



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOFÍSICA

**“DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DOSIS AMBIENTAL EN
INSTALACIONES HOSPITALARIAS DE LA CIUDAD DE AMBATO
QUE BRINDAN SERVICIO DE RAYOS X Y TOMOGRAFÍA
COMPUTARIZADA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

BIOFÍSICA

AUTORA: ERIKA FERNANDA CHISAG CHISAG

DIRECTORA: Biof. ROSA MARICELA ORMAZA HUGO, MsC

Riobamba – Ecuador

2019

©2019, Erika Fernanda Chisag Chisag

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Erika Fernanda Chisag Chisag, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de diciembre del 2019

Erika Fernanda Chisag Chisag

CI: 180460540-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOFÍSICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Trabajo experimental, titulado: **"DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DOSIS AMBIENTAL EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS DE LA CIUDAD DE AMBATO QUE BRINDAN SERVICIO DE RAYOS X Y TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA"**, realizado por la señorita ERIKA FERNANDA CHISAG CHISAG, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación. El mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Fis. Richard Willians Pachacama Choca PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2019-12-13
Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo, MsC DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 <hr/>	2019-12-13
Biof. Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas, Mgs MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 <hr/>	2019-12-13

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Titulación se lo dedico a mis padres, por el sacrificio que realizaron día a día para que pueda seguir adelante y tener una buena educación, por enseñarme a no derrumbarme ante cualquier obstáculo y a luchar por cada uno de los propósitos que me proponga en la vida, y sobre todo por haber estado a mi lado apoyándome durante todo este largo camino hasta culminar mi carrera.

A mi esposo Wilson y a mi hijo Matias, por ser la razón de mi felicidad, mi motivación en la vida y mi inspiración.

¡LOS AMO!

Erika Ch.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, salud y fortaleza que me dio durante todo este largo camino; a mis padres Tobías Néstor y María Luisa que con su esfuerzo, amor, cariño y humildad me han formado como persona; y a mi hermana Elsa por estar siempre pendiente de mí, gracias por motivarme a seguir adelante y cumplir mi meta.

A la Escuela de Física y Matemática de la ESPOCH, por abrirme las puertas y formarme como profesional, especialmente a mi directora de trabajo de titulación Biof. Rosa Ormaza, por su paciencia, orientación, colaboración y tiempo brindado para la realización de este trabajo de titulación.

A los Centros Radiológicos de especialidades médicas que brindan servicio de Rayos X y Tomografía Computarizada de la ciudad de Ambato, gracias por la confianza y apertura a sus instalaciones para la realización de este trabajo.

Erika.Ch

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.....	4
1.1 Antecedentes de la Investigación	4
1.2 Identificación del problema.....	7
1.3 Justificación del problema.....	8
1.4 Objetivos	9
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	9
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	10

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 Fundamentos de la Física de los Rayos X	11
2.1.1 <i>Los Rayos X</i>	11
2.1.2 <i>Leyes generales de los rayos X</i>	12
2.1.2.1 <i>Ley de la inversa del cuadrado de la distancia</i>	12
2.1.3 <i>Generación de Rayos X</i>	13
2.1.3.1 <i>Radiación de frenado o bremsstrahlung</i>	14
2.1.3.2 <i>Radiación característica</i>	14

