = 150;

```

Se separa las funciones para generar una gráfica para cada una de las 5 energías:

```

In[ ]:=
K1[x_, gamma_, alpha_, beta_] := K0 ((1 + beta/alpha) * e^(alpha*gamma*x) - beta/alpha)^(1/gamma);
K2[x_, a_, b_, c_] := K0 ((1 + c/b) * e^(b*a*x) - c/b)^(1/a);
K3[x_, d_, e_, f_] := K0 ((1 + f/e) * e^(e*d*x) - f/e)^(1/d);
K4[x_, g_, h_, i_] := K0 ((1 + i/h) * e^(h*g*x) - i/h)^(1/g);
K5[x_, j_, k_, l_] := K0 ((1 + l/k) * e^(k*j*x) - l/k)^(1/j);

```

Comandos en Mathematicas para generar las condiciones gráficas de la función para 5 energías:

```

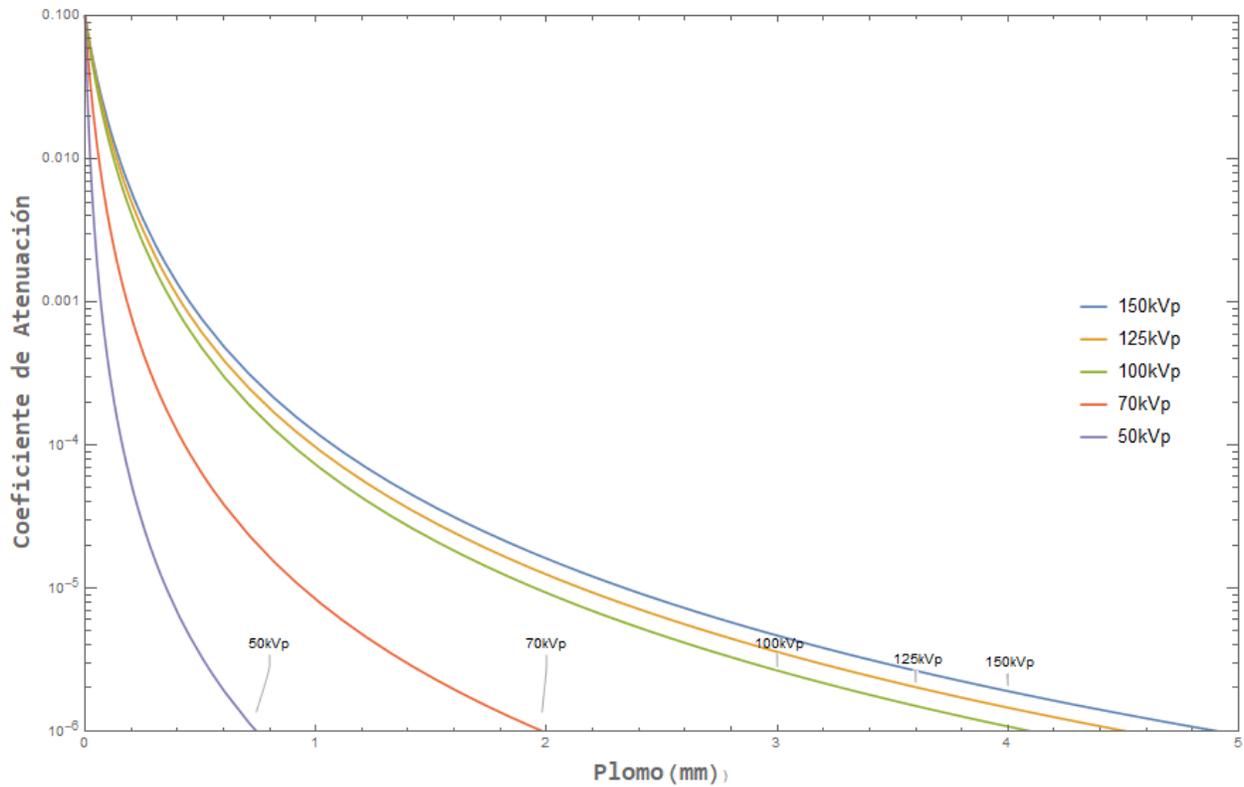
In[ ]:=
LogPlot[{{Callout[K1[x, gamma, alpha, beta], "150kVp", {4, 0.2 * 10^-5]}, Callout[K2[x, a, b, c], "125kVp", {3.6, 0.21 * 10^-5}]
|representar... |línea guía |línea guía
, Callout[K3[x, d, e, f], "100kVp", {3, 0.27 * 10^-5]},
|línea guía
Callout[K4[x, g, h, i], "70kVp", {2, 0.27 * 10^-5]}, Callout[K5[x, j, k, l], "50kVp", {0.8, 0.27 * 10^-5}]},
|línea guía |línea guía
{x, 0, 5}, PlotRange -> {{0, 5}, {1 * 10^-6, 0.1}},
|rango de representación
PlotLegends -> {"150kVp", "125kVp", "100kVp", "70kVp", "50kVp"},
|leyendas de representación
Frame -> True, FrameLabel -> {"Plomo (mm)", "Coeficiente de Atenuación"}
|marco |verd... |etiqueta de marco

```

Con el modelado de las 5 energías más usadas en el equipo de Rayos X:

Figura 7

Muestra el modelado de las 5 energías más comunes en rayos x.



El modelo que se utiliza para hacer las gráficas de las energías al momento de hacer los cálculos del blindaje realmente no tiene un fin práctico. Porque debido a los grosores comerciales de los materiales se tiene que trabajar con valores aproximados y no exactos.

7 Metodología para determinar la atenuación que ofrecen los materiales absorbentes al paso de la radiación.

Las salas de radiodiagnóstico en Honduras poseen un Bucky de pared colocado paralelo a una pared que se llama la barrera primaria porque recibe la radiación de la fuente de forma directa. El objetivo del experimento es verificar el blindaje que ofrecen los materiales absorbentes de la radiación al colocarlos como barreras.

El experimento consiste en simular la barrera primaria con láminas de plomo colocadas a una distancia de 40 pulgadas (1 m) como se colocaría a un paciente que se le realiza un estudio de Tórax y mediremos con un detector colocado a 30 cm detrás de la barrera son recomendaciones que indica el NCRP.

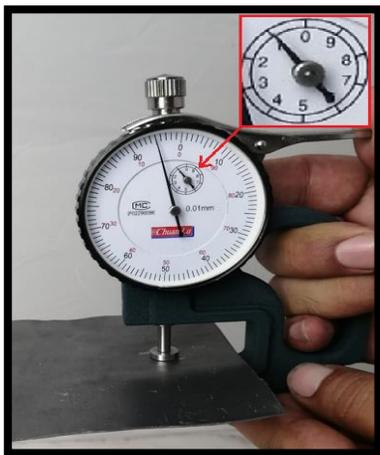
1) Los materiales y equipo en el experimento son:

- Un equipo de Rayos X marca TOSHIBA Modelo XAPS-1000A
- Detector Geiger Müller marca Gamma Scout número de serie: 068473
- Láminas de plomo de diferentes grosores
- Base de metal, varillas metálicas, soporte para láminas, prensas
- Cinta métrica y micrómetro

El material absorbente de la radiación que usaremos para la experiencia serán láminas de plomo que variaré cada 1mm hasta llegar a un grosor de 6 mm.

Figura 8

Láminas de plomo



Nota: (a) Lámina de plomo 1mm de grosor



(b) Grupo de láminas de plomo colocadas para llegar a 6 mm de grosor de la última prueba.

Se expuso todas las láminas plomadas a un estudio alto en kVp y mAs para poder comprobar su integridad, con el objetivo de verificar que no tengan orificios ni quiebres.

Figura 9

Imagen de placa radiográfica realizada a una lámina plomada de 1mm de grosor



Figura 10

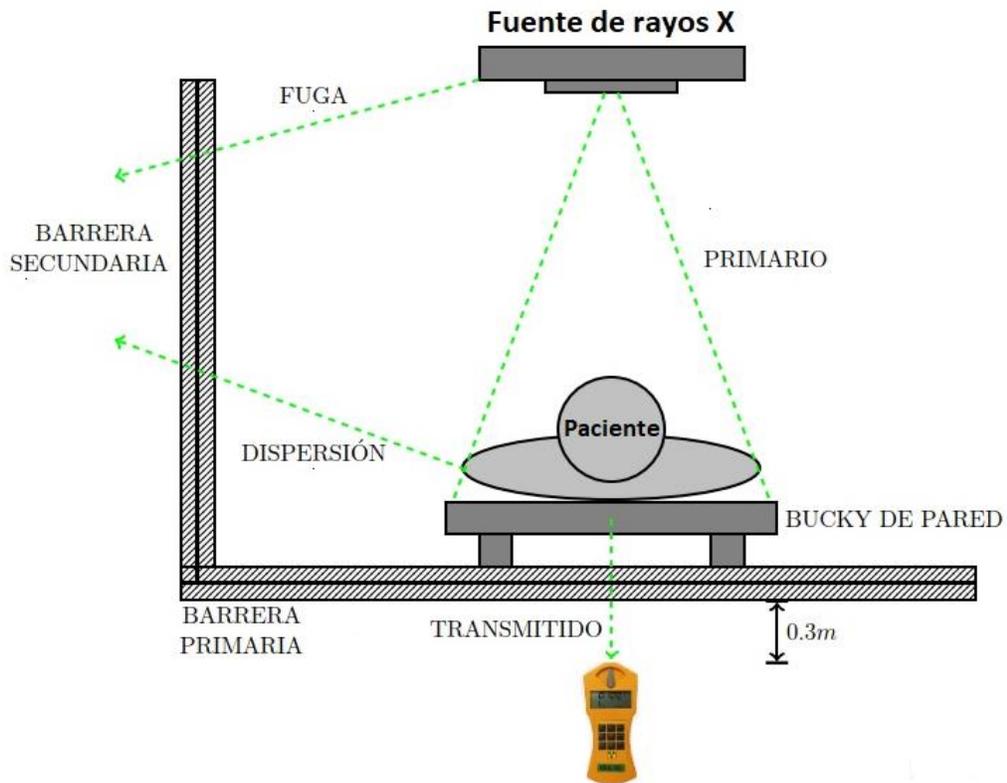
Placa radiográfica realizada a una lámina plomada de 2mm de grosor..



2) La situación real que tenemos en una sala de radiodiagnóstico nos servirá para elaborar nuestro esquema del experimento:

Figura 11

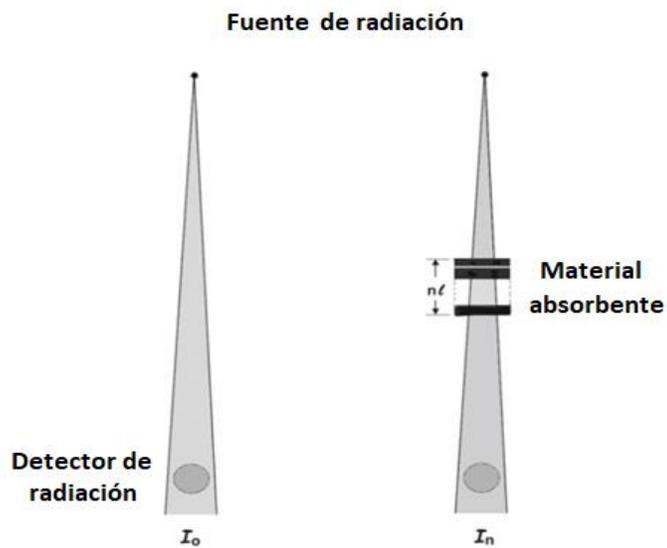
Paciente ubicado en el bucky de pared para un estudio de Tórax.



3) Esquema de la experiencia

Figura 12

Esquema del montaje experimental



4) Montaje experimental: Fuente-detector, Fuente-Plomo-detector

Figura 13

Montaje Fuente-detector, Fuente-Plomo-detector



Nota:(a) Fuente irradiando directamente al detector

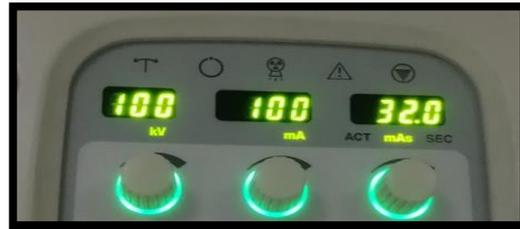


(b) Barrera de plomo colocada a 30 cm del detector y a 1 metro de la fuente. Área de colimación 2.3 x 2 pulgadas.

5) Coloqué en la consola del equipo valores como si se realizara un estudio de Tórax a un Adulto para un foco de 100 con una tensión de Tubo de 100 kVp, corriente de 100 mA y una penetración 32 mAs

Figura 14

Valores digitados en la consola de control de los rayos X.



6) Los valores digitados en la consola se mantienen constantes, hacemos unas siete medidas con el detector: la primera sin plomo, la segunda con una lámina de 1 mm y las sucesivas las iremos aumentando cada 1 mm de plomo hasta llegar a 6.

Figura 15

Valores captados con el detector para las barreras de 1mm a 5 mm



7) Tabulando los valores:

Tabla 1

Valores de mediciones aumentando el grosor del plomo

Grosor (x)	I_n ($\mu\text{Sv/h}$) medición detrás PB	I_o ($\mu\text{Sv/h}$) medición directa
1 mm	171.3	174.7
2 mm	163.3	
3 mm	56.28	
4 mm	13.44	
5 mm	7.129	
6 mm	5.791	

8) Calcularemos el factor de atenuación utilizando el concepto de la geometría de haz ancho

$$\frac{I_n(x)}{I_o(0)} = B \quad (19)$$

Donde B es el llamado factor de acumulación que nos brinda un valor aproximado del factor de atenuación.

Tabla 2

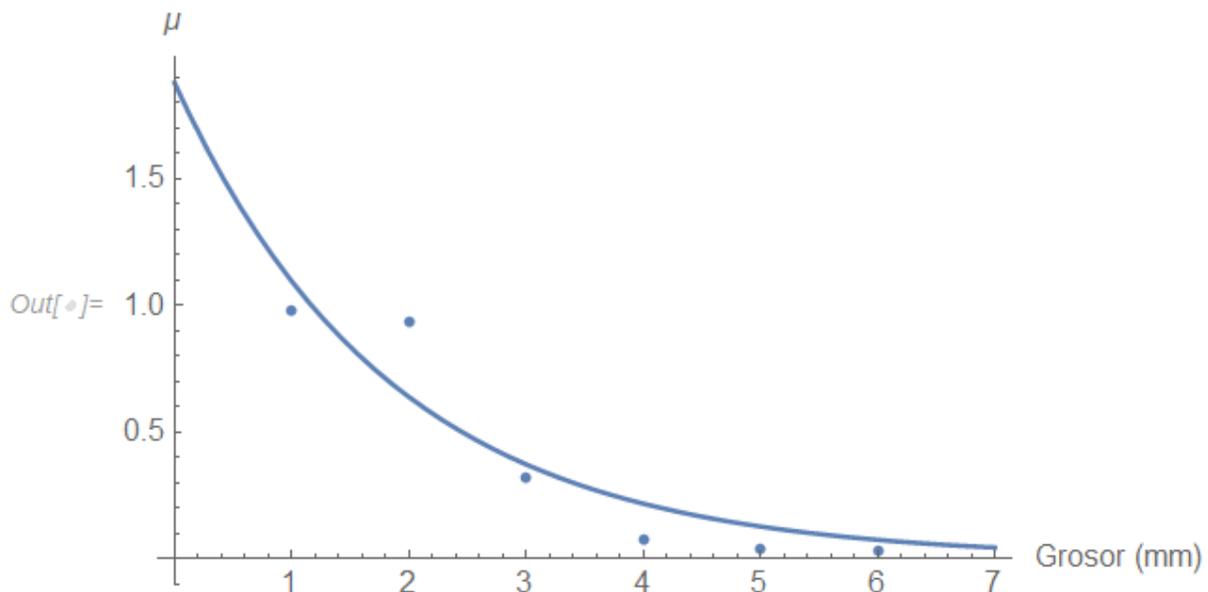
Tabla de cálculo del factor de atenuación.

Grosor (x)	I_n ($\mu\text{Sv/h}$) medición detrás PB	I_o ($\mu\text{Sv/h}$) medición directa	Factor de atenuación:
1 mm	171.3	174.7	0.980
2 mm	163.3		0.934
3 mm	56.28		0.322
4 mm	13.44		0.076
5 mm	7.129		0.040
6 mm	5.791		0.033

9) Haciendo la gráfica del factor de atenuación con el grosor del plomo:

Figura 16

Graficas de puntos y continua por regresión de los datos medidos



Al observar la gráfica se ve que entre más se aumenta el grosor de las láminas de plomo el factor de atenuación se hace cero, lo que indica que es insignificante el paso de radiación.

8 Materiales de construcción utilizados en Honduras para proporcionar blindaje

El material más común para blindar comercial en el país son las láminas de plomo 4 x 8 pies con grosores que varían comercialmente de 0.5 mm a 2mm.

8.1 Láminas de plomo:

Las láminas plomadas se utilizan para blindar dispositivos construidos para proporcionar protección radiológica al técnico que opera el equipo, a quien llamaremos personal ocupacionalmente expuesto (POEs), también se utiliza en el perímetro de las salas como barrera de protección para pacientes y el público.

La siguiente foto muestra la mampara de una sala de rayos X en la colonia Kennedy que se le colocó una lámina de 1 mm de equivalente de plomo:

Figura 17

Mampara de sala de rayos x.



Nota: (a) Lámina de 1mm de plomo sobre mampara

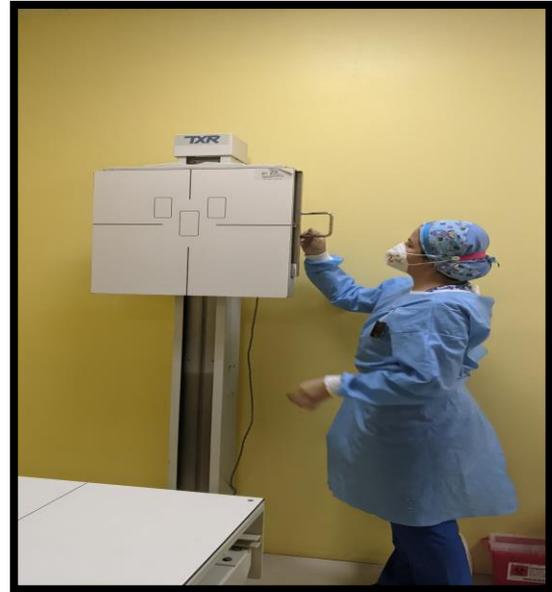
*(b) Sobre el plomo se colocó tabla yeso
y luego se pintó*

El plomo también se utiliza para blindar paredes en casi todas modalidades de radiodiagnóstico que utilicen equipo con fuentes de radiación ionizante. Las siguientes fotografías son de un

centro que está ubicado en el oriente del país, ofrece el servicio en casi todas las modalidades de radiodiagnóstico:

Figura 18

Blindaje de paredes.