2.1.4	<i>Interacción de los Rayos X con la materia</i>	15
2.1.4.1	<i>Efecto fotoeléctrico</i>	16
2.1.4.2	<i>Dispersión incoherente o efecto Compton</i>	17
2.1.5	<i>Atenuación de los Rayos X</i>	18
2.1.6	<i>Tipos de haces de radiación</i>	19
2.2	Fuentes generadoras de Rayos X utilizadas en radiodiagnóstico	20
2.2.1	<i>Equipo convencional de RX</i>	21
2.2.2	<i>Tomógrafo Computarizado</i>	24
2.3	Magnitudes empleadas en protección radiológica	26
2.3.1	<i>Magnitudes dosimétricas</i>	26
2.3.1.1	<i>Dosis absorbida</i>	27
2.3.1.2	<i>Tasa de dosis absorbida</i>	27
2.3.2	<i>Magnitudes de protección radiológica</i>	27
2.3.2.1	<i>Dosis absorbida promedio en órganos y tejidos</i>	28
2.3.2.2	<i>Dosis equivalente</i>	28
2.3.2.3	<i>Dosis efectiva</i>	28
2.4	Medidas fundamentales de protección radiológica	29
2.4.1	<i>Normas básicas de protección radiológica</i>	29
2.4.1.1	<i>Distancia</i>	29
2.4.1.2	<i>Tiempo</i>	30
2.4.1.3	<i>Blindaje</i>	30
2.4.2	<i>Principios de protección radiológica</i>	31
2.4.2.1	<i>Justificación</i>	31
2.4.2.2	<i>Optimización de la protección</i>	31
2.4.2.3	<i>Aplicación de límites de dosis</i>	32

2.4.3	<i>Categorías de exposición</i>	32
2.4.3.1	<i>Exposición ocupacional</i>	32
2.4.3.2	<i>Exposición médica de pacientes</i>	33
2.4.3.3	<i>Exposición de los miembros de público</i>	33
2.4.4	<i>Clasificación y señalización de áreas</i>	34
2.4.5	<i>Seguridad de una instalación médica de radiodiagnóstico</i>	35
2.4.5.1	<i>Recomendaciones del reporte No.147 del NCRP: Diseño de blindaje estructural para instalaciones médicas de imágenes de Rayos X</i>	35
2.4.5.2	<i>Protocolo de control de calidad en radiodiagnóstico – IAEA/ARCAL XLIX: Levantamiento radiométrico en instalaciones de Rayos X y Tomografía Computarizada</i>	39
2.4.6	<i>Vigilancia y Monitoreo radiológico del lugar de trabajo</i>	41
2.5	Detectores de radiación ionizante	41
2.5.1	<i>Detector Geiger Müller</i>	42
2.6	Efectos biológicos producidos por las radiaciones ionizantes	43
2.6.1	<i>Efectos determinísticos</i>	44
2.6.2	<i>Efectos estocásticos</i>	44

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	45
3.1	Tipo y diseño de la investigación	45
3.2	Equipos e Instrumentos utilizados en el desarrollo de la investigación.	45
3.2.1	<i>Equipos de Rayos X</i>	45
3.2.1.1	<i>Instalación 1</i>	46
3.2.1.2	<i>Instalación 2</i>	46
3.2.1.3	<i>Instalación 3</i>	47
3.2.1.4	<i>Instalación 4</i>	47

3.2.1.5 Instalación 5.....	48
3.2.1.6 Instalación 6.....	48
3.2.2 Tomógrafos Computarizados	48
3.2.2.1 Instalación 1.....	49
3.2.2.2 Instalación 2.....	49
3.2.2.3 Instalación 3.....	50
3.2.2.4 Instalación 4.....	50
3.2.2.5 Instalación 5.....	51
3.2.2.6 Instalación 6.....	51
3.2.3 Instrumentos.....	52
3.2.3.1 Detector Geiger Müller.....	52
3.2.4 Identificación de áreas controladas y no controladas.....	53
3.2.5 Determinación de los puntos críticos.....	53
3.2.6 Elaboración de planos.....	54
3.2.6.1 Instalaciones de Rayos X	54
3.2.6.2 Instalaciones de Tomografía Computarizada.....	60
3.2.7 Designación de restricción de dosis.....	66
3.2.7.1 NCRP reporte No.147	66
3.2.7.2 ARCAL protocolo XLIX	66
3.2.8 Medición de la tasa de dosis.....	66
3.2.8.1 Ubicación del detector en los puntos críticos	66
3.2.8.2 Medición de la tasa de dosis de las instalaciones de RX y TC	67
3.2.8.3 Identificación de parámetros de operación de cada sala de las Instalaciones.....	67
3.2.9 Cálculo de la tasa de dosis efectiva ambiental	68
3.2.9.1 Identificación de parámetros recomendados por el NCRP reporte No. 147, para las salas de Rayos X y Tomografía Computarizada	69