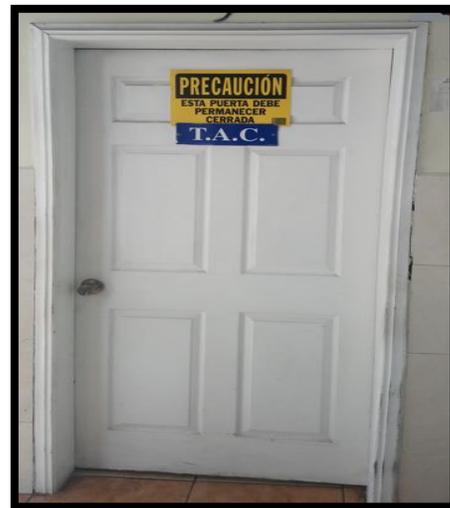
Nota: (a) Pared con plomo instalado hasta una con tabla yeso

(b) Después la pared se recubrió altura de 2 m

El plomo se instala en puerta de acceso a las salas, estas en su estructura de soporte utilizan materiales de metal y madera. Para la colocación del plomo en el interior de la puerta no se emplean medios que causen perforaciones como ser clavos o tornillos, se fija por medio de pegamentos especiales.

Figura 19

Blindaje de puertas.



En ciudades en el centro del país que iniciaron a brindar servicio de Rayos x décadas atrás no encontraban plomo para poder instalar. En su mayoría el plomo era traído desde Guatemala por encargo, lo que generó que algunos centros de radiodiagnóstico en la ciudad de Siguatepeque se las tuvieron que ingeniar para proveerse ellos mismos la protección radiológica en sus instalaciones. Lo que hicieron fue extraer el plomo de baterías de carro en desuso y luego fundirlo en paneles que colocaron el interior de las puertas.

Figura 20

Vista lateral y frontal de una sección de plomo de 6mm.



Hay dispositivos de protección con vidrio plomado certificados de fábrica. El vidrio se utiliza como un espacio de observación porque POE de estar atento que el paciente no se mueva en el momento de realizar la radiografía.

Figura 21

Etiqueta colocada en el vidrio de una mampara de mamografía con un plomo de 0.1 mm.



Figura 22

Etiqueta de certificación.



Nota. Etiqueta de certificación que muestra que el vidrio está construido para una instalación de categoría II que corresponde a una instalación con equipo de radiodiagnóstico.

8.2 Concreto como material de blindaje

El concreto es buen material para brindar protección radiológica, pero para que sea efectivo debe de cumplir ciertas condiciones como ser: densidad, dosificación del concreto, compactación y el grosor de la pared.

La densidad apropiada debe de ser de 2.3 g/cm^3 , y una dosificación del concreto 1:2:3 alcanzado una resistencia de 3,000 PSI

Las siguientes fotografías son de un hospital en Siguatepeque que construyó una sala desde cero usando concreto y no plomo para el blindaje.

Figura 23

Encofrado y acabo de paredes para sala de rayos x con puertas de acero con pb.



Se modificó un espacio de una oficina para adaptarla a las condiciones necesarias para instalar un tomografo, se construyeron una serie de paredes empleando concreto calculado para proporcionar el blindaje.

Figura 24

Construcción y acabado de pare con bloque de 8" con concreto de 2.3g/cm³ con vidrio plomado.



8.3 Acero ó hierro para blindaje:

El acero es un material de alta densidad y fácil de conseguir comercialmente, el problema que cuando se calcula el blindaje utilizando láminas de acero resulta factores de 3 a 4 veces más que si se utilizara plomo, y cuando se toman en cuenta esos grosores los costos quedan similares.

Muchas veterinarias en el país utilizan acero para blindar sus puertas principales, esto porque es un material fácil de limpiar si se mancha de sangre. Otra ventaja que los rayos X veterinarios son dispositivos de baja energía y con las nuevas tecnologías para generar la imagen radiográfica se emplean flat panel para producir unas imágenes digitales más precisas.

Se muestran las fotos de la puerta de una veterinaria localizada en oriente de la ciudad:

Figura 25

Vista de perfil y frontal de puerta de láminas de acero.



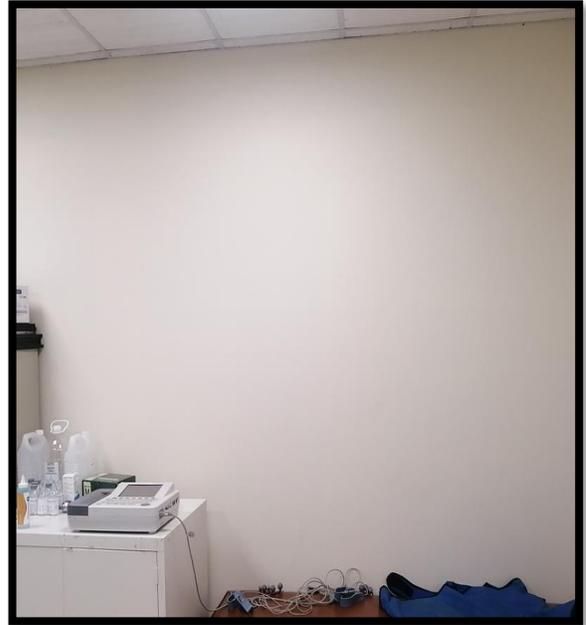
Nota: (a) Se muestra el perfil de las láminas de acero de 3/16"



(b) Puerta de acceso a la sala de rayos X veterinario.

En ciudades industriales como Villanueva Cortes resulta más barato blindar con láminas de acero que con plomo. Este centro ubicado en esta ciudad utilizó el acero en el perímetro de la sala de tomografía.

Figura 26
Lámina de acero.



*Nota: (a) Láminas de acero instaladas en sala
de Tomografía*

*(b) Pared con tabla yeso sobre las láminas
acero*

8.4 Tablas de Knauf safeboard

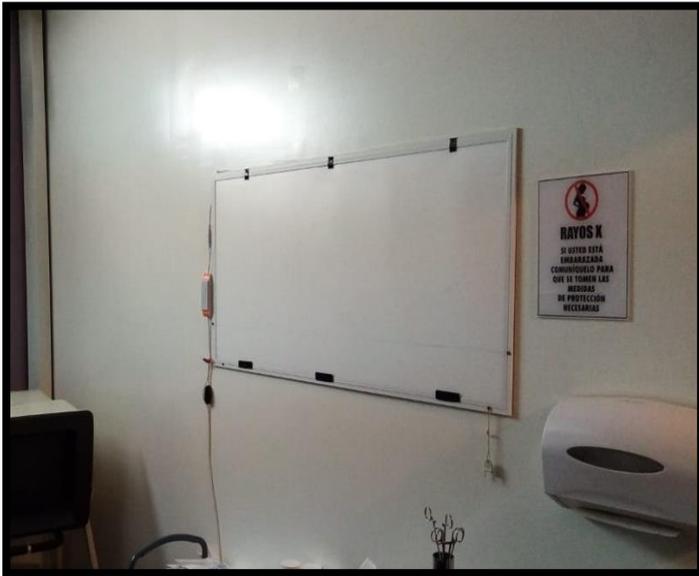
Este material se encuentra comercialmente disponible como paneles de diferentes medidas en área y grosores. Estos paneles están libres de plomo, ofrecen el blindaje en base a una alta densidad del yeso obtenido en pruebas de laboratorio.

En Honduras se puede adquirir únicamente en la zona libre de Choloma. Instalados en el país son pocos lugares de los que se tiene registro de su uso, uno de ellos es una de sala de rayos x en un hospital pediátrico privado y una sala de medicina nuclear en un hospital público.

Es de instalación bastante rápida, pero con la dificultad que tiende a hacer frágil y con pocas posibilidades de poderlo reutilizar.

Figura 27

Pared de sala rayos x blindada con panel knauf y un pedazo de Knauf de 20 mm.



8.5 Sulfato de bario

La cerámica fabricada con sulfato de Bario se importa desde Guatemala, en nuestro país existen yacimientos pero no son explotados comercialmente.

En Tegucigalpa está en funcionamiento una sala de rayos X- Fluoroscopia marca PERLOVE, cuya sala se blindó usando cerámica con sulfato de bario.

Figura 28

Perfil de una cerámica sulfatada de 15 x 30 cm y un grosor de 3.5 cm y empaque comercial.

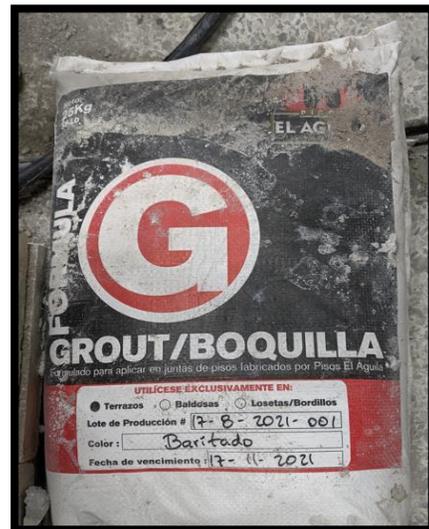
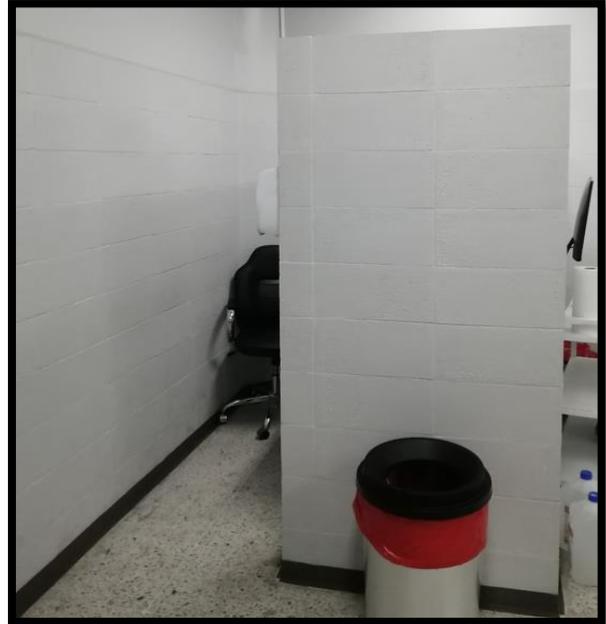


Figura 29

Instalación de cerámica de sulfato de bario y sala de rayos X en funcionamiento.



En la ciudad de San Pedro Sula, uno de los primeros hospitales privados cuenta una sala de rayos X con blindaje de cerámica de sulfato bario. Según las visitas realizadas esta sería la primera sala con este tipo de material instalado en Honduras.

Figura 30

Sala revestida con cerámica de sulfato de bario y cerámica de 25 x 25 cm.



9 Memoria Analítica de Cálculo de Blindaje

9.1 Modelo utilizado para el cálculo de blindaje

La metodología utilizada para el cálculo de blindaje es la propuesta por la NCRP 147. En la que se encuentran los factores de atenuación y se busca luego un valor de espesor correspondiente en tablas según el material que desea utilizar para el blindaje.

El factor de atenuación para la radiación primaria se encuentra mediante la siguiente ecuación:

$$B = \frac{p \cdot d_{pri}^2}{K_p \cdot N \cdot U \cdot T} \quad (20)$$

El valor de K_p se encuentra en la tabla 4.5 y el espesor requerido se encuentra de las gráficas correspondientes B.2 a B.6 según el material que se utilizará para el blindaje, en el presente documento encontrará las gráficas para concreto y plomo.

La radiación secundaria puede dividirse en radiación de fuga y radiación dispersa.

De acuerdo con la metodología planteada en el NCRP 147 el factor K_{sec} se escoge a manera de incluir la contribución de la radiación de fuga y dispersa. El factor de atenuación se calcula de la siguiente manera:

$$B_{sec} = \frac{P(d_{sec})^2}{K_{sec} \cdot N \cdot T} \quad (21)$$

Para determinar el espesor de la barrera se busca la correspondencia en las tablas C.2 a C.7 para distintos materiales, en el presente documento se muestran únicamente las gráficas para concreto y plomo.

9.1.1 Modelo utilizado para el cálculo de blindaje en tomografía

La metodología para el cálculo de blindaje del tomógrafo será la propuesta por el NCRP 147 mediante el uso de $CTDI_{100}$ como sigue:

$$k_{sec} = k \frac{L}{p} mAs CTDI_{100} \quad (22)$$

Donde

K_{sec} es el valor de kerma en aire a 1 metro de distancia.

L es la longitud utilizada para el estudio (20 cm cabeza, 50 cm cuerpo).

p es la relación entre el intervalo de escaneo y el ancho del haz (tomamos 1.35).

mAs es el valor de carga eléctrica utilizado en el estudio (300 mAs cabeza, 250 mAs cuerpo).

$CTDI_{100}$ es índice de dosis del tomógrafo utilizando una cámara de ionización a 10 cm.

9.1.2 Modelo utilizado para el cálculo de blindaje en mamografía

La metodología utilizada para el cálculo de blindaje es la propuesta por la NCRP 147. En esta se utiliza en valor máximo de kerma en aire por paciente medido a 1 m de distancia medido desde el isocentro de la unidad de mamografía para las cuatro exposiciones.

Para determinar el kerma en aire para las barretas de la sala de mamografía utilizamos la siguiente ecuación

$$K = \frac{K_{max} \cdot N}{d^2} \quad (23)$$

Donde N es la cantidad de pacientes semanales y d es la distancia a la barrera.

Para determinar el factor de transmisión requerido para cada barrera se utiliza la siguiente expresión:

$$B = \frac{P/T}{K} \quad (24)$$

Donde el valor de P es la dosis semana deseada detrás de la barrera y T es el factor de ocupación de la barrera. El espesor de la barrera estará dado por las gráficas encontradas en el anexo C del NCRP 147.

9.1.3 Modelo utilizado para la evaluación del blindaje

Para la evaluación de las barreras se utiliza la metodología descrita a continuación:

En el NCRP 147 se tabularon los valores de tasa de dosis por paciente a 1 metro de distancia para los equipos de radiodiagnóstico en las tablas 4.5 y 4.7 para un paciente. Para conocer la dosis esperada detrás de la barrera se utiliza la siguiente ecuación:

$$H = \dot{H}_0 \times B \times T \times U \times \#Pac/semana \quad (25)$$

Donde B es el factor de transmisión de la barrera colocada, este se busca en correspondencia al espesor y material de blindaje utilizado.

T es el factor de ocupación de la barrera.

U es el factor de uso de la barrera.

Finalmente se evalúa la tasa de dosis obtenida, este valor debe ser menor o igual que las restricciones semanales para público y POE que establecemos a continuación:

1. Restricción de dosis para público: 0.5 mSv/año = 0.01 mSv/semana
2. Restricción de dosis para POE: 6 mSv/año = 0.12 mSv/semana

9.1.4 Consideraciones iniciales

A continuación, se detallan los criterios tomados en cuenta para la realización de los cálculos de blindaje:

1. Se asume que el paciente no atenúa el haz de radiación.
2. Se asume que la radiación de fuga es la máxima siempre.
3. El acceso a las salas de diagnóstico es restringido únicamente al paciente que se realizará el estudio y el acompañante en caso de requerir asistencia.
4. La presente memoria analítica de blindaje se realizó con una carga de trabajo mayor a la encontrada en los registros considerando que la carga de pacientes aumentará en el tiempo.
5. Se ha tomado en cuenta que un paciente requiere múltiples exposiciones.

Para explicar como realizar los cálculos nos enfocaremos en varios ejemplos concretos.

9.1.5 Sala de rayos X

El servicio de rayos X posee las siguientes características, los valores presentados son valores promedios.

Figura 31
Sala de rayos X.



Tabla 3
Descripción del servicio de Rayos X

Servicio	Rayos X #1
Cantidad de POEs en el servicio	1
Horario del servicio	24 horas
Cantidad de pacientes semanales	100
Carga de trabajo	230 mA.min barrera primaria 190 mA.min barrera secundaria

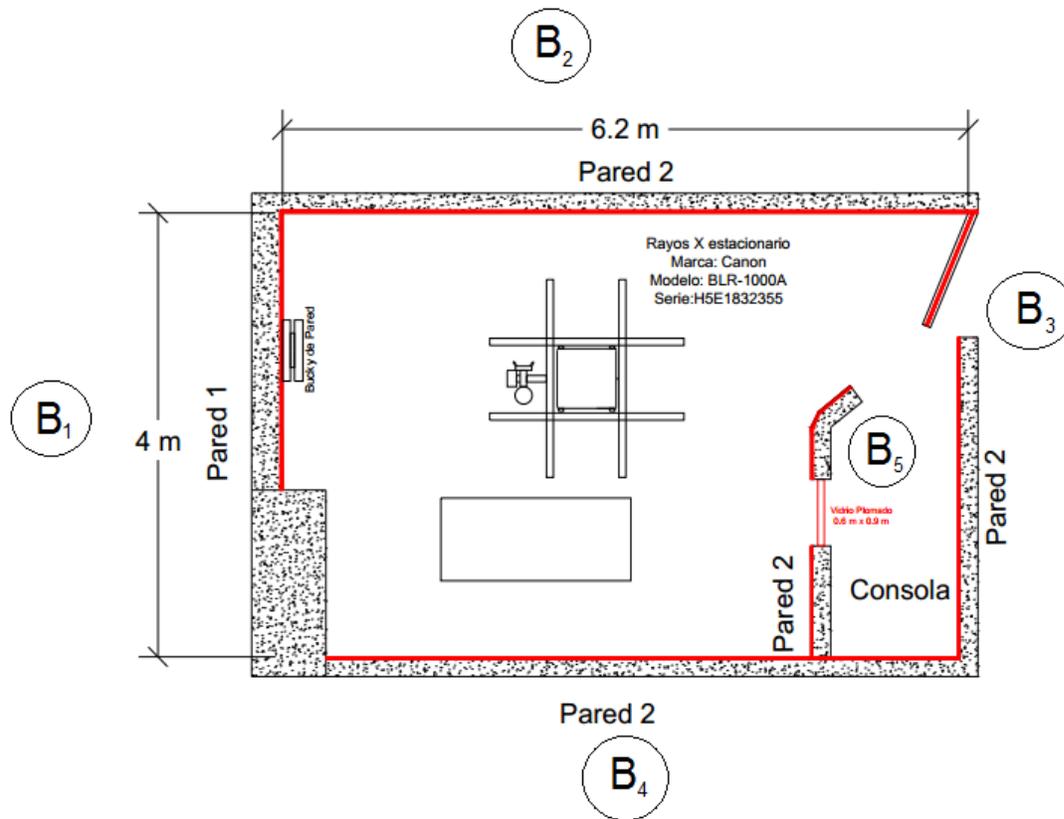
9.1.6 Descripción de las barreras de rayos estacionario

A continuación, se describen las colindancias de las paredes de la sala de rayos X, los detalles de construcción se describen en el plano correspondiente.