3.2.9.2 Identificación de parámetros propuestos por el protocolo XLIX del ARCAL para las salas de Rayos X y Tomografía Computarizada	70
--	----

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	72
4.1 Análisis de la tasa de dosis efectiva ambiental en las instalaciones de RX y TC	72
<i>4.1.1 Instalación 1</i>	<i>73</i>
<i>4.1.2 Instalación 2</i>	<i>78</i>
<i>4.1.3 Instalación 3.....</i>	<i>84</i>
<i>4.1.4 Instalación 4.....</i>	<i>90</i>
<i>4.1.5 Instalación 5.....</i>	<i>96</i>
<i>4.1.6 Instalación 6.....</i>	<i>102</i>
CONCLUSIONES.....	109
RECOMENDACIONES.....	111

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Carga de trabajo recomendado por la NCRP 147 para los equipos de RX y TC	37
Tabla 2-2: Factor de ocupación recomendado por la NCRP 147.....	37
Tabla 3-2: Factor de Uso recomendado por la NCRP 147.....	38
Tabla 4-2: Carga de trabajo, factor de ocupación y uso recomendados por el ARCAL XLIX..	40
Tabla 1-3: Equipo de RX de la Instalación 1	46
Tabla 2-3: Equipo de RX de la Instalación 2	46
Tabla 3-3: Equipo de RX de la Instalación 3	47
Tabla 4-3: Equipo de RX de la Instalación 4	47
Tabla 5-3: Equipo de RX de la Instalación 5	48
Tabla 6-3: Equipo de RX de la Instalación 6	48
Tabla 7-3: Tomógrafo Computarizado de la Instalación 1	49
Tabla 8-3: Tomógrafo Computarizado de la Instalación 2	49
Tabla 9-3: Tomógrafo Computarizado de la Instalación 3	50
Tabla 10-3: Tomógrafo Computarizado de la Instalación 4	50
Tabla 11-3: Tomógrafo Computarizado de la Instalación 5	51
Tabla 12-3: Tomógrafo Computarizado de la Instalación 6	51
Tabla 13-3: Geiger Müller	52
Tabla 14-3: Parámetros técnicos de los exámenes con mayor frecuencia de las salas de RX ..	68
Tabla 15-3: Parámetros técnicos de los exámenes con mayor frecuencia de las salas de TC...	68
Tabla 1-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 1.....	73
Tabla 2-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 1.....	74
Tabla 3-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 1	76

Tabla 4-4: Tasa de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 1.....	76
Tabla 5-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 2.....	78
Tabla 6-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 2.....	79
Tabla 7-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 2.....	81
Tabla 8-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 2.....	82
Tabla 9-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 3.....	84
Tabla 10-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 3.....	85
Tabla 11-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 3.....	87
Tabla 12-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 3.....	88
Tabla 13-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 4.....	90
Tabla 14-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 4.....	91
Tabla 15-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 4.....	93
Tabla 16-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 4.....	94
Tabla 17-4: Tasas de dosis en los puntos de críticos de la sala de RX de la Instalación 5.....	96
Tabla 18-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 5.....	97
Tabla 19-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 5.....	99
Tabla 20-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 5.....	100
Tabla 21-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 6.....	102