1. B1: Barrera primaria, pared que limita con sala de espera de laboratorio.
2. B2: Barrera secundaria, pared que limita con sala de ultrasonido 2.
3. B3: Barrera secundaria, pared que limita con pasillo de radiología.
4. B4: Barrera secundaria, pared que limita con sala de mamografía.
5. B5: Barrera secundaria, consola de control.
6. B6: Barrera secundaria, losa de segundo nivel.

Figura 32

Plano de una sala de rayos X.



9.1.7 Resultados del cálculo de blindaje en Rayos X

Tabla 4

Datos para cálculo de blindaje de Rayos X y espesores mínimos requeridos para barrera primaria y secundarias.

Barrera	N (pacientes)	K _p (mGy/paciente)	P (mSv/semana)	d (m)	T	U	K (R/mA.min)	t concreto (cm)	t plomo (mm)
B1	120	2.3	0.01	2.3288	0.05	1	3.93E-03	8.32	1.22
B2	120	4.90E-02	0.02	4.38	1	1	6.53E-02	3.14	0.41
B3	120	4.90E-02	0.02	3.6	0.05	1	8.82E-01	0.10	0.01
B4	120	4.90E-02	0.02	1.5	1	1	7.65E-03	6.95	1.12
B5	120	4.90E-02	0.12	2.5	1	1	1.28E-01	2.19	0.25
B6	120	4.90E-02	0.02	3	1	1	3.06E-02	4.37	0.63

Tabla 5

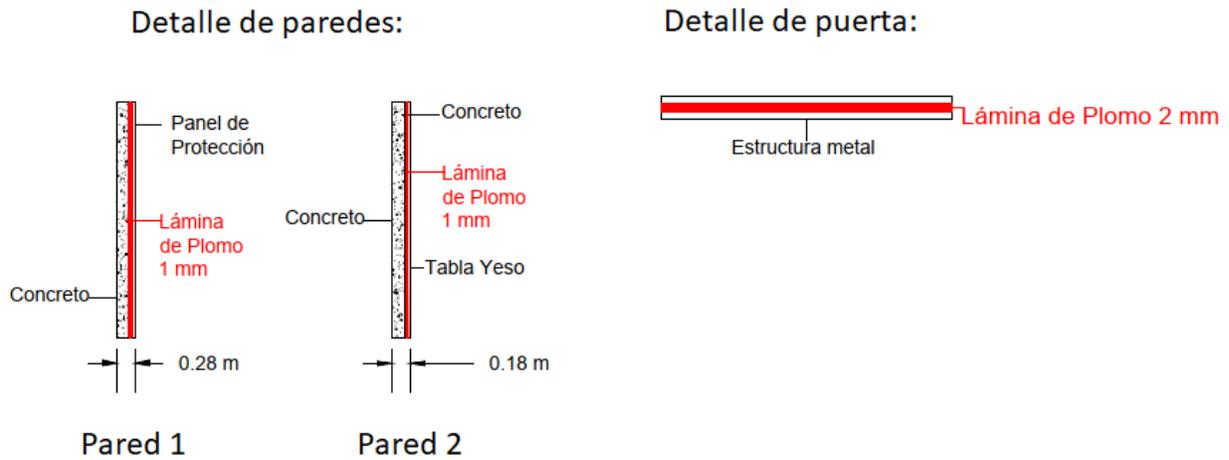
Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de Rayos X.

Barrera	Blindaje instalado	Blindaje requerido de acuerdo con el cálculo	Material
B1	1.00 + 0.85 (Bucky)	1.22	Plomo (mm)
B2	1.00	0.41	Plomo (mm)
B3	1.00	0.01	Plomo (mm)
B4	1.00	1.12	Plomo (mm)
B5	1.00	0.25	Plomo (mm)
B6	17.00	4.73	Concreto (cm)

Conclusión: El blindaje instalado es adecuado en todas las barreras porque el plomo se instaló sobre pared de 18.00 cm de concreto.

Figura 33

Detalles para el blindaje de pared y puertas.



A continuación, se muestra el cálculo de blindaje con los resultados que avalan los valores utilizados en la tabla anterior

9.1.8 Sala de rayos X con Fluoroscopia

Figura 34

Máquina de rayos X con fluoroscopia.



El servicio de rayos X posee las siguientes características, los valores presentados son valores promedios.

Tabla 6

Descripción del servicio de Rayos X con fluoroscopia

Servicio	Rayos X con fluoroscopia
Cantidad de POEs en el servicio	1
Horario del servicio	24 horas
Cantidad de pacientes semanales	100
Carga de trabajo	230 mA.min barrera primaria 390 mA.min barrera secundaria (fluoroscopia)

9.1.9 Descripción de las barreras de rayos X con fluoroscopia

A continuación, se describen las colindancias de las paredes de la sala de rayos X con fluoroscopia, los detalles de construcción se describen en el plano correspondiente.

1. B1: Barrera primaria, pared que limita con pasillo.
2. B2: Barrera primaria, pared que limita con sala de espera de radiología.
3. B3: Barrera secundaria, pared que limita con pasillo de acceso.

4. B4: Barrera secundaria, pared que limita con cafetería.
5. B5: Barrera secundaria, consola de control.
6. B6: Barrera secundaria, losa de segundo nivel.

Figura 35

Plano de una sala de rayos X con fluoroscopia.

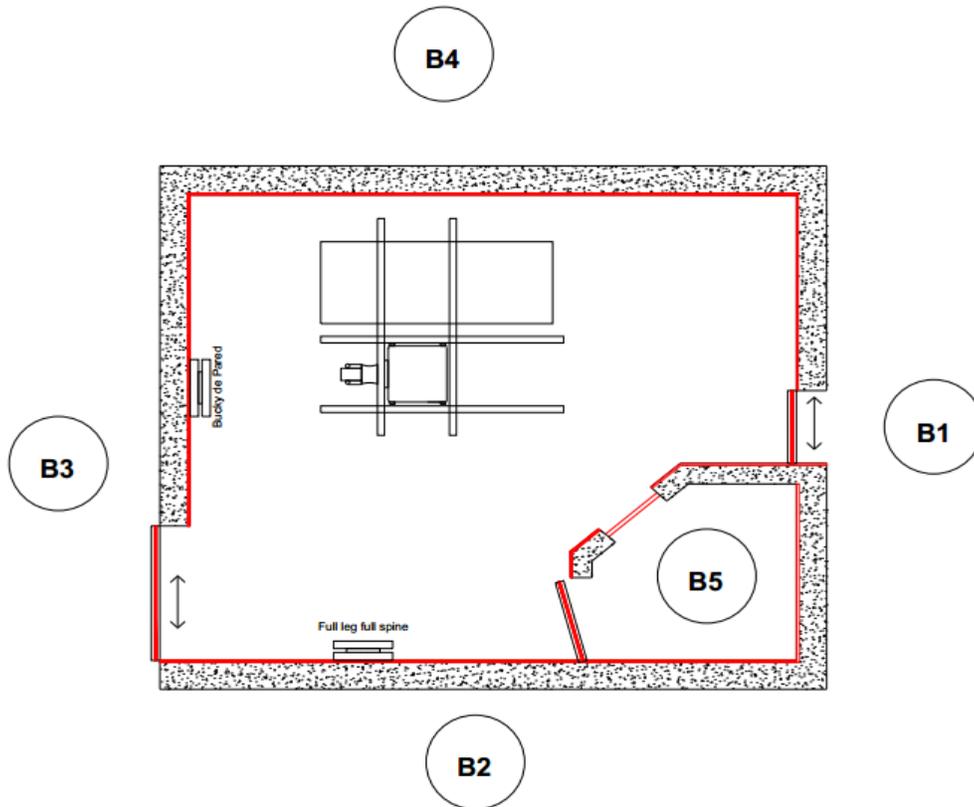
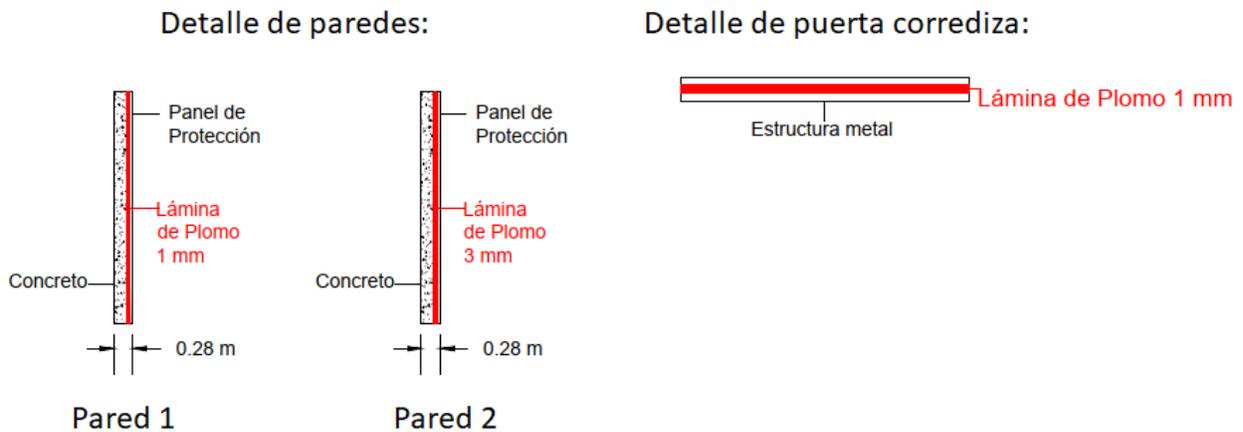


Figura 36

Detalles para el blindaje de pared y puertas.



A continuación, se muestra el cálculo de blindaje con los resultados que avalan los valores utilizados en la tabla anterior

9.1.10 Resultados del cálculo de blindaje en Rayos X con fluoroscopia

Tabla 7

Datos para cálculo de blindaje de Rayos X con fluoroscopia y espesores mínimos requeridos para barrera primaria y secundarias.

Barrera	N (pacientes)	K _p (mGy/paciente)	P (mSv/semana)	d (m)	T	U	K (R/mA.min)	t concreto (cm)	t plomo (mm)
B1	120	2.3	0.01	2.1288	0.2	1	8.21E-04	11.79	1.82
B2	120	2.3	0.01	2.05	0.2	1	7.61E-04	11.97	1.85
B3	120	4.60E-01	0.02	2.54	0.05	1	4.68E-02	3.66	0.50
B4	120	4.60E-01	0.02	1.92	1	1	1.34E-03	10.68	1.79
B5	120	4.60E-01	0.12	2.12	1	1	9.77E-03	6.46	1.03
B6	120	4.60E-01	0.02	3	1	1	3.26E-03	8.72	1.44

Tabla 8

Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de Rayos X.

Barrera	Blindaje instalado	Blindaje requerido de acuerdo con el cálculo	Material
B1	1.00 + 0.85 (Bucky)	1.82	Plomo (mm)
B2	3.00	1.85	Plomo (mm)
B3	1.00	0.50	Plomo (mm)
B4	1.00	1.79	Plomo (mm)
B5	1.00	1.03	Plomo (mm)
B6	17.00	1.44	Concreto (cm)

Conclusión: El blindaje instalado es adecuado en todas las barreras porque el plomo se instaló sobre pared de 18.00 cm de concreto.

9.1.11 Mamografía

Figura 37

Mamógrafo de un hospital de Tegucigalpa.



Tabla 9

Detalles del servicio de mamografía.

Servicio	Mamografía
Cantidad de POEs en el servicio	1
Horario del servicio	24 horas
Cantidad de pacientes semanales	40

9.1.12 Descripción de las barreras de mamografía

A continuación, se describen las colindancias de las paredes de la sala de mamografía, los detalles de construcción se describen en el plano correspondiente.

1. B1: Barrera secundaria, pared que limita con oficina de atención a pacientes.
2. B2: Barrera secundaria, pared que limita con sala de rayos X #1.
3. B3: Barrera secundaria, pared que limita con sala de equipo panorámico dental.
4. B4: Barrera secundaria, pared que limita con pasillo de atención a emergencias.
5. B5: Barrera secundaria, consola de control.
6. B6: Barrera secundaria, losa de segundo nivel.

Figura 38
Detalle para el blindaje de pared.

Detalle de pared:

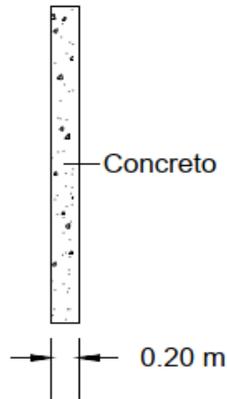
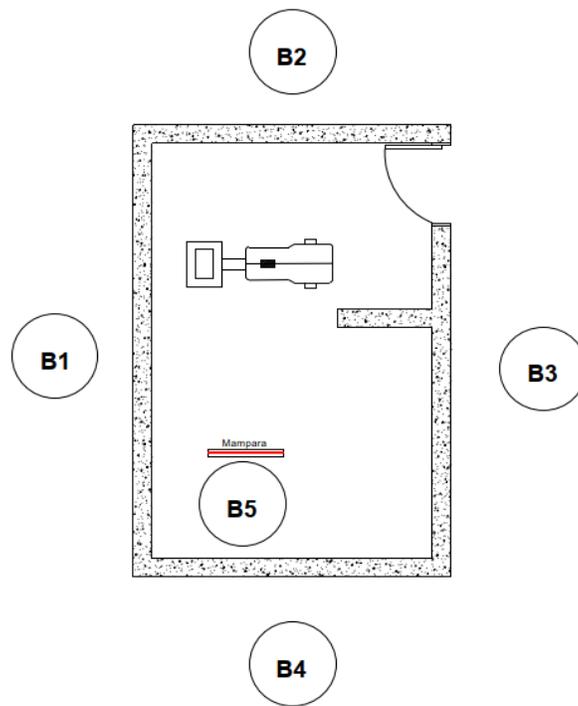


Figura 39
Plano de una sala de mamografía.



A continuación, se muestra el cálculo de blindaje con los resultados que avalan los valores utilizados en la tabla anterior.

9.1.13 Resultados del cálculo de blindaje en mamografía

Tabla 10

Datos para radiación secundaria del servicio de mamografía.

Barrera	N (pacientes)	P (mSv/semana)	d (m)	T	U	K (R/mA.min)	B	t concreto (cm)	t plomo (mm)
B1	80	0.01	1.76	0.050	1	0.93	2.15E-01	5.00	0.1
B2	80	0.01	2.05	1.000	1	0.69	1.46E-02	5.00	0.1
B3	80	0.01	1.73	1.000	1	0.96	1.04E-02	5.00	0.1
B4	80	0.01	2.9	0.050	1	0.34	5.84E-01	5.00	0.1
B5	80	0.12	1.4	1.000	1	1.47	8.17E-02	5.00	0.1
B6	80	0.01	3	1.000	1	0.32	3.13E-02	5.00	0.1

Tabla 11

Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de mamografía.

Barrera	Blindaje instalado	Blindaje requerido de acuerdo con el cálculo	Material
B1	20.00	5.00	Concreto (cm)
B2	20.00	5.00	Concreto (cm)
B3	20.00	5.00	Concreto (cm)
B4	20.00	5.00	Concreto (cm)
B5	1.00	0.1	Plomo (mm)
B6	17.00	5.00	Concreto (cm)

Conclusión: El blindaje instalado es adecuado en todas las barreras.

9.1.14 Sala de Tomografía

Figura 40

Tomógrafo de un hospital de Tegucigalpa.



El servicio de mamografía posee las siguientes características, los valores presentados son valores promedios

Tabla 12

Descripción del servicio de tomografía.

Servicio	Tomografía #1
Cantidad de POEs en el servicio	2
Horario del servicio	24 horas
Cantidad de pacientes semanales	60

9.1.15 Descripción de las barreras de tomografía.

A continuación, se describen las colindancias de las paredes de la sala de tomografía, los detalles de construcción se describen en el plano correspondiente.

1. B1: Barrera secundaria, pared que limita con sala de espera de radiología.
2. B2: Barrera secundaria, pared que limita con pasillo de radiología.
3. B3: Barrera secundaria, pared que limita con sala de ultrasonido 1.
4. B4: Barrera secundaria, pared que limita con sala de sala de espera general.

5. B5: Barrera secundaria, consola de control.
6. B6: Barrera secundaria, losa de segundo nivel.

Figura 41

Plano de una sala de tomografía.

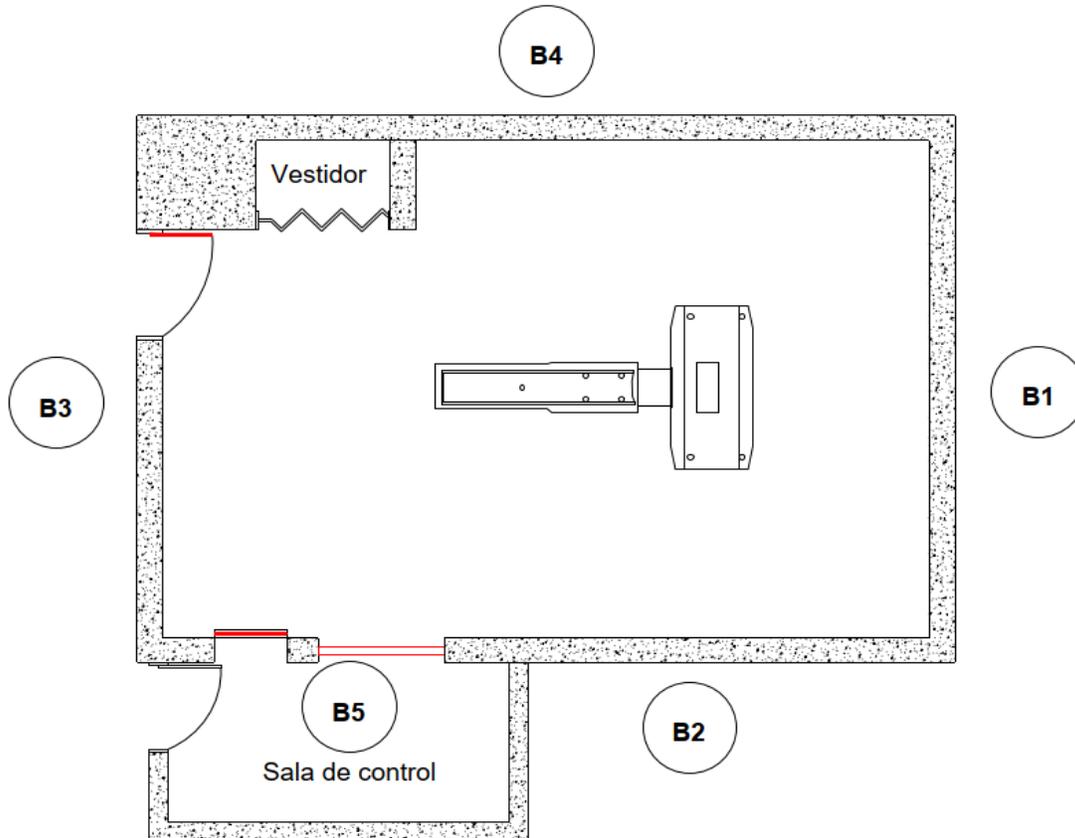
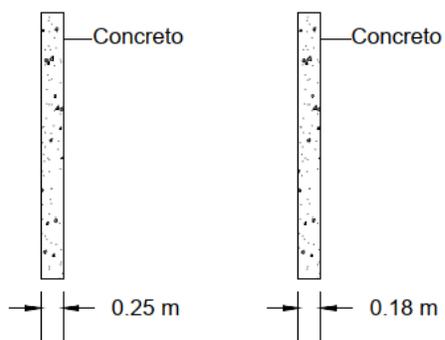


Figura 42

Detalles para el blindaje de pared y puertas.