Tabla 22-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 6	103
Tabla 23-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 6	105
Tabla 24-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 6	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Ley de la inversa del cuadrado de la distancia.....	13
Figura 3-2: Emisión de fotones de Rayos X de frenado	14
Figura 4-2: Emisión de un fotón de rayos X característico	15
Figura 5-2: Efecto fotoeléctrico.....	16
Figura 6-2: Efecto Compton	17
Figura 7-2: Atenuación de fotones.....	18
Figura 8-2: Tipos de haces de radiación: primaria, secundaria y transmitida.....	19
Figura 9-2: Elementos que forman parte del tubo de rayos X	21
Figura 10-2: Elementos que forman partes de un equipo convencional de RX: (a)Tubo de RX, (b) Columna móvil, (c) Bucky de pared, (d) mesa radiográfica. (e) Chasis, (f) consola de control.....	22
Figura 11-2: Elementos externos que forman parte de un Tomógrafo Computarizado: (a) Gantry, (b) Mesa de exploración, (c) Consola de control, (d) operador.....	25
Figura 12-2: Símbolo de radiación ionizante.....	34
Figura 13-2: Tipos de distancias respecto a la radiación producida y las personas que se encuentran en las áreas adyacentes.....	39
Figura 14-2: Partes físicas del detector Geiger Müller	42

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Plano de la sala de RX de la Instalación 1.....	55
Gráfico 2-3: Plano de la sala de RX de la Instalación 2.....	56
Gráfico 3-3: Plano de la sala de RX de la Instalación 3.....	57
Gráfico 4-3: Plano de la sala de RX de la Instalación 4.....	58
Gráfico 5-3: Plano de la sala de RX de la Instalación 5.....	59
Gráfico 6-3: Plano de la sala de RX de la Instalación 6.....	60
Gráfico 7-3: Plano de la sala de TC de la Instalación 1	61
Gráfico 8-3: Plano de la sala de TC de la Instalación 2	62
Gráfico 9-3: Plano de la sala de TC de la Instalación 3	63
Gráfico 10-3: Plano de la sala de TC de la Instalación 4	64
Gráfico 11-3: Plano de la sala de TC de la Instalación 5	64
Gráfico 12-3: Plano de la sala de TC de la Instalación 6	65
Gráfico 1-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana obtenidas por el NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 1.....	74
Gráfico 2-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año obtenidas por el NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 1.....	75
Gráfico 3-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana obtenidas por el NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 1.....	77
Gráfico 4-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año obtenidas por el NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 1.....	77
Gráfico 5-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 2.....	80
Gráfico 6-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 2.....	80

Gráfico 7-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 2.....	82
Gráfico 8-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 2.....	83
Gráfico 9-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 3.....	86
Gráfico 10-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 3.....	86
Gráfico 11-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 3.....	89
Gráfico 12-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 3.....	89
Gráfico 13-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 4.....	92
Gráfico 14-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 4.....	92
Gráfico 15-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 4.....	95
Gráfico 16-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 4.....	95
Gráfico 17-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 5.....	98
Gráfico 18-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 5.....	98
Gráfico 19-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 5.....	101
Gráfico 20-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 5.....	101
Gráfico 21-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 6.....	104

Gráfico 22-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 6.....	104
Gráfico 23-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 6.....	107
Gráfico 24-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 6.....	107

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Certificado de calibración del detector Geiger Müller

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo la determinación de la tasa de dosis ambiental en instalaciones hospitalarias de la ciudad de Ambato que brindan servicio de Rayos X y Tomografía Computarizada. El procedimiento se basa en el protocolo XLIX del acuerdo regional de cooperación para la promoción de la ciencia y la tecnología nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL), donde se identificó los puntos críticos, las salas colindantes y tipo de área. La identificación de los puntos críticos se basó en las recomendaciones del reporte 147 del Consejo Nacional de Protección Radiológica y Mediciones (NCRP). Para la determinación de la tasa de dosis ambiental anual se trabajó directamente con el mayor valor de tasa de dosis identificado y con los parámetros propuestos por el ARCAL y NCRP como: factor de uso, ocupación y carga de trabajo. Se concluye que, en las 6 instalaciones hospitalarias, las salas de rayos X y sus áreas adyacentes se encuentran dentro de los límites permisibles, con excepción del punto E de la instalación 5, que corresponde a un baño que no se usa durante los procesos de exposición, sobrepasa el límite con 9,2%, según lo presentado en el ARCAL. Mientras que, En las salas de tomografía computarizada casi todas las instalaciones cumplen con los niveles de dosis permisibles por el NCRP y ARCAL, a excepción de la instalación 3 y 6. Con los resultados obtenidos se recomienda incluir un oficial de seguridad radiológica, para la corroboración de estos datos.

Palabras clave: <BIOFÍSICA>, <RADIOGRAFÍA>, <TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA>, <LEVANTAMIENTO RADIOMÉTRICO>, <TASA DE DOSIS AMBIENTAL>, <ÁREA CONTROLADA>, <ÁREA NO CONTROLADA>, <PROTOCOLO ARCAL>, <CONSEJO NACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y MEDICIONES (NCRP)>



ABSTRACT

The objective of this degree work is to determine the environmental dose rate in hospital facilities that provide X-ray and CT scans in the city of Ambato. The procedure is based on the XLIX protocol of the Regional Cooperation Agreement for the Promotion of Nuclear Science and Technology in Latin America and the Caribbean (ARCAL), where the critical points, adjoining rooms and type of area were identified. The identification of the critical points was based on the recommendations of report 147 of the National Council of Radiological Protection and Measurements (NCRP). For the determination of the annual environmental dose rate, it was directly considered the highest identified dose rate value and the parameters proposed by the ARCAL and NCRP as: use factor, occupation and workload. It is concluded that, in the 6 hospital facilities, the X-ray rooms and their adjacent areas are within the permissible limits, with the exception of point E of area 5, which corresponds to a bathroom that is not used during the processes of exposure, it exceeds the limit with 9.2%, in relationship with what is proposed by the ARCAL. Whereas, in the CT rooms, almost all the facilities meet the dose levels allowed by the NCRP and ARCAL, with the exception of the areas 3 and 6. With the results obtained, it is recommended to include a radiological safety officer, for corroboration of this data.

Keywords: <BIOPHYSICS>, <RADIOGRAPHY>, <COMPUTED TOMOGRAPHY>, <RADIOMETRIC SURVEY>, <ENVIRONMENTAL DOSE RATE>, <CONTROLLED AREA>, <UNCONTROLLED AREA>, <ARCAL PROTOCOL>, <NATIONAL COUNCIL OF RADIOLOGICAL PROTECTION AND MEASUREMENTS (NCRP)>



INTRODUCCIÓN

Las personas están expuestas a radiación natural de fondo como también a radiación de baja transferencia lineal de energía por sus siglas en inglés LET (Linear energy transfer) y alta LET provenientes de fuentes artificiales, como los equipos de Rayos X (RX) y materiales radiactivos. Estas fuentes artificiales se utilizan en campos como: medicina, investigación e industria, siendo más frecuente su uso en la medicina e industria (National Research Council, 2006, p. 3).

Los RX después de su descubrimiento fueron utilizados en aplicaciones médicas para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Sin embargo, poco después de su uso se empezó a observar daños debido a exposiciones altas, demostrando que este tipo de radiación puede ser peligrosa si no se utiliza correctamente (Méndes & Maldonado, 2014, p. 145).

En medicina, las personas cada día acuden al radiodiagnóstico, siendo la aplicación más común y principal de las fuentes artificiales de exposición externa (Oficina Sanitaria Panamericana, 1959, p. 21). En los últimos años, en varios países se ha incrementado el número de exámenes radiodiagnósticos debido a la tomografía computarizada (TC) (Cancio, 2010, p. 6).

Las técnicas utilizadas en radiodiagnóstico son: radiografía, fluoroscopia, TC, radiología intervencionista, densitometría ósea y mamografía. La radiografía es una técnica de diagnóstico que se utiliza desde principios del siglo XX, que mediante un equipo de RX permite obtener imágenes de una sola película de los órganos del cuerpo humano. Por otro lado, la TC mediante la rotación del tubo de RX y la fila de detectores alrededor del paciente, realiza cortes transversales de la zona irradiada y exploraciones helicoidales de múltiples cortes, permitiendo obtener imágenes tridimensionales del órgano irradiado, por ello la TC se considera como uno de los avances más importantes y dosis más altas de RX en los órganos (National Research Council, 2006, pp. 4, 156) (Torres, 2019, p. 87) (Martin, et al., 2019, p. 174).