Detalle de paredes:



Pared 1

Pared 2

Detalle de puerta:



A continuación, se muestra el cálculo de blindaje con los resultados que avalan los valores utilizados en la tabla anterior.

9.1.16 Resultados del cálculo de blindaje en una sala de tomografía

Tabla 13

Cálculo de blindaje para sala de tomografía.

Barrera	P (mSv/semana)	d (m)	T	U	Ksec (mGy/paciente)	B ¹	t Concreto (cm)	t Plomo (mm)
B1	0.01	2.3	0.050	1	2.75	7.3E-02	6.5	0.6
B2	0.01	4.4	0.050	1	0.75	2.7E-01	3.1	0.3
B3	0.01	3.8	1.000	1	1.01	9.9E-03	12.1	1.2
B4	0.01	3.2	1.000	1	1.42	7.0E-03	13.1	1.3
B5	0.12	2	1.000	1	3.64	3.3E-02	8.7	0.8
B6	0.01	3	1.000	1	1.62	6.2E-03	13.5	1.4

Tabla 14

Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de tomografía.

Barrera	Blindaje instalado	Blindaje requerido de acuerdo con el cálculo	Material
B1	20.00	6.5	Concreto (cm)
B2	20.00	3.1	Concreto (cm)
B3	20.00 / 2.00 (puerta)	12.1 / 1.2	Concreto (cm) / Plomo (mm)
B4	20.00	13.1	Concreto (cm)
B5	20.00 / 2.00 (vidrio)	8.7 / 0.8	Concreto (cm) / Plomo (mm)
B6	17.00	12.9	Concreto (cm)

Conclusión: El blindaje instalado es adecuado en todas las barreras.

¹ Los valores para el espesor de concreto y plomo han sido tomados de la Figura A.2 del NCRP 147.

9.1.17 Rayos X panorámico dental

Figura 43

Imagen de una máquina de rayos X dental.



Tabla 15

Detalles del servicio de rayos X panorámico dental.

Servicio	Rayos X panorámico dental
Cantidad de POEs en el servicio	1
Horario del servicio	24 horas
Cantidad de pacientes semanales	16

9.1.18 Descripción de las barreras de rayos X panorámico dental

A continuación, se describen las colindancias de las paredes de la sala de rayos X panorámico dental, los detalles de construcción se describen en el plano correspondiente.

1. B1: Barrera secundaria, pared que limita con sala de mamografía.
2. B2: Barrera secundaria, pared que limita con sala de espera de mamografía.
3. B3: Barrera secundaria, pared que limita con pasillo de radiología.
4. B4: Barrera secundaria, pared que limita con pasillo de atención a emergencias.
5. B5: Barrera secundaria, consola de control.

6. B6: Barrera secundaria, losa de segundo nivel.

A continuación, se muestra el cálculo de blindaje con los resultados que avalan los valores utilizados en la tabla anterior.

Figura 44

Plano de una sala de rayos X dental

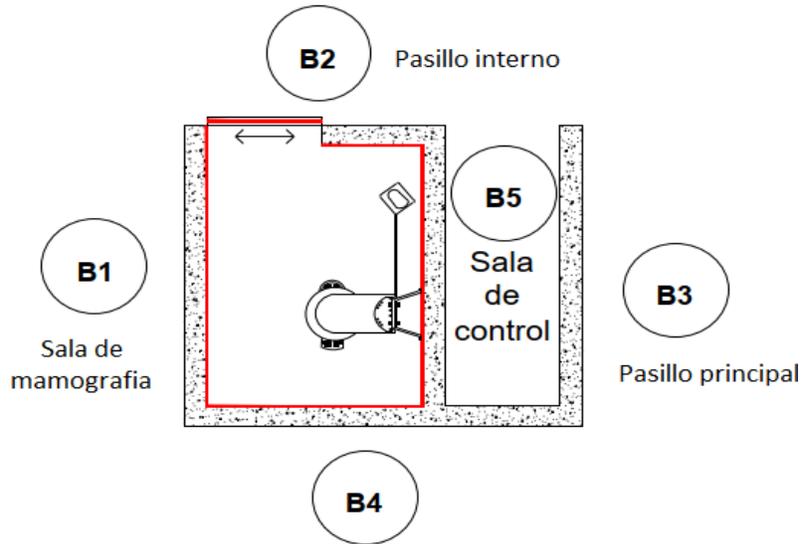
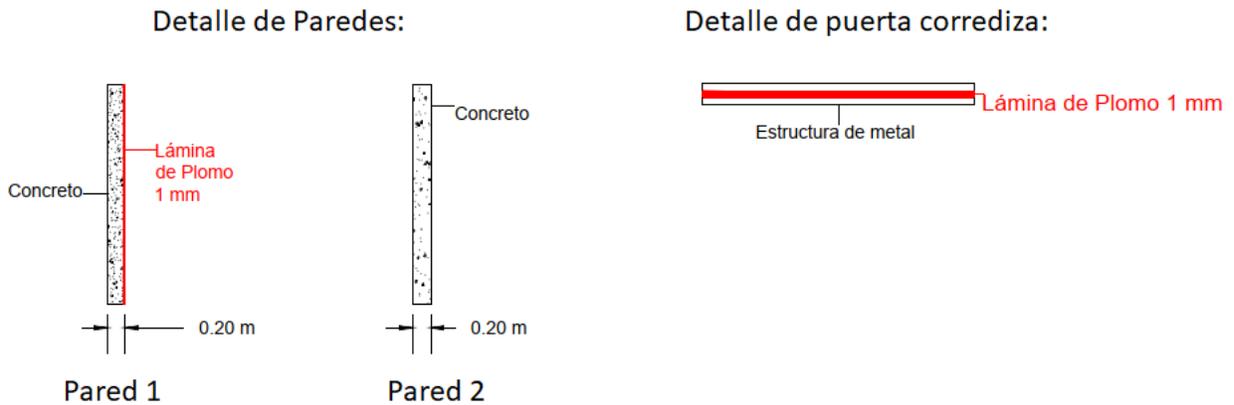


Figura 45

Detalles para el blindaje de pared y puertas.



9.1.19 Resultados del cálculo de blindaje en sala de rayos X panorámico dental

Tabla 16

Datos para cálculo de blindaje del servicio de rayos X panorámico dental.

Barrera	N (pacientes)	K_p (mGy/paciente)	P (mSv/semana)	d (m)	T	U	K (R/mA.min)	t concreto (cm)	t plomo (mm)
B1	30	4.50E-02	0.01	2.15	1	1	3.42E-02	4.18	0.60
B2	30	4.90E-02	0.01	2.79	1	1	5.30E-02	3.47	0.47
B3	30	4.90E-02	0.01	1.7	0.05	1	3.93E-01	0.85	0.08
B4	30	4.90E-02	0.01	2	0.2	1	1.36E-01	2.10	0.24
B5	30	4.90E-02	0.12	1.1	1	1	9.88E-02	2.54	0.31
B6	30	4.90E-02	0.01	3	1	1	6.12E-02	3.24	0.43

Tabla 17

Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de rayos X panorámico dental.

Barrera	Blindaje instalado	Blindaje requerido de acuerdo con el cálculo	Material
B1	1.00	0.60	Plomo (mm)
B2	1.00	0.47	Plomo (mm)
B3	1.00	0.08	Plomo (mm)
B4	1.00	0.24	Plomo (mm)
B5	1.00	0.31	Plomo (mm)
B6	17.00	3.24	Concreto (cm)

Conclusión: El blindaje instalado es adecuado en todas las barreras.

9.1.20 Sala de quirófano (Brazo en C)

El servicio de quirófano posee las siguientes características, los valores presentados son valores promedios.

Figura 46

Sala de quirófano de un hospital de Tegucigalpa.



Tabla 18

Descripción del servicio de quirófano con brazo en C.

Servicio	Quirófano (brazo en C)
Cantidad de POEs en el servicio	1
Horario del servicio	24 horas
Cantidad de pacientes semanales	10

9.1.21 Descripción de las barreras de quirófano

A continuación, se describen las colindancias de las paredes de la sala de quirófano, los detalles de construcción se describen en el plano correspondiente.

1. B1: Barrera secundaria, pared sin colindancia.
2. B2: Barrera secundaria, pared sin colindancia.
3. B3: Barrera secundaria, pared que limita con quirófano #5.
4. B4: Barrera secundaria, pared quirófano #2.
5. B5: Barrera secundaria, losa de tercer nivel.
6. B6: Barrera secundaria, losa de quinto nivel.

Figura 47
Plano de una sala de quirófano.

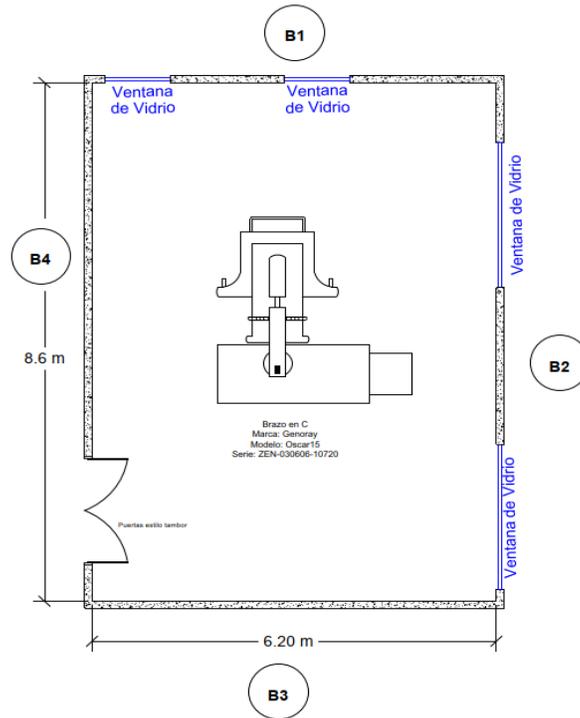
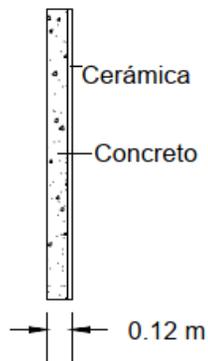


Figura 48
Detalle de blindaje de pared.

Detalle de pared:



A continuación, se muestra el cálculo de blindaje con los resultados que avalan los valores utilizados en la tabla anterior

9.1.22 Resultados del cálculo de blindaje en el quirófano

Tabla 19

Datos para cálculo de blindaje en el quirófano (brazo en C).

Barrera	N (pacientes)	K_p (mGy/paciente)	P (mSv/semana)	d (m)	T	U	K (R/mA.min)	t concreto (cm)	t plomo (mm)
B1	30	4.60E-01	0.01	4.3	0.025	1	5.36E-01	0.55	0.04
B2	30	4.60E-01	0.01	3.12	0.025	1	2.82E-01	1.21	0.12
B3	30	4.60E-01	0.01	4.3	1	1	1.34E-02	5.85	0.91
B4	30	4.60E-01	0.01	3.12	1	1	7.05E-03	7.11	1.15
B5	30	4.60E-01	0.01	3	1	1	6.52E-03	7.27	1.18
B6	30	4.60E-01	0.01	3	1	1	6.52E-03	7.27	1.18

Tabla 20

Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de quirófano.

Barrera	Blindaje instalado	Blindaje requerido de acuerdo con el cálculo	Material
B1	12.00	0.55	Concreto (cm)
B2	12.00	1.21	Concreto (cm)
B3	12.00	5.85	Concreto (cm)
B4	12.00	7.11	Concreto (cm)
B5	17.00	7.27	Concreto (cm)
B6	17.00	7.27	Concreto (cm)

Conclusión: El blindaje instalado es adecuado en todas las barreras.

9.1.23 Angiografía

El servicio de angiografía posee las siguientes características, los valores presentados son valores promedios.

Figura 49

Imagen de una sala de angiografía.



Tabla 21

Descripción del servicio de angiografía

Servicio	Angiografía
Cantidad de POEs en el servicio	1
Horario del servicio	24 horas
Cantidad de pacientes semanales	12

9.1.24 Descripción de las barreras de sala de angiografía

A continuación, se describen las colindancias de las paredes de la sala de angiografía, los detalles de construcción se describen en el plano correspondiente.

1. B1: Barrera secundaria, pared que limita con clínica.
2. B2: Barrera secundaria, pared sin colindancia.
3. B3: Barrera secundaria, pared que pasillo de acceso.
4. B4: Barrera secundaria, pared que limita con pasillo de acceso.

5. B5: Barrera secundaria, consola de control.
6. B6: Barrera secundaria, losa de primer nivel.
7. B7: Barrera secundaria, losa de tercer nivel.

Figura 50

Plano de una sala de angiografía.

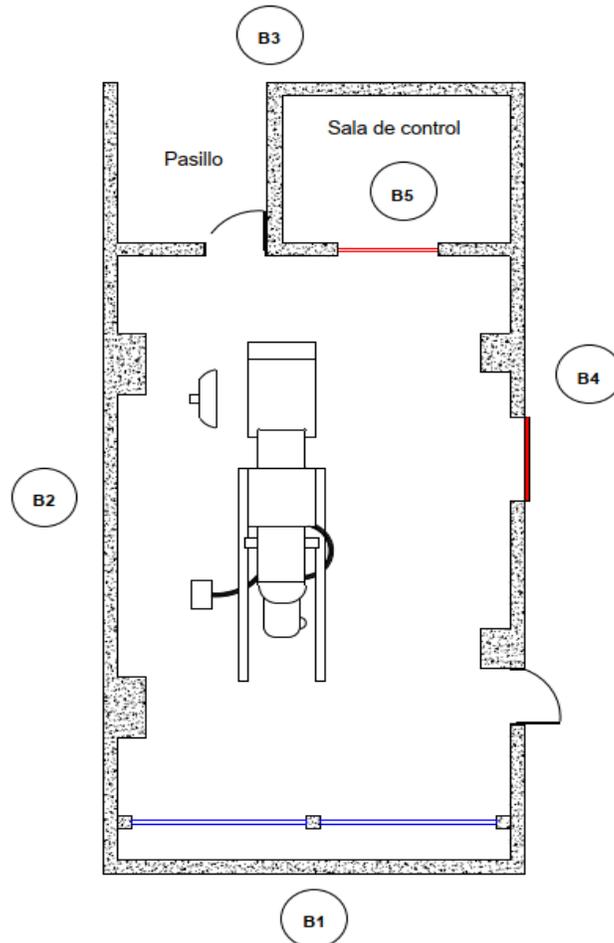
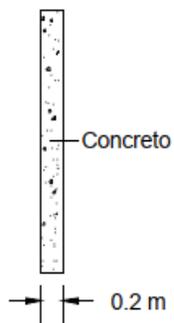


Figura 51

Detalles para el blindaje de pared y puertas.

Detalle de pared:



Detalle de puerta:



A continuación, se muestra el cálculo de blindaje con los resultados que avalan los valores utilizados en la tabla anterior

9.1.25 Resultados del cálculo de blindaje en sala de angiografía

Tabla 22

Datos para cálculo de blindaje en sala de angiografía.

Barrera	N (pacientes)	K_p (mGy/paciente)	P (mSv/semana)	d (m)	T	U	K (R/mA.min)	t concreto (cm)	t plomo (mm)
B1	30	3.80E+00	0.01	5.09	1	1	2.27E-03	9.50	1.58
B2	30	3.80E+00	0.01	2.7	0.025	1	2.56E-02	4.68	0.69
B3	30	3.80E+00	0.01	4.09	0.125	1	1.17E-02	6.11	0.96
B4	30	3.80E+00	0.12	2.47	0.2	1	3.21E-02	4.28	0.62
B5	30	3.80E+00	0.01	4.09	1	1	1.47E-03	10.47	1.75
B6	30	3.80E+00	0.01	3	1	1	7.89E-04	11.88	2.00
B7	30	4.80E+00	0.01	3	1	1	6.25E-04	12.43	2.09

Tabla 23

Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de angiografía.

Barrera	Blindaje instalado	Blindaje requerido de acuerdo con el cálculo	Material
B1	20.00	9.50	Concreto (cm)
B2	20.00	4.68	Concreto (cm)
B3	20.00 / 1.00 (puerta)	6.11 / 0.96	Concreto (cm) / Plomo (mm)
B4	20.00 / 1.00 (puerta)	4.28 / 0.62	Concreto (cm) / Plomo (mm)
B5	20.00	10.47	Concreto (cm)
B6	17.00	11.88	Concreto (cm)
B7	17.00	12.43	Concreto (cm)

Conclusión: El blindaje instalado es adecuado en todas las barreras.

9.1.26 Rayos X portátil

El servicio de rayos X portátil es trasladado a las salas de recuperación a realizarle estudios radiográficos a pacientes que no pueden ser trasladados a las salas fijas de rayos X.

Figura 52

Máquina de rayos X portátil.



El servicio posee las siguientes características, los valores presentados son valores promedios.

Tabla 24

Descripción del servicio de Rayos X portátil.

Servicio	Rayos X portátil
Cantidad de POEs en el servicio	1
Horario del servicio	24 horas
Cantidad de pacientes semanales	15
Carga de trabajo	24 mA.min barrera primaria 28.5 mA.min barrera secundaria

9.1.27 Descripción de las barreras de rayos X portátil

A continuación, se describen las colindancias de las paredes de la sala de rayos X portátil, los detalles de construcción se describen en el plano correspondiente.

1. B1: Barrera secundaria, pared que limita con habitación adyacente.
2. B2: Barrera secundaria, pared que limita con pasillo de acceso.
3. B3: Barrera secundaria, pared que limita con habitación adyacente.

4. B4: Barrera secundaria, pared sin colindancia.
5. B5: Barrera secundaria, losa de habitación.
6. B6: Barrera primaria, losa de cuarto nivel.

Figura 53

Plano de una sala con rayos X portátil.