Las técnicas mencionadas anteriormente implican exposiciones a: las personas que se realizan el examen, al personal ocupacionalmente expuesto (POE) como parte de su trabajo y a miembros

de público. El POE y miembros de público se exponen casi siempre a niveles muy bajos (ICRP, 2011, p. 19). Sin embargo, debido al tiempo de exposición con relación a la salud del POE, se le considera factor de riesgo ocupacional, requiriendo de protección radiológica; y, así mismo, al igual que los miembros de público cuentan con límites de dosis propuestos por la Comisión internacional de protección radiológica por sus siglas en inglés ICRP (International Commission on Radiological Protection) en su informe N° 103, los cuales son diferentes pero con el mismo fin (Hernández & Pernalet, 2017).

Hoy en día, las Radiaciones Ionizantes (RI) pueden medirse en unidades del Sistema Internacional (SI) como: Gray (Gy) como unidad de dosis absorbida y Sievert (Sv) como unidad de dosis equivalente (Méndes & Maldonado, 2014, p. 145). La determinación de la RI en instalaciones hospitalarias se puede realizar mediante el uso de monitoreo del lugar del trabajo, que proporciona la cantidad de dosis o la tasa de dosis que está presente en el área durante cada exposición, estas pueden detectarse con precisión con el uso de detectores o contadores Geiger Müller (GM) u otros dispositivos similares (National Research Council, 2006, p. 2).

Los riesgos asociados con la exposición a las RI en el medio ambiente laboral, dependen de las dosis de radiación que reciben las personas expuestas, en función de lo cual se puede producir ciertos efectos biológicos de tipo deterministas a altas dosis y estocásticos a bajas dosis (Méndes & Maldonado, 2014, p. 145). Es por ello que, todo procedimiento médico que involucre el uso de RI debe estar debidamente justificado, de la misma forma se debe optimizar las medidas de radioprotección de acuerdo con el principio ALARA (As Low As Reasonable Achievable) que significa “*tan bajo como sea razonablemente posible*”, por lo que deben evaluarse y controlarse aplicando las normas de protección radiológica (Badel, et al., 2018, p. 227) (OIEA, 2016, p. 1).

La protección y seguridad radiológica es responsabilidad de la persona u organización encargada de la instalación, la cual debe tener la licencia del órgano o Autoridad Reguladora para el uso de RI (OIEA, 2016, pp. 5, 34). En el Ecuador, la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) es la dependencia encargada de regular, controlar e inspeccionar el buen uso de las RI y la seguridad del POE y miembros del público, para que su trabajo se realice sin riesgo, haciendo cumplir las normas y recomendaciones proporcionados por los organismos competentes (FRALC, 2019, pp. 21-22).

En función de todo lo antes mencionado, se propone realizar la determinación de la tasa de dosis ambiental en las instalaciones hospitalarias de la ciudad de Ambato que brindan servicio de RX y TC.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes de la Investigación

Después del descubriendo de los RX, los médicos fueron los primeros en utilizar tubos de RX para realizar exploraciones radiológicas y en presentar efectos como: depilación, eritemas, quemaduras e incluso la muerte. En el año de 1896, se evidenció que a pesar de que los RX contribuían como una herramienta para salvar la vida de las personas por la información que transmitía, también podía destruirla, ya que podía causar daños a la salud (Arias, 2006, pp. 188-189).

En el año 1940, el riesgo de cáncer entre médicos y otras personas expuestas a RI en el lugar de trabajo ha sido un tema de estudio, debido al aumento de muerte por leucemia entre los radiólogos y técnicos radiólogos, a partir de entonces numerosos estudios han considerado la mortalidad y la incidencia de cáncer en varios grupos ocupacionalmente expuestos en medicina, industria, investigación y aviación (National Research Council, 2006, pp. 189, 205).

El riesgo de desarrollar cáncer con RI de baja LET ha sido estudiado en base a los sobrevivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, y en las personas que sufrieron accidentes con materiales radiactivos debido a su trabajo (Servente, et al., 2018, p. 140).

Escobar L. y otros, en el año de 1996, en su trabajo de investigación denominada “Evaluación sobre aspectos de protección radiológica de las salas de radiodiagnóstico en el Área Metropolitana de la Ciudad de México”, verificaron que el espesor de los blindajes estructurales en 25 salas de radiodiagnóstico sean los adecuados y de manera que no excedan los límites de dosis establecidos para el POE y miembros de público. En este trabajo se identificaron 8 salas con blindaje inadecuado en el cuarto de control, 8 salas con problemas de blindaje en la puerta

de acceso y, 9 en el área de acceso y en el cuarto de control. Se concluyó que las salas tienen problemas de diseño e inadecuada distribución de la orientación del tubo y cuarto de control, mostrando que un alto porcentaje de las salas analizadas presentan deficiencia desde el punto de vista de protección radiológica (Escobar, et al., 1996, pp. 267-268).

Otro estudio relevante fue realizado por Baquero H. y colegas, en el año 2004, titulado “Aberraciones cromosómicas en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes”. Su estudio se basó en evaluar a los trabajadores expuestos a RI que pertenecían a las áreas de medicina nuclear, radioterapia, física médica y radiodiagnóstico, los cuales tenían seguimiento con dosímetros personales. Se realizaron cultivos celulares de linfocitos de sangre periférica teñidos con quinacrina y lectura en metafases de cada caso y, se tomaron promedios de datos dosimétricos de uno a cuatro años; se compararon los resultados con las dosis recibidas y el tiempo, con relación a cancerígenos comunes y, antecedentes familiares y personales. Entre sus resultados en relación con el tiempo de exposición y la presencia de aberraciones se encontró: 39 % entre 1 y 10 años de exposición, 27 % entre 11 y 20 años de exposición y 46 % entre los 21 y 30 años de exposición. En conclusión, un promedio de 1,93% aberraciones por individuo, deduciendo que la exposición a bajas dosis por RI internacionalmente permitidas pueden ocasionar daños cromosómicos, las cuales están en relación directa con el tiempo de exposición y la sensibilidad individual, mas no con la cantidad de radiación recibida (Baquero, et al., 2004, pp. 8, 14).

En el estudio denominado “Aplicación de un protocolo de levantamiento radiométrico en instalaciones de radio-diagnóstico”, desarrollado por Leyton F. y otros, en el año 2007, se realizó un levantamiento radiométrico en dos servicios de imagenología con un total de 7 salas de radiodiagnóstico y utilizando la metodología del protocolo de control de calidad en radiodiagnóstico ARCAL (Acuerdo regional de cooperación para la promoción de la ciencia y la tecnología nucleares en América Latina y el Caribe) XLIX del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en la cual calcularon las tasas de dosis efectiva en diferentes puntos de interés, obteniendo que el 85 % de los puntos evaluados presentan tasas de dosis efectivas que cumplen con los valores límites establecidos en el protocolo ARCAL (Leyton, et al., 2007, pp. 213-217).

El trabajo de investigación bibliográfico realizado por Méndez A. y otros, en el año 2014, titulado “Trastornos hematopoyéticos en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes”. En esta investigación se seleccionaron 11 artículos sobre exposición laboral a RI y sus efectos hematopoyéticos para la revisión completa del texto. Entre sus resultados, en relación a la dosis y el tiempo de exposición, encontraron que existe un riesgo aumentado de padecer leucemia con un tiempo de exposición mayor de 10 años y con dosis promedio de exposición $< 10 \text{ mSv}$; por otra parte, en relación a la edad que oscila en el rango de 55-65 años, encontraron evidencia con los últimos diez años de vida laboral con un periodo aproximado de 10 años posteriores a la exposición por el trabajo, dado que la sensibilidad a los efectos cancerígenos de la radiación aumenta progresivamente con la edad en la vida adulta. De esta investigación concluyeron que la mayoría de los trabajadores reciben bajas dosis de radiación, siendo difícil detectar pequeños incrementos en el riesgo debido al lento progreso de la leucemia (Méndez & Maldonado, 2014, pp. 143, 157).

En el año 2015, Mónica Morera con su trabajo de titulación “Evaluación de la exposición laboral a radiaciones ionizantes en el área de radiología del centro de atención ambulatorio central Quito (CAACQ) y propuesta de medidas de prevención y control”, se concluyó que la medición en la sala del tomógrafo fue de $0,64 \text{ mSv/año}$, considerándola la más alta; pero a pesar de esto no existió sobreexposición del trabajador a radiaciones ionizantes, ya que no superó el límite de 20 mSv/año . También se determinó que el 91 % del personal del servicio de radiología no tiene conocimiento sobre la cantidad de radiación en sus puestos de trabajo, el 82 % no conocen el resultado de la dosimetría bimensual ni anual y el 100 % creen que las instalaciones del servicio de radiología no brindan la protección adecuada contra la exposición a RI (Morera, 2015, pp. 46-54; 61:62).

En el trabajo de investigación realizado en el año del 2015, por Fabricio Zanzzi, titulado “Riesgo Laboral ¿Abuso o Descuido?: Evidencias desde la ausencia del control estatal en el diagnóstico médico complementario con rayos X”, se estableció si en el territorio ecuatoriano el personal directivo de las organizaciones dedicadas al cuidado de la salud estaban ejecutando de manera sesgada en perjuicio de los operarios contratados y las medidas de control que evitan la afectación negativa de las RI en la salud, debido al uso de los equipos de RX. De este estudio se concluyó que los operarios no se protegen de las RI, que existe poco control estatal e insuficiente cumplimiento de las normas legales vigentes y, escasa aplicación de medidas preventivas; sugiriendo que instituciones de educación superior e institutos de investigación

llamen la atención del Estado hacia este problema, no sólo para las grandes ciudades sino también para las pequeñas e intermedias, ya que deben estar más pendiente de su labor de control al ser temas de desconocimiento general (Zanzzì, 2015, pp. 13,14,19).

Por otra parte, José Salas en el año 2016, en su proyecto de investigación y desarrollo denominado “El nivel de exposición a radiaciones ionizantes en la prevalencia de cáncer tiroideo del personal del servicio de Rayos X y de sus áreas adyacentes, del IESS- Hospital General Ambato”, realizó mediciones de dosis en las cabinas de control y las áreas adyacentes de las salas de TC, RX, mamografía y fluoroscopia, durante la jornada laboral. Para la determinación de la dosis anual recolectó información con respecto al tiempo de disparo, el número de disparos diarios, los días y meses que trabaja el POE; el valor obtenido de la dosis anual fue comparado con los resultados de los reportes dosimétricos del POE de los últimos 3 años. En esta investigación se concluyó que tanto las mediciones ambientales como las dosimétricas, revelaron que pese a existir presencia de radiación dispersa en las cabinas de control, no existe sobreexposición a radiaciones ionizantes, ni dentro del área de radiología ni en las zonas aledañas; siendo el equipo de TC considerado más riesgosos al emitir una tasa de dosis de 0.0318 mSv/año , valor que está muy debajo del límite permisible para el POE y miembros de público (Salas, 2016, pp. 49, 81).

Todas estas investigaciones brindan una perspectiva con respecto a la determinación de la tasa de dosis ambiental y el nivel de exposición de radiación ionizante del POE, público y áreas adyacentes a las salas de radiodiagnóstico, permitiendo adquirir varios datos que se consideren importantes al momento de iniciar estudios de este tipo.

1.2 Identificación del problema

El TECDOC-1763 del OIEA con relación a la situación actual de los países de América Latina respecto a la protección radiológica, muestra que existe constante inestabilidad del personal regulador y el envejecimiento de los grupos de trabajo del área, lo que provoca la pérdida de memoria corporativa y carencias del proceso regulatorio