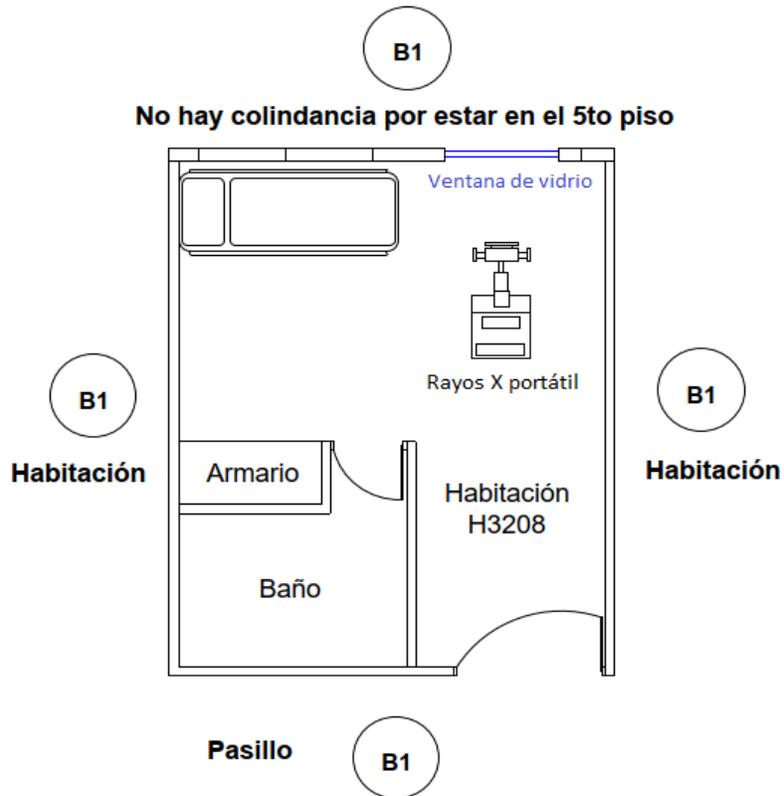
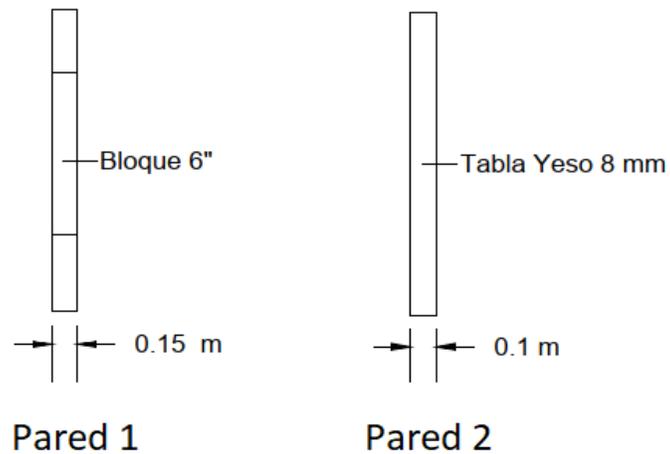


Figura 54

Detalles para el blindaje de paredes.

Detalle de paredes:



A continuación, se muestra el cálculo de blindaje con los resultados que avalan los valores utilizados en la tabla anterior

9.1.28 Resultados del cálculo de blindaje en Rayos X portátil

Tabla 25

Datos para cálculo de blindaje en el servicio de rayos X portátil.

Barrera	N (pacientes)	K _p (mGy/paciente)	P (mSv/semana)	d (m)	T	U	K (R/mA.min)	t concreto (cm)	t plomo (mm)
B1	20	4.90E-02	0.01	1.4	0.5	1	4.00E-02	3.92	0.55
B2	20	4.90E-02	0.01	2.5	0.2	1	3.19E-01	1.08	0.10
B3	20	4.90E-02	0.01	2.8	0.5	1	1.60E-01	1.89	0.21
B4	20	4.90E-02	0.01	1	0.025	1	4.08E-01	0.82	0.07
B5	20	4.90E-02	0.01	3	1	1	9.18E-02	2.64	0.32
B6	20	1.2	0.01	3.5	1	1	5.10E-03	7.77	1.13

Tabla 26

Descripción de barreras existentes y espesores mínimos requeridos de acuerdo con el cálculo en la sala de Rayos X portátil.

Barrera	Blindaje instalado	Blindaje requerido de acuerdo con el cálculo	Material
B1	15.00	3.92	Concreto (cm)
B2	15.00	1.08	Concreto (cm)
B3	15.00	1.89	Concreto (cm)
B4	15.00	0.82	Concreto (cm)
B5	17.00	2.64	Concreto (cm)
B6	17.00	7.77	Concreto (cm)

Conclusión: El blindaje instalado es adecuado en todas las barreras.

9.1.29 Densitometría ósea

El densímetro óseo se utiliza para hacer exámenes diagnósticos no invasivos que miden la masa ósea (MO) en diferentes partes del esqueleto por medio de técnicas que puedan utilizar o no la radiación ionizante.

Figura 55

Máquina de densitometría ósea.



Tabla 27

Descripción del servicio de densitometría ósea.

Servicio	Densitometría ósea
Cantidad de POEs en el servicio	1
Horario del servicio	24 horas
Cantidad de pacientes semanales	40
Carga de trabajo	N/A

9.1.30 Descripción de las barreras de densitometría ósea

A continuación, se describen las colindancias de las paredes de la sala de densitometría ósea, los detalles de construcción se describen en el plano correspondiente.

1. B1: Barrera secundaria, pared que limita con estacionamiento.
2. B2: Barrera secundaria, pared que limita con recepción de radiología.
3. B3: Barrera secundaria, pared que limita con pasillo de acceso.
4. B4: Barrera secundaria, pared que limita con estacionamiento.
5. B5: Barrera secundaria, consola de control.
6. B6: Barrera secundaria, losa de segundo nivel.

Figura 56
Plano de una sala densitometría ósea.

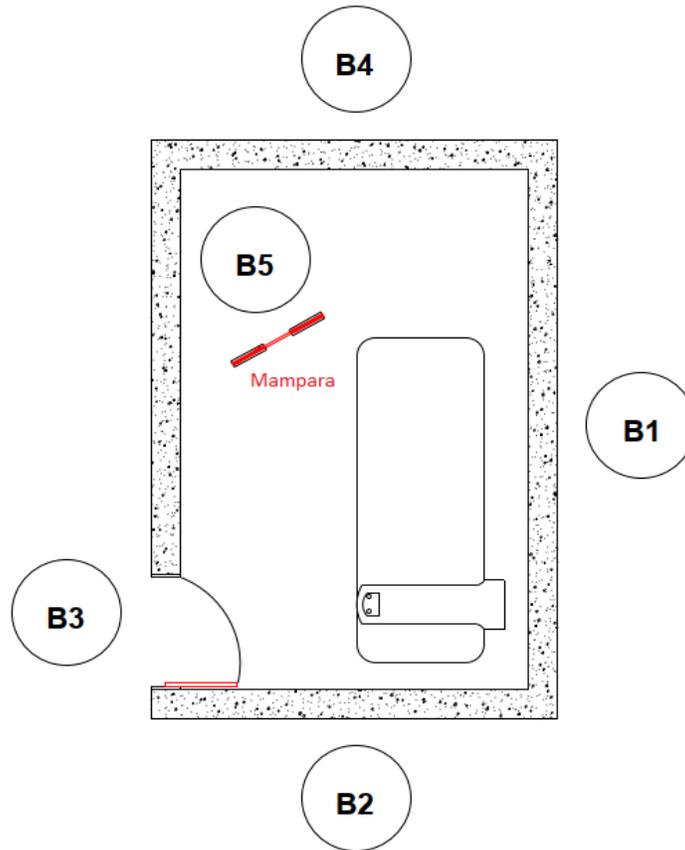
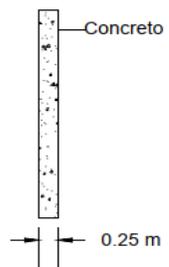
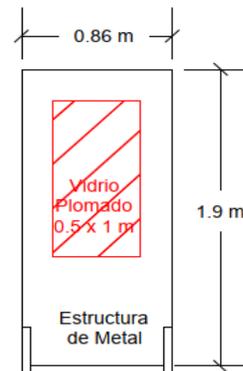


Figura 57
Detalles para el blindaje de pared y puertas.

Detalle de pared:



Detalle de mampara:



Detalle de puerta:

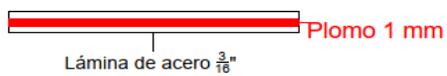


Tabla 28

Descripción del blindaje existente en la sala de densitometría ósea.

Barrera	Blindaje instalado	Material
B1	25.00	Concreto (cm)
B2	25.00	Concreto (cm)
B3	25.00	Concreto (cm)
B4	25.00	Concreto (cm)
B5	0.50	Plomo (mm)
B6	17.00	Concreto (cm)

Conclusión: El equipo de densitometría ósea no produce altas tasas de dosis por lo que no se requiere blindaje adicional en la sala, para evitar exposiciones accidentales se han colocado indicadores visuales que advierten la presencia de radiación ionizante, la sala de densitometría ósea es de acceso restringido donde permanece únicamente el paciente que se realizará el estudio. En el interior de la sala existe una mampara detrás de la cual el POE deberá permanecer durante la realización de los estudios

9.1.31 Resultados de la evaluación de los blindajes instalados

Para la evaluación de los blindajes establecemos los siguientes criterios:

3. Restricción de dosis para público: $0.5 \text{ mSv/año} = 0.01 \text{ mSv/semana}$
4. Restricción de dosis para POE: $6 \text{ mSv/año} = 0.12 \text{ mSv/semana}$

El criterio de aceptación del blindaje es que la tasa de dosis calculada detrás de cada barrera deberá ser menor que el requerimiento mostrado en los incisos anteriores considerando además una carga de trabajo más elevada que la usual.

Cantidad de pacientes: 100 semanales.

Tabla 29

Evaluación del blindaje de la sala de rayos X.

Barrera	Espesor	Material	Dosis anual esperada detrás de la barrera (mSv/año)	Protegemos a:	Cumple criterio de seguridad
B1	1.00 + 0.85 (Bucky)	Plomo (mm)	5.47E-02	Público	Si
B2	1.00	Plomo (mm)	2.75E-05	Público	Si
B3	1.00	Plomo (mm)	2.03E-06	Publico	Si
B4	1.00	Plomo (mm)	2.34E-04	Publico	Si
B5	1.00	Plomo (mm)	8.44E-05	POE	Si
B6	17.00	Concreto (cm)	5.86E-05	Público	Si

Conclusión: Considerando los resultados de la tabla anterior, el blindaje instalado es adecuado para garantizar la seguridad radiológica del POE y el público.

Cantidad de pacientes: 100 semanales.

Tabla 30

Evaluación del blindaje de la sala de rayos X con fluoroscopia.

Barrera	Espesor	Material	Dosis anual esperada detrás de la barrera (mSv/año)	Protegemos a:	Cumple criterio de seguridad
B1	1.00 + 0.85 (Bucky)	Plomo (mm)	2.62E-01	Público	Si
B2	3.00	Plomo (mm)	2.19E-02	Público	Si
B3	1.00	Plomo (mm)	4.09E-06	Publico	Si
B4	1.00	Plomo (mm)	1.43E-04	Publico	Si
B5	1.00	Plomo (mm)	1.17E-04	POE	Si
B6	17.00	Concreto (cm)	4.93E-02	Público	Si

Conclusión: Considerando los resultados de la tabla anterior, el blindaje instalado es adecuado para garantizar la seguridad radiológica del POE y el público.

Cantidad de pacientes: 80 semanales.

Cantidad de pacientes: 50 semanales.

Tabla 31

Evaluación del blindaje de mamografía.

Barrera	Espesor	Material	Dosis anual esperada detrás de la barrera (mSv/año)	Protegemos a:	Cumple criterio de seguridad
B1	20.00	Concreto (cm)	7.91E-03	Público	Si
B2	20.00	Concreto (cm)	1.46E-03	Público	Si
B3	20.00	Concreto (cm)	8.19E-03	Publico	Si
B4	20.00	Concreto (cm)	2.91E-03	Publico	Si
B5	1.00	Plomo (cm)	2.50E-02	POE	Si
B6	17.00	Concreto (cm)	5.44E-03	Público	Si

Conclusión: Considerando los resultados de la tabla anterior, el blindaje instalado es adecuado para garantizar la seguridad radiológica del POE y el público.

Cantidad de pacientes: 60 semanales

Tabla 32*Evaluación del blindaje de la sala de tomografía.*

Barrera	Espesor	Material	Dosis anual esperada detrás de la barrera (mSv/año)	Protegemos a:	Cumple criterio de seguridad
B1	20.00	Concreto (cm)	1.08E-03	Público	Si
B2	20.00	Concreto (cm)	2.94E-04	Público	Si
B3	20.00 / 2.00 (puerta)	Concreto (cm) / Plomo (mm)	1.09E-02	Publico	Si
B4	20.00	Concreto (cm)	2.56E-02	Publico	Si
B5	20.00 / 2.00 (vidrio)	Concreto (cm) /Plomo (mm)	1.37E-02	POE	Si
B6	17.00	Concreto (cm)	8.33E-03	Público	Si

Conclusión: Considerando los resultados de la tabla anterior, el blindaje instalado es adecuado para garantizar la seguridad radiológica del POE y el público.

Cantidad de pacientes: 60 semanales

Tabla 33*Evaluación del blindaje de la sala de rayos X panorámico dental.*

Barrera	Espesor	Material	Dosis anual esperada detrás de la barrera (mSv/año)	Protegemos a:	Cumple criterio de seguridad
B1	1.00	Plomo (mm)	1.02E-04	Público	Si
B2	1.00	Plomo (mm)	6.07E-05	Público	Si
B3	1.00	Plomo (mm)	8.17E-06	Publico	Si
B4	1.00	Plomo (mm)	2.36E-05	Publico	Si
B5	1.00	Plomo (mm)	3.90E-04	POE	Si
B6	17.00	Concreto (cm)	4.73E-07	Público	Si

Conclusión: Considerando los resultados de la tabla anterior, el blindaje instalado es adecuado para garantizar la seguridad radiológica del POE y el público.

Cantidad de pacientes: 60 semanales

Tabla 34

Evaluación del blindaje de la sala de quirófano (brazo en C).

Barrera	Espesor	Material	Dosis anual esperada detrás de la barrera (mSv/año)	Protegemos a:	Cumple criterio de seguridad
B1	12.00	Concreto (cm)	1.24E-04	Público	Si
B2	12.00	Concreto (cm)	2.36E-04	Público	Si
B3	12.00	Concreto (cm)	4.98E-03	Publico	Si
B4	12.00	Concreto (cm)	9.45E-03	Publico	Si
B5	17.00	Concreto (cm)	1.02E-02	POE	Si
B6	17.00	Concreto (cm)	8.33E-03	Público	Si

Conclusión: Considerando los resultados de la tabla anterior, el blindaje instalado es adecuado para garantizar la seguridad radiológica del POE y el público.

Cantidad de pacientes: 60 semanales

Tabla 35

Evaluación del blindaje de la sala de angiografía.

Barrera	Espesor	Material	Dosis anual esperada detrás de la barrera (mSv/año)	Protegemos a:	Cumple criterio de seguridad
B1	20.00	Concreto (cm)	1.25E-03	Público	Si
B2	20.00	Concreto (cm)	3.13E-05	Público	Si
B3	20.00 / 1.00 (puerta)	Concreto (cm) / Plomo (mm)	1.56E-04	Publico	Si
B4	20.00 / 1.00 (puerta)	Concreto (cm) / Plomo (mm)	2.50E-04	Publico	Si
B5	20.00	Concreto (cm)	1.25E-03	POE	Si
B6	17.00	Concreto (cm)	1.00E-02	Publico	Si
B7	17.00	Concreto (cm)	1.00E-02	Publico	Si

Conclusión: Considerando los resultados de la tabla anterior, el blindaje instalado es adecuado para garantizar la seguridad radiológica del POE y el público.

Cantidad de pacientes: 60 semanales

Tabla 36

Evaluación del blindaje del servicio de rayos X portátil.

Barrera	Espesor	Material	Dosis anual esperada detrás de la barrera (mSv/año)	Protegemos a:	Cumple criterio de seguridad
B1	15.00	Concreto (cm)	3.40E-01	Público	Si
B2	15.00	Concreto (cm)	9.11E-02	Público	Si
B3	15.00	Concreto (cm)	1.14E-02	Publico	Si
B4	15.00	Concreto (cm)	2.28E-02	Publico	Si
B5	17.00	Concreto (cm)	8.93E-03	POE	Si
B6	17.00	Concreto (cm)	6.84E-03	Público	Si

Conclusión: Considerando los resultados de la tabla anterior, el blindaje instalado es adecuado para garantizar la seguridad radiológica del POE y el público.

Los datos han sido tomados de las etiquetas de información en el equipo o en manual de fabricante.

10 Clasificación de Zonas

Para proteger al POE, pacientes y público en general se ha diseñado una serie de señalizaciones para evitar que las personas se expongan a la radiación. En Honduras se emitió un decreto ministerial en la Gaceta Núm. 35708 del 4 de septiembre 2021 para estandarizar la señalización radiológica en todas instituciones de salud. Esta se llama “Guía orientativa de seguridad radiológica para señalización de instalaciones radioactivas”

Para los servicios que prestan en un hospital, las siguientes zonas serán clasificadas como 1) **zona controlada** son aquellas donde se encuentra el equipo emisor de radiación o los dispositivos de control del equipo:

Figura 58

Señalización de zona controlada.



- Sala de Rayos X estacionarios
- Sala de Rayos X panorámicos
- Sala de Rayos X veterinarios
- Sala de mamografía
- Sala de Tomografía
- Sala de densitometría ósea
- Sala de angiografía
- Las diferentes salas de control

Tabla 37

Rótulo instalado sobre una puerta de la sala de Rayos X de un centro en Tegucigalpa.



- 2) Consideraremos **zona supervisada** o vigilada, las zonas alrededor de las salas donde se encuentran los equipos, estas serán:

Figura 59

Señalización de zona supervisada.



- Sala de espera del Departamento de radiología.
- Sala de espera general.

Figura 60

Este rótulo de zona supervisada siempre va acompañado del rótulo del posible estado de embarazo.



- 3) Para evitar que pacientes sin ser llamados para su estudio se acerquen a las salas a querer acceder se han colocado luces de advertencias sobre las puertas y una rotulación alusiva indicando que no se puede ingresar si el foco está encendido.

Figura 61

Rótulo de prohibido el ingreso con el foco rojo encendido.



4) La protección de las pacientes embarazadas.

Para evitar que una dama en posible estado de embarazo reciba radiación en esas condiciones, se le deberá de proteger antes de realizarle cualquier estudio. Para que ella pueda comunicárselo al técnico se colocan una serie de rótulos para que ella lo pueda notificar.

Figura 62

Rótulo normado en la Guía orientativa.



Esta rotulación se instalará:

- Dentro de cada una de las salas
- En las salas de espera
- En los servicios sanitarios para damas

Figura 63

Rótulo de advertencia del posible estado de embarazo ubicado dentro de la sala de rayos X



En las salas de Rayos X veterinario se debe evitar que una dama en estado de embarazo acceda a la sala, se han diseñado rótulos para indicar esto.

Figura 64

Imagen de rotulo para evitar el acceso a damas en estado de embarazo a sala de rayos X



Figura 65

Rótulo de posible estado de embarazo colocado en una veterinaria de la capital



- 5) Según lo establece la guía para la práctica de radiodiagnostico en la SECCION II, en los requisitos de diseño de instalaciones articulo 87 inciso a) establece que la señal luminica para un equipo irradiando debe de ser color “rojo”.

El estilo del foco rojo lo decide el cliente (No está reglamentado el modelo, pero si la luz debe de ser permanente y visible durante se realiza el estudio o procedimiento intervencionista):

Figura 66

Se muestra el foco rojo encendido indicando que se está realizando un estudio.



6) Como señal radiológica se diseñó una que comprendiera toda la indumentaria necesaria para proteger al POE dentro de una sala de intervencionismo:

Figura 67

Señal de uso de indumentaria de protección en una sala de intervención.



El rótulo indica que dentro de la sala se debe de usar:

- Delantal plomado
- Collarín plomado
- Gafas plomadas

- Guantes plomados
- Dosímetros personales (en el interior y exterior del chaleco)

Figura 68

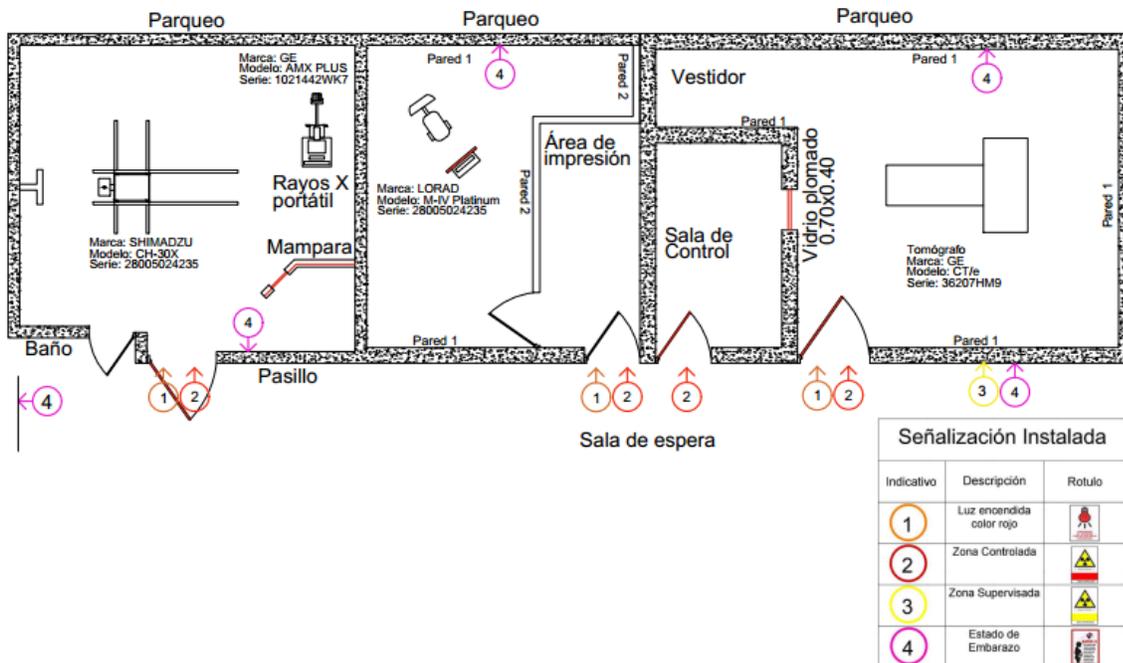
La fotografía muestra la colocación de la señalización dentro de una sala de rayos X veterinario.



Para definir claramente las zonas y los puntos donde se colocaron la señalización radiológica, lo más adecuado es tener un plano del local como se muestra un ejemplo:

Figura 69

Plano que indica las zonas donde se colocan la señalización radiológica.



11 Protección radiológica del paciente y el POE

El objetivo de la evaluación de la seguridad radiológica es establecer las normas a seguir para garantizar la protección radiológica del paciente.

Dispositivos con blindaje dentro de la sala para proteger al POE:

- 1) Las mamparas móviles: son construidas de acero y vidrio plomado (lo que llamaríamos hechizas)

Figura 70

Una mampara muy común utilizada en Rayos X, mamografía y densitometría ósea.



- 2) Las mamparas fijas: se contruyen de cemento, tabla yeso-lámina de plomo, metal acrilico-lámina de plomo

Figura 71

Se muestra una mampara de un hospital capitalina para una sala de rayos X



- 3) Sala de control: son usadas principalmente en las salas de tomografía y Rayos X para controlar desde allí el funcionamiento del equipo.

Figura 72

Una sala de control de un tomógrafo de un Hospital en San Pedro Sula



- 4) Mamparas de fábrica: estas por lo general son de vidrio-acero y la cantidad de plomo ya viene indicada por medio de una etiqueta.

Figura 73

Mampara de fábrica de 0.3 mm pb marca LORAD para un mamógrafo



- 5) Indumentaria de protección radiológica y dosímetros personales: en los casos de los equipos móviles (rayos X portatil) que se trasladan a las salas de recuperación, intervencionismo (brazo en c) y hemodinamia (angiógrafo):

Figura 74

Fotografía de un técnico haciendo el disparo.



Nota: El técnico deberá de portar su chaleco, collarin plomado y sus dosímetros personales. La distancia a la que hará el disparo deberá de ser de 3 metros con respecto al paciente.

12 Levantamiento radiométrico de salas de una institución de salud

El levantamiento radiométrico de las salas es una evaluación “in-situ” realizada por una persona calificada. El propósito del levantamiento radiométrico es asegurar la protección de POE y público.

El levantamiento radiométrico evaluación consiste en la verificación de los siguientes elementos:

1. Verificación visual de las barreras con su respectivo traslape y libre de vacíos o defectos.
 - Se verifica sin dañar la estética la existencia del blindaje (plomo, concreto solido)
 - Donde no es posible la verificación visual se realiza una medición sin blindaje y una segunda medición detrás del blindaje a verificar.
 - La medición se realiza a una distancia de 30 cm detrás de la barrera para tomar en cuenta el efecto “build up”.
2. La evaluación del blindaje midiendo la tasa de dosis en los puntos representativos de la barrera:
 - Conclusión acorde si el blindaje existente es suficiente para garantizar la protección radiológica.

La verificación del blindaje fue realizada utilizando un detector Geiger Müller con las siguientes características:

- Marca: GammaScout
- Número de serie: 068473

1. Sala de Rayos X

Para evaluar la sala se colocaron valores de la técnica más utilizada en el servicio.

Figura 75

Valores digitados en la consola.

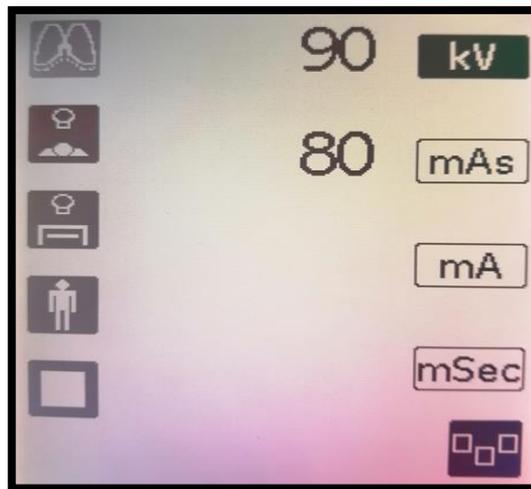


Figura 76

Fantoma utilizada para dispersar la radiación aprovechando su volumen y densidad.



A continuación, se colocan algunas imágenes de las mediciones realizadas

Figura 77

Imágenes de mediciones realizadas.



Nota: (a) Medición en la consola de control.



(b) Sala de espera de laboratorio (haz directo).



(c) Medición en Ultrasonido 2

Tabla 38*Resumen de las mediciones Obtenidas en sala de rayos X:*

Barrera	Descripción	Medición ($\mu\text{Sv/h}$)
B1	Sala de espera de laboratorio	18.15
B2	Ultrasonido 2	0.485
B3	Pasillo de radiología	Fondo natural
B4	Sala de mamografía	Fondo natural
B5	Consola de control	4.16
B6	Segundo nivel	Fondo natural

Conclusión: Considerando las mediciones obtenidas y la carga de trabajo del servicio de rayos X #1, el blindaje de la sala ofrece la seguridad radiológica requerida en la normativa vigente.

2. Sala de Rayos X – Fluoroscopia

Figura 78*Fantoma utilizada para dispersar la radiación en sala de rayos X con fluoroscopia.*

Para evaluar la sala se colocaron valores de la técnica más utilizada en el servicio.

Tabla 39*Resumen de las mediciones Obtenidas en sala de rayos X con fluoroscopia:*

Barrera	Descripción	Medición ($\mu\text{Sv/h}$)
B1	Pasillo	0.17
B2	Sala de espera de radiología	1.52
B3	Pasillo de acceso	0.12
B4	Cafetería	Fondo natural
B5	Consola de control	3.14
B6	Segundo nivel	Fondo natural

Conclusión: Considerando las mediciones obtenidas y la carga de trabajo del servicio de rayos X con fluoroscopia, el blindaje de la sala ofrece la seguridad radiológica requerida en la normativa vigente.

A continuación, se colocan algunas imágenes de las mediciones realizadas.

Figura 79

Imágenes de las mediciones realizadas.



Nota: Medición en la consola de control.



Pared detrás de bodega (haz directo).



13 Pruebas de la existencia del blindaje en los dispositivos de protección

Uno de los grandes problemas en el país con el tema de la seguridad radiológica es que existe una gran desconfianza que si los dispositivos o materiales instalados realmente ofrecen la protección para el POE, paciente y público en general. Analizaremos 4 casos reales que se he encontrado aquí en el país.

Primer Caso: sala que Si cumple la Normativa de seguridad radiológica

En la sala de Tomografía de un hospital ubicado en Tegucigalpa se instaló un vidrio nuevo de 8 mm de espesor equivalente a 2 mm de plomo. El grupo de técnicos tenía dudas si realmente el vidrio era plomado porque ellos lo miraban muy traslucido (transparente) y entre técnicos se maneja el tabú que los vidrios plomados son con un tono amarillento y más gruesos.

Para certificar su capacidad de blindaje se realizaron 3 pruebas que describimos a continuación:

A) Medición directa empleando un Geiger Müller

Se utilizó un contador Geiger de la marca Gamma Scout para verificar que existía una atenuación de la radiación medida de forma directa dentro de la sala comparada con la radiación que pasaba al otro lado del vidrio en la sala de control.

Figura 80

Se muestra la ubicación del Geiger dentro de la sala de tomografía



Para la prueba se programó un estudio con los parámetros de Tensión de 120 KVp, 400 mAs y un tiempo de exposición de 22.8 s

Figura 81

Se obtuvo un valor máximo de radiación de 722.5 $\mu\text{Sv/h}$



Para conocer cuanta radiación llegaba después del vidrio plomado se colocó en Geiger al otro lado del vidrio:

Figura 82

Se muestra la colocación del Geiger al otro lado del vidrio obteniéndose un valor de 8.85 $\mu\text{Sv/h}$.

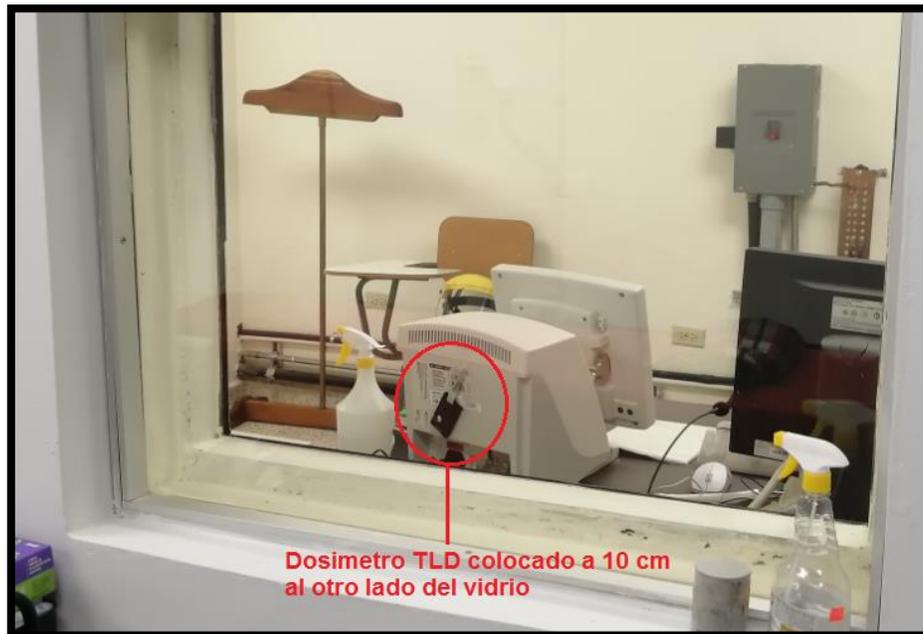


B) Colocación de un dosímetro piloto (TLD) sobre el inyector adentro en la sala de control.

Para formarnos una idea de cuanta radiación percibiría el técnico que opera el TAC durante un mes. Instalamos un dosímetro en una posición estratégica de tal forma que recibiera la radiación casi directa sin que ningún equipo fuera obstáculo. El dosímetro se colocó desde el 2 de febrero al 1 de marzo, realizándose un total de 34 estudios registrados en la bitácora a lo largo de este periodo de monitorización.

Figura 83

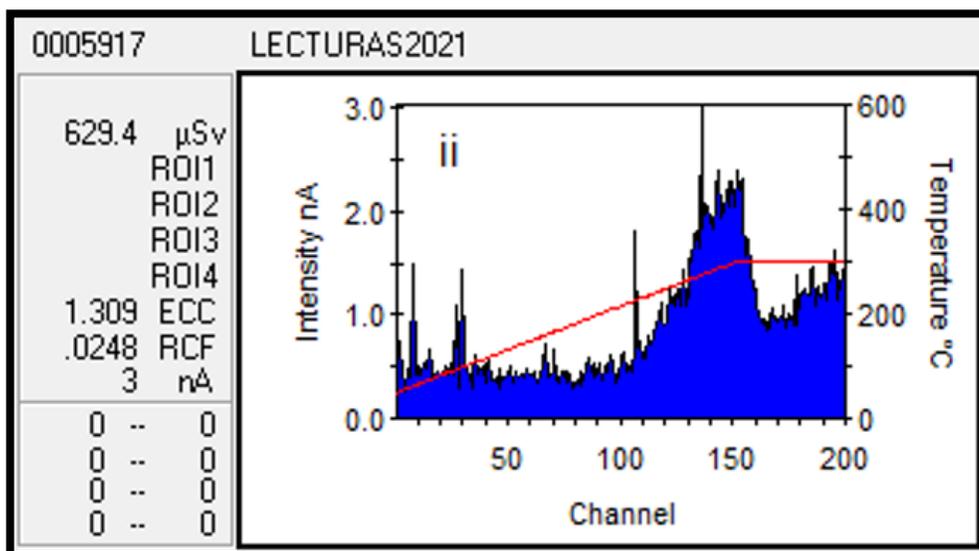
Se puede apreciar el dosímetro colocado sobre le inyector dentro de la sala de control.



Este dosímetro **estuvo más expuesto** que cualquiera de los técnicos, debido a que estuvo recibiendo de frente cualquier cantidad de radiación que pudiera llegar al puesto de trabajo durante las 2 jornadas laborales por 1 mes de monitoreo. Al leer el dosímetro en la HarShaw se obtuvo un valor total de 629.4 μSv equivalente a 0.629 mSv, lo que representa un valor muy pequeño que está por debajo de los límites de radiación.

Figura 84

Se muestra la gráfica de brillo de la radiación obtenida de los cristales del dosímetro piloto.



Con este valor podemos hacer una proyección para todo el año del HP10 medido:

$$\text{Dosis equivalente anual sería } 0.629 \text{ mSv} \times 12 \text{ meses} = 7.54 \text{ mSv}$$

De las lecturas de dosis mensuales registradas en la plataforma del laboratorio de dosimetría <http://dosimetria.azurewebsites.net/Menu> para los 2 técnicos asignados a operar el Tomógrafo, encontramos que la radiación recibida por ellos es cero.

Tabla 40

Lectura de dosis mensuales registradas en la plataforma.

POE	Técnico 1		
MES	Febrero	Marzo	Abril
HP10(mSv)	0.000	0.000	0.000

POE	Técnico 2		
MES	Febrero	Marzo	Abril
HP10(mSv)	0.000	0.000	0.000

Estos valores de 0.00 no nos tienen que extrañar, es de esperarse si cuenta con las normas de radioprotección adecuadas en la instalación, además que la distancia a la que están sentados los técnicos es mucho mayor comparada con la posición que le dimos al dosímetro piloto, también el tiempo de exposición de cada técnico es la mitad del tiempo del dosímetro piloto.

B) Tomando como base la medición de la radiación de una fuente natural

Se utilizó la radiación natural existente en una pastilla de Cesio 137 para comprobar que si empleábamos el vidrio como barrera entre un medidor y la pastilla, este no lograría medir nada si realmente el vidrio fuese plomado. Primero censamos la radiación natural de la pastilla de Cesio obteniéndose 28.99 nSv/s

Figura 85

Sensor Survey midiendo la radiación emitida por el Cesio.



Tabla 41

Se colocó la pastilla dentro de la sala del TAC y al otro lado se midió 0.00 nSv/h.



Para indicar que el vidrio instalado en la sala de control del tomógrafo si cumplía la normativa elaboré el conjunto de conclusiones que se muestran:

Conclusiones:

- Con la medición directa se ve que el vidrio atenúa en un 98.70 % los valores máximos.
- Con el medidor de radiación de área Survey se comprueba que no hay paso de valores significativos de radiación.
- Los resultados de las lecturas de dosis de radiación de los 2 técnicos asignados al TAC durante los 3 primeros meses de funcionamiento demuestran que los POEs no corren ningún peligro de sobreexposición.
- Como la dosis equivalente anual promediada para el dosímetro piloto colocado por 1 mes fue de 7.54 mSv < 20 mSv (Límite de dosis). Se establece que el espacio de la sala de control cumple la normativa de Seguridad radiológica exigida en el acuerdo N°004-2014 publicado en la Gaceta N.º 33,552
- Por las razones descritas anteriormente, podemos determinar que el vidrio instalado actualmente en la sala de Tomografía es realmente plomado.

Segundo caso: Sala que no cumple la Normativa de seguridad radiológica

Para verificar de la protección radiológica en una sala de tomografía del interior del país. Se realizó un estudio de abdomen completo en el tomógrafo a un fantoma para dispersar la radiación hacia el espacio circundante y así comprobar si el blindaje instalado cumplía los criterios de norma de seguridad radiológica.

Figura 86

Fantoma colocado para un estudio de abdomen completo donde el tiempo de exposición es alto.



Para verificar si los materiales instalados en la pared de la sala de control del TAC cumplían su función de proteger al técnico (POE) se realizaron pruebas de medición en puntos claves.

Figura 87

El detector de radiación marcó el valor de interés mostrado en la fotografía detrás del vidrio, que al cambiarlo de notación sería equivalente a 0.504 mSv, que es un valor que llama la atención.



También se midió detrás de la puerta de la sala de control que delimita con la sala del tomógrafo.

Figura 88

El valor detectado es de 0.252 mSv



En la pared donde se encontraba el vidrio plomado y la puerta también fue necesario hacer pruebas:

Figura 89

El detector indicó un valor extremadamente alto 1.26 mSv/h en la pared de la consola de control.



Comparando los resultados de nuestros cálculos con los valores de blindaje instalados, se tuvo que hacer 3 recomendaciones de cambios para lograr el cumplimiento:

- Instalar en la puerta de acceso al Tomógrafo desde la sala de control una lámina de plomo de 2mm como mínimo.
- El vidrio instalado en la sala de control no se puede identificar (no posee certificación) a cuanto plomo equivale, por lo que debe de cambiarse por uno equivalente a 2 mm de plomo.

- La estructura de pared de la sala de control que delimita con la sala del TAC también debe de poseer una lámina plomada de 2 mm.

Tercer caso: Sala de control de tomografía que No cumple la Normativa de seguridad radiológica

Para la sala de tomografía de un Hospital realizó un levantamiento radiométrico con un detector Geiger Müller para verificar que no existía fuga de radiación en ninguna de sus barreras.

El único punto que resultó con un valor de exposición de interés es la puerta de acceso de la sala de control al Tomógrafo.

Prueba realizada:

Como paciente se utilizó un fantoma cilíndrico realizándole un estudio de cabeza donde el tiempo de exposición y la tensión de tubo es moderada.

Figura 90

La Fotografía del detector muestra el valor obtenido en el lado de la sala de control.



Conclusión: se debe de instalar una lámina de plomo de espesor como mínimo de 1.5 mm en la puerta de la sala de control del tomógrafo para garantizar la protección de técnicos y doctores.

Porque la puerta existente claramente no ofrece ninguna protección radiológica para el POE. Si el valor medido de $0.2064 \mu\text{Sv/h}$ se mantiene o aumenta por estudio .

Cuarto caso: pruebas en mampara de la sala de Rayos X Si cumple la Normativa de seguridad radiológica

Se irradió el fantoma con valores altos de tensión de tubo y de corriente de exposición:

Figura 91

Irradiación del fantoma con valores altos de tensión de tubo y corriente de exposición.



Para medir la radiación al otro lado de la mampara se irradió 3 veces el fantoma para contar con cierta cantidad de radiación dispersa.

Los valores medidos salieron un poco arriba de la radiación de fondo ($0.36 \mu\text{Sv/h}$), pero con un cercano a la radiación de fondo. Por lo que ese valor no representa ningún riesgo para el POE.

14 Resumen de los porcentajes de los blindajes usados en Honduras

Para este estudio de tesis se logra contar con resultados de 71 instituciones de salud, lo cual es un gran avance en el tema de radioprotección, porque también ocurre que los titulares de licencia (dueños o representantes) se muestran renuentes a que sus examinen sus instalaciones porque tienen miedo de estar operando sin cumplir con la normativa de seguridad radiológica

Tabla 42

Tabla de los materiales que se usan en las instituciones.

Material:	Instituciones:
Lámina de plomo (diferentes grosores)	37
Concreto paredes y puertas plomo	27
Acero ó hierro y puertas de plomo	2
Knauf Safeboard (paredes)	3
Sulfato de Bario (paredes)	2

Esto ayudó a generar el inventario de las condiciones de protección radiológica, en parte como datos obtenidos como asesores, como datos que brindan al laboratorio de Dosimetría y otra parte como insumo de los procesos de autorización ante la D.G.S.R.

Tomando esos datos he generado tres informes que ayudaran a formarse un panorama más claro de la realidad de los blindajes instalados en el país.

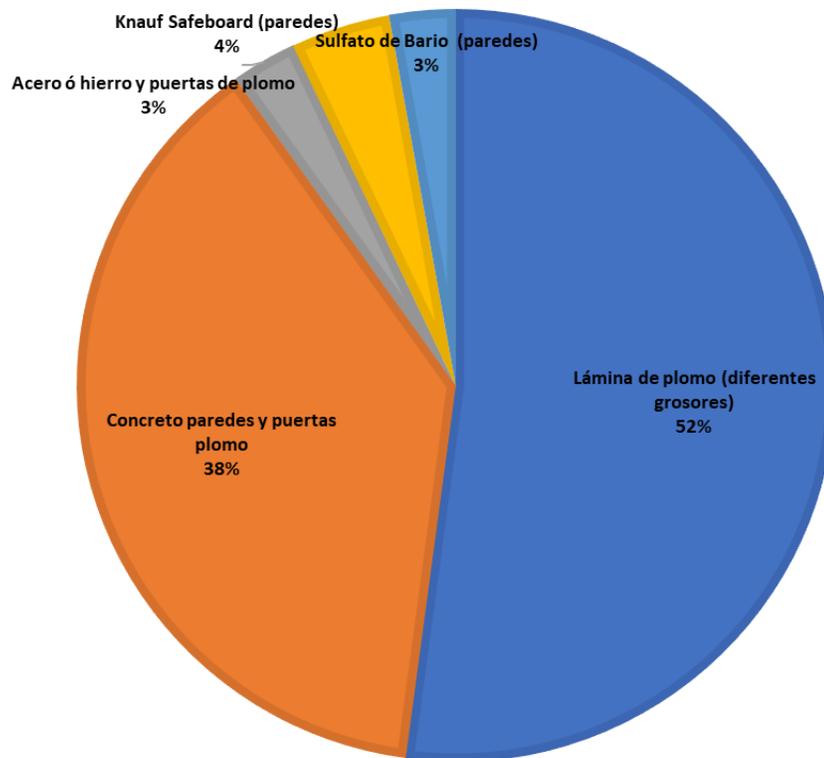
Materiales de blindaje usados en las barreras perimetrales de las salas:

Figura 92

Materiales de blindaje.

MATERIALES DE BLINDAJE USADOS EN LAS BARRERAS PERIMETRALES DE LAS SALAS

■ Lámina de plomo (diferentes grosores) ■ Concreto paredes y puertas plomo ■ Acero ó hierro y puertas de plomo
■ Knauf Safeboard (paredes) ■ Sulfato de Bario (paredes)



De la muestra podemos concluir que el material para blindaje más usado para las paredes son las láminas de plomo.

Materiales de blindaje usados en las Mamparas o salas de control:

Las mamparas o también conocidos como biombos son utilizados como dispositivos de protección para el personal ocupacionalmente expuesto (POEs) utilizados dentro de la sala.

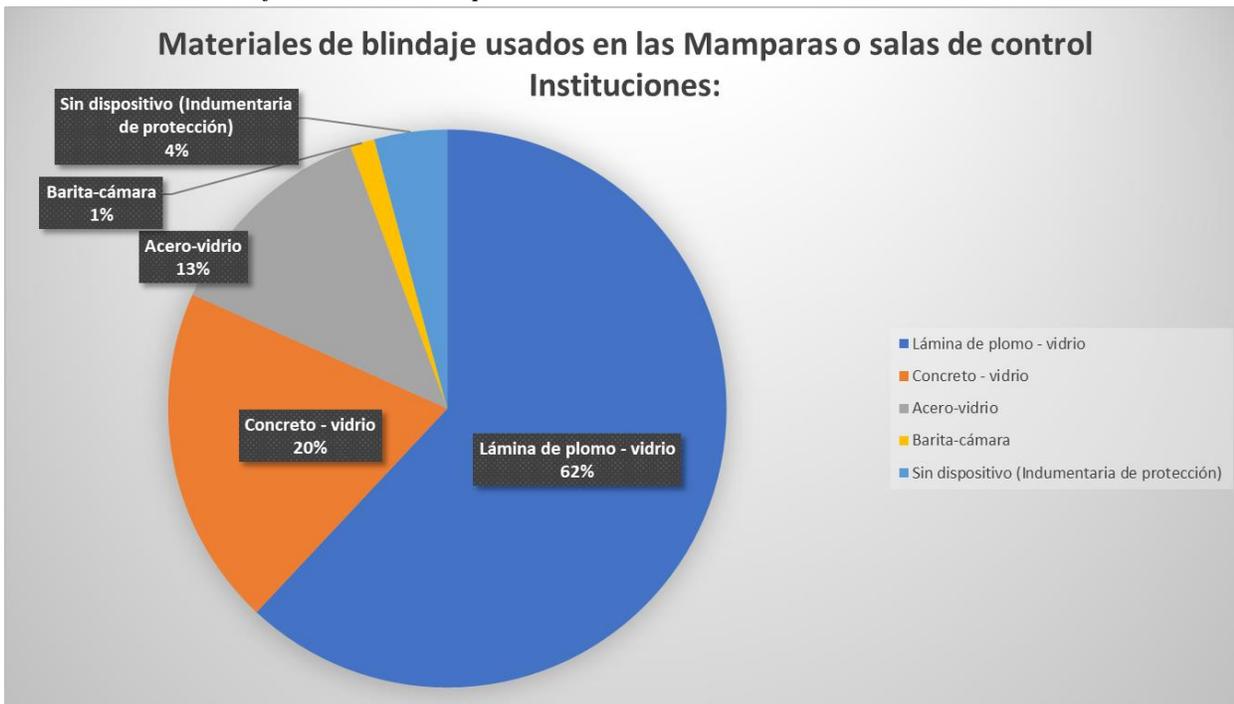
Tabla 43

Materiales de blindaje utilizados en mamparas.

Material:	Instituciones:
Lámina de plomo - vidrio	44
Concreto - vidrio	14
Acero-vidrio	9
Barita-cámara	1
Sin dispositivo (Indumentaria de protección)	3

Figura 93

Materiales de blindaje usados en mamparas.



Muchas consolas de control de las salas se construyen de tabla yeso y en su interior se coloca las láminas plomadas, también ocurre el mismo esquema de fabricación para las mamparas que son móviles que se les coloca plomo en su interior.

Las que son de vidrio-acero son las que viene de fábrica asociadas a la marca del equipo.

Materiales de blindaje usados en las Puertas de Acceso:

Debido a que las puertas deben de ser móviles y el material con que se blinde debe de ser fuerte para soportar el ajetreo en los accesos, se acostumbra a construir las puertas estilo tambor con plywood ó metal como material externo.

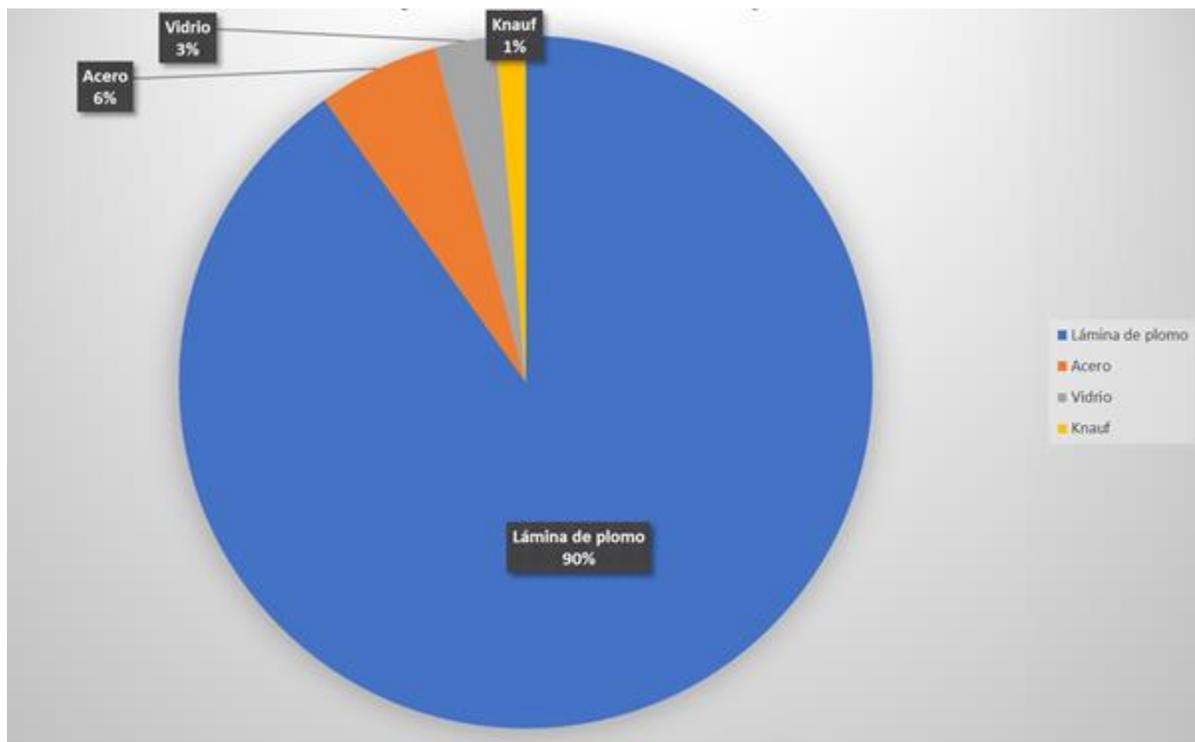
Tabla 44

Tablas de materiales usados en blindaje de puertas de acceso.

Material:	Instituciones:
Lámina de plomo	64
Acero	4
Vidrio	2
Knauf	1

Figura 94

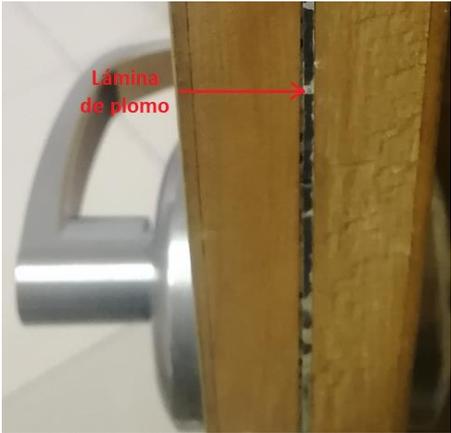
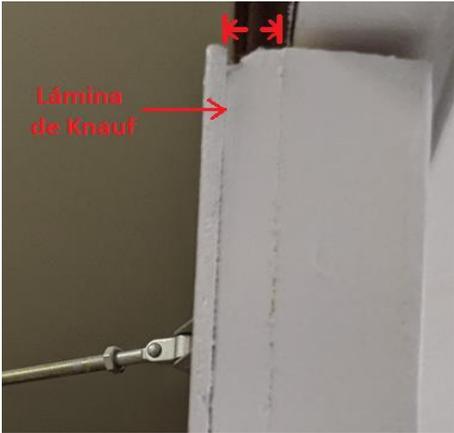
Materiales usados en blindaje de puertas de acceso.



El material predominante es el plomo y en algunos casos especiales por efectos de limpieza se prefiere usar el acero inoxidable para las clínicas veterinarias.

Solamente en un quirófano encontré que se utilizó lámina de Knauf de 1.2 cm de grosor

Figura 95
lámina de knauf de 1.2 cm de grosor.



15 Discusión

En el país existe un alto grado analfabetismo en cultura de seguridad radiológica, aun en personas que se supone poseen una formación profesional de acorde al área de estudio.

Esto ha generado que muchas instituciones no estén conscientes de los requerimientos que se deben de cumplir en sus instalaciones de obras civiles construidas para albergar los equipos de radiodiagnóstico que sean emisoras de radiación ionizante para garantizar la seguridad radiológica de sus empleados, público en general y pacientes.

En la actualidad los criterios de seguridad y protección suelen ser necesarios en la cotidianidad de cada individuo y en el ámbito laboral representa un aspecto de vital importancia para el adecuado desarrollo y funcionamiento de un grupo de trabajo en una institución.

La seguridad radiológica aborda las características correspondientes a la protección y seguridad ante las radiaciones ionizantes en aquellas prácticas donde se utilizan las mismas para un fin en específico y además tiene en consideración todos los aspectos en cuanto a la divulgación de los conocimientos sobre los beneficios y riesgos de las radiaciones ionizantes.

Este estudio presentado espero sirva como una referencia de información para la autoridad reguladora, titulares de licencia, oficiales de protección radiológica, prestadores de servicio en protección radiológica para que puedan conocer la realidad de los materiales que se utilizan para proporcionar el blindaje en las diferentes barreras y dispositivos de protección.

16 Conclusiones

1. Por la disponibilidad comercial de las características físicas (grosos) de los diferentes materiales absorbentes, la metodología teórica y experimental utilizada en el este estudio de tesis, es la más sencilla y práctica para entender estos conceptos del comportamiento de la radiación en los medios absorbentes, que no necesitan ser tan precisas para proporcionar la seguridad radiológica mínima permitida.
2. Se mostró en detalle los materiales de construcción para proporcionar blindaje de la forma más visual y descriptiva posible, con medidas y cantidades específicas para que se tomen en cuenta como referencia en cualquier instalación futura si utiliza concreto, plomo, sulfato de bario, Knauf safeboard, acero, vidrio plomado.
3. Las instituciones que realizaron o se encontraban en el proceso de autorización ante la Dirección General de Seguridad Radiológica si contaban con la clasificación de zonas por medio de la señalización apropiada. Las que no habían hecho ninguna gestión en su mayoría no contaban con ninguna señalización reglamentada.
4. Se comprobó en las 9 salas que estudiaron el cumplimiento de los criterios y ecuaciones del reglamentadas en el national Council on radiation Protection and measurements (NCRP) por medio de realizar los cálculos de cada parámetro y mediciones exigidas.
5. Por los resultados de las visitas a cada institución, puedo concluir que en general las salas de radiodiagnóstico de nuestro país cumplen la normativa de seguridad radiológica establecidas en la legislación nacional e internacional previo a realizar un proceso de autorización ante el ente regulador.
6. Las láminas de plomo son el material más usado en Honduras para proporcionar blindaje en las diferentes barreras, como lo muestra el resultado obtenido después de tabular los datos de 71 instituciones de salud.

17 Referencias Bibliográficas

- OIEA, *Diseño de blindaje estructural para instalaciones médicas de imágenes de rayos X*, reporte N° 147.
- OIEA, *Comisión Internacional de protección radiológica ICRP*, publicación 103
- OIEA, Consejo de seguridad Nuclear guía n° 5.11, *Aspectos técnicos de seguridad y protección radiológica de instalaciones médicas de rayos X para diagnóstico*.
- Dirección General de Seguridad radiológica (D.G.S.R.) *Guía Práctica de Radiodiagnóstico*.
- Dirección General de Seguridad radiológica (D.G.S.R.) *Ley sobre actividades nucleares y seguridad radiológica*, La Gaceta # 32,063, 14 de noviembre del 2009.
- Dirección General de Seguridad radiológica (D.G.S.R.) *Reglamento de autorizaciones para instalaciones radioactivas y equipos generadores de radiaciones ionizantes*, La Gaceta # 33,552, 10 de octubre del 2014.
- Dirección General de Seguridad radiológica (D.G.S.R.) *Guía orientativa de seguridad radiológica para señalización de instalaciones radioactivas*, La Gaceta #35,708, 4 de septiembre de 2021.
- Podgorsak, Ervin B. *Radiation Physics for Medical Physicists*, Third edition.
- Health Physics, *Diagnostic x-ray shielding design based on an empirical model of photon attenuation*, Vol. 44. No.5 (May), pp. 507-517, 1983
- Avallone, 1996. *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*, edited by Eugene Avallone and Theodore Baumeister, McGraw-Hill, New York, NY, 1996.

18 Anexos

Para poder obtener algunos factores agregué las siguientes Tablas y Gráficas que son necesarias para poder realizar los cálculos de blindaje de acorde al equipo.

Primera Tabla

Esta tabla permite obtener la carga de trabajo para las salas de rayos X en función de la cantidad de pacientes y el tipo de estudio a realizar.

Tabla 45

Tabla 4.3 del NCRP 147

TABLE 4.3—Estimated total workloads in various medical x-ray imaging installations in clinics and hospitals. The total workload values are for general guidance and are to be used only if the actual workloads are not available.

Room Type	Total Workload per Patient ^a (W_{norm}) (mA min patient ⁻¹)	Typical Number of Patients (N) (per 40 h week)		Total Workload per Week (W_{tot}) (mA min week ⁻¹)	
		Average	Busy	Average	Busy
<i>Rad Room (chest bucky)</i>	0.6	120	160	75	100
<i>Rad Room (floor or other barriers)</i>	1.9	120	160	240	320
<i>Chest Room</i>	0.22	200	400	50	100
<i>Fluoroscopy Tube (R&F room)</i>	13	20	30	260	400
<i>Rad Tube (R&F room)</i>	1.5	25	40	40	60
<i>Mammography Room</i>	6.7	80	160	550	1,075
<i>Cardiac Angiography</i>	160	20	30	3,200	4,800
<i>Peripheral Angiography^b</i>	64	20	30	1,300	2,000

^aAs discussed in Section 4.1.4, values of W_{norm} given in this table can be modified by use of a multiplier term W_{site}/W_{norm} if necessary to account for different workloads per patient at a particular site.

^bThe data in this Table for *Peripheral Angiography* also apply to *Neuroangiography*.

Tabla de factores de ocupación sugeridos para diferentes espacios en función de las tareas que en estos se realizan.

Tabla 46

Tabla 4.1 del NCRP 147.

4.1 CONCEPTS AND TERMINOLOGY / 31

TABLE 4.1—*Suggested occupancy factors^a (for use as a guide in planning shielding where other occupancy data are not available).*

Location	Occupancy Factor (<i>T</i>)
Administrative or clerical offices; laboratories, pharmacies and other work areas fully occupied by an individual; receptionist areas, attended waiting rooms, children's indoor play areas, adjacent x-ray rooms, film reading areas, nurse's stations, x-ray control rooms	1
Rooms used for patient examinations and treatments	1/2
Corridors, patient rooms, employee lounges, staff rest rooms	1/5
Corridor doors ^b	1/8
Public toilets, unattended vending areas, storage rooms, outdoor areas with seating, unattended waiting rooms, patient holding areas	1/20
Outdoor areas with only transient pedestrian or vehicular traffic, unattended parking lots, vehicular drop off areas (unattended), attics, stairways, unattended elevators, janitor's closets	1/40

^aWhen using a low occupancy factor for a room immediately adjacent to an x-ray room, care *should* be taken to also consider the areas further removed from the x-ray room. These areas may have significantly higher occupancy factors than the adjacent room and may therefore be more important in shielding design despite the larger distances involved.

^bThe occupancy factor for the area just outside a corridor door can often be reasonably assumed to be lower than the occupancy factor for the corridor.

more distant, fully occupied area, such as an office across the corridor. The qualified expert needs to therefore take a larger view of the

La grafica mostrada a continuación ilustra los factores de transmisión en función del espesor de plomo para la radiación secundaria emitida por un tomógrafo y se utiliza para encontrar el espesor de la barrera.

Figura 96

Gráfico de transmisión de radiación secundaria generada por un tomógrafo a través de plomo..

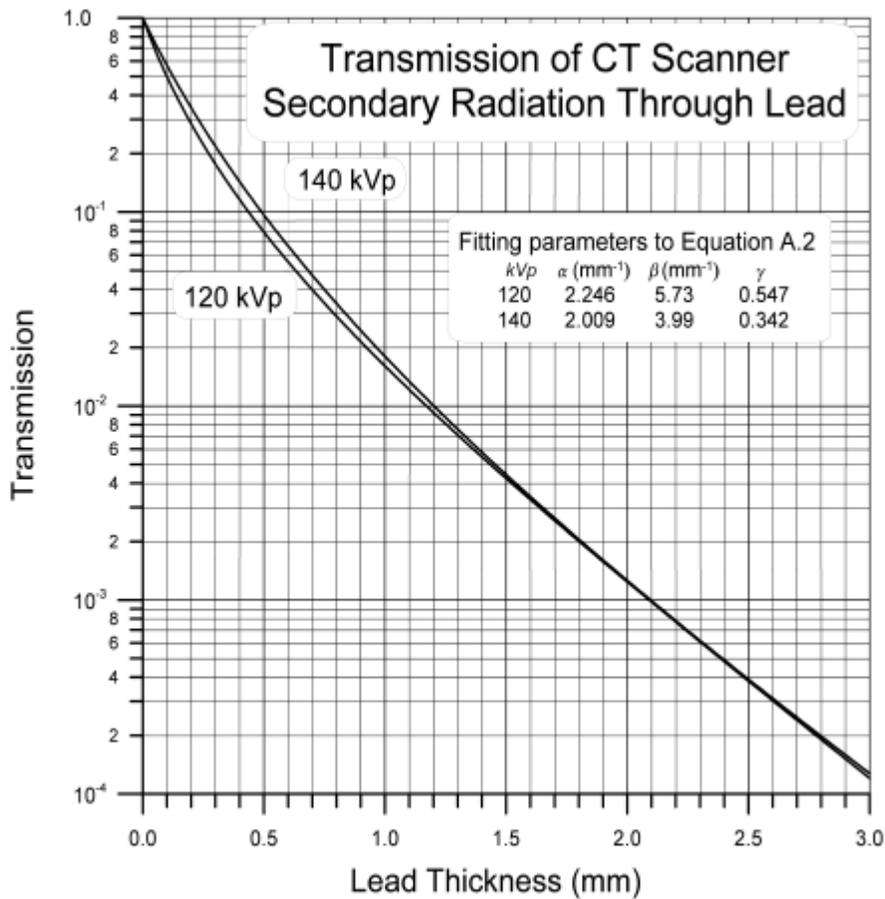


Fig. A.2. Transmission through lead of secondary radiation from CT scanners [data of Simpkin (1991) fitted to Equation A.2].

La grafica mostrada a continuación ilustra los factores de transmisión en función del espesor de plomo para la radiación secundaria emitida por un tomógrafo y se utiliza para encontrar el espesor de la barrera.

Figura 97

Gráfico de transmisión en función del espesor de concreto para radiación secundaria emitida por un tomógrafo.

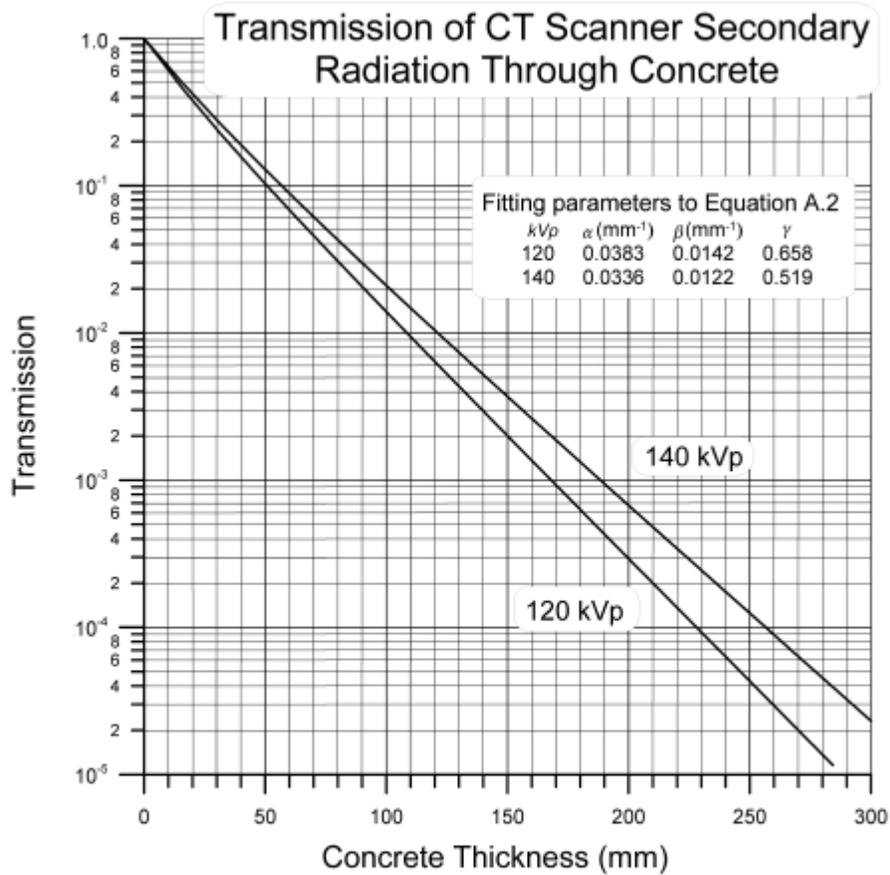


Fig. A.3. Transmission through concrete of secondary radiation from CT scanners [data of Simpkin (1991) fitted to Equation A.2].

La gráfica mostrada a continuación se utiliza para determinar el espesor de concreto requerido para la sala de mamografía.

Figura 98

Gráfica de factores de transmisión vs grosor de concreto.

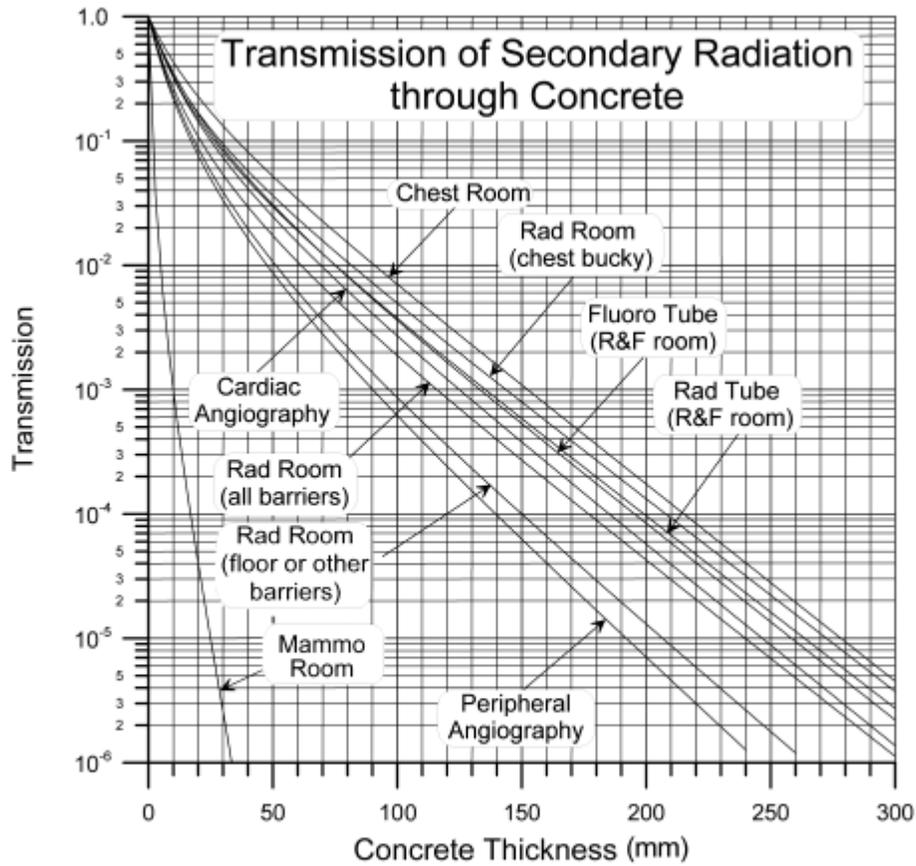


Fig. C.3. Transmission of secondary radiation through standard-weight concrete (data as in Figure C.2).

La tabla mostrada a continuación (TEC-DOC:1958) se utiliza para determinar el valor de referencia para la capa hemirreductora.

Tabla 47

Valores de referencia para capa hemirreductora.

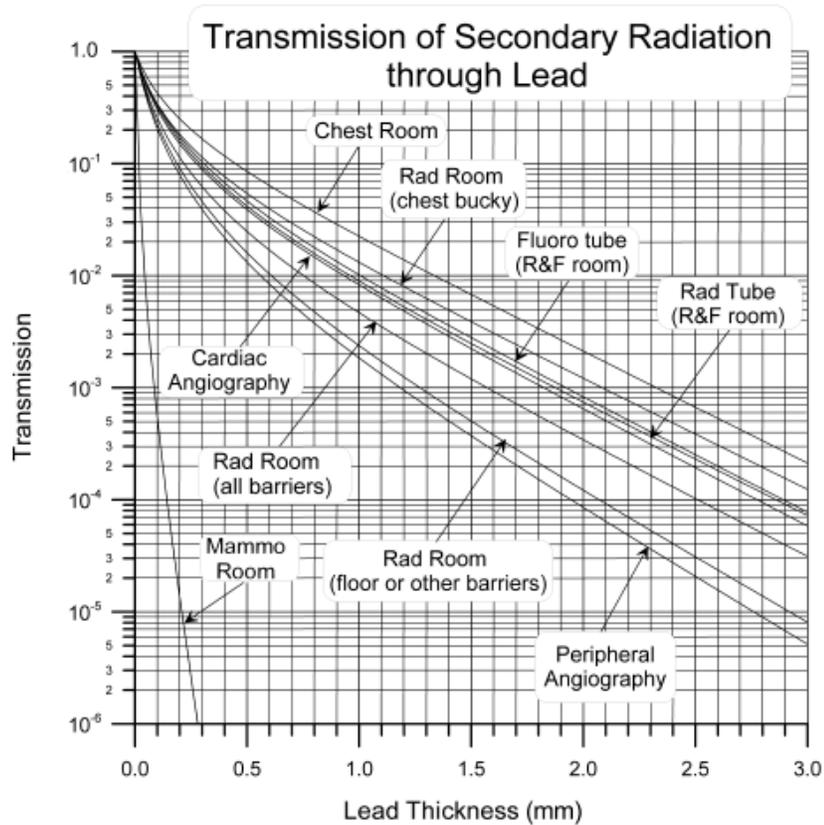
TABLA 4. VALORES DE CHR EN FUNCIÓN DEL VALOR DE KVP [1]

kVp	CHR (mmAl)	
	monofásico	trifásico
70	2,1	2,3
80	2,3	2,6
90	2,5	3,0
100	2,7	3,2
110	3,0	3,5
120	3,2	3,9
130	3,5	4,1

Tabla C.2 del NCRP 147 para determinar el espesor de plomo para barrera secundaria en mamografía.

Tabla 48

Gráfica de espesor de plomo para barrera secundaria en mamografía.



Esta tabla permite obtener la carga de trabajo para las salas de rayos X panorámico dental en función de la cantidad de pacientes y el tipo de estudio a realizar.

Tabla 49

Tabla F3 del NCRP 145.

TABLE F.3—Estimated workload for intraoral and panoramic units.^{a,b}

Type of Unit	Total Films or Images per Week per Unit	kVp	mAs per Film or Image	Film Speed or Image Receptor Speed	Workload (mA min week ⁻¹)
Low volume intraoral	100	50	8.5	E	14
		70	4.5		7.5
		90	2.5		4.2
Medium volume intraoral	200	50	8.5	E	28
		70	4.5		15
		90	2.5		8.3
High volume intraoral	300	50	8.5	E	43
		70	4.5		23
		90	2.5		13
Low volume panoramic	25	50	180	400	75
		70	100		42
		90	60		25
Medium volume panoramic	50	50	180	400	150
		70	100		83
		90	60		50
High volume panoramic	75	50	180	400	225
		70	100		125
		90	60		75

^aThe intraoral workload assumes a single-phase waveform and that a 40 cm cone is used. If image receptors having a speed different from those given in Table F.3 are used, the workload should be scaled by the ratio of the film or image receptor speeds. For instance, workload should be doubled for D-speed film. For a constant-potential waveform, the technique factor (milliamperere-seconds) and workload should be reduced by about one-third.

^bIn the absence of other specific local data, the entries in this Table are suggested in this Report.

Figura 99

Tasa de dosis por paciente en estudios panorámicos dentales.

F.2 BARRIER THICKNESS CALCULATIONS / 101

(see discussion of a_{pt} in Appendix F.3.1), and the use factor accounts only for the fraction of the x-ray emission time during which the x-ray beam is pointed towards a specific barrier.

F.2.1.3.2 Panoramic radiography. Panoramic machines have a narrow, slit-like useful beam that irradiates a relatively small portion of the head at any one time. The amount of scattered radiation from the patient is relatively less than that in multiple periapical (full mouth) examinations. Furthermore, the direction of the beam in a panoramic machine is fixed to strike the aperture on the image-receptor holding device that has a primary barrier behind the image receptor. The useful beam traverses only the patient area to be examined and does not strike other objects. In the case of panoramic machines then, only secondary barriers are required. Reid *et al.* (1993) measured the air-kerma levels around a panoramic machine whose maximum technique was 90 kVp and 12 mA, but was typically operated at 75 kVp and up to 10 mA. Under those conditions, an average air kerma of 4.5×10^{-5} mGy per exposure was measured and they concluded that no additional shielding was required. The low value of secondary radiation per exposure was due in large part to the machine being operated well below its maximum leakage radiation conditions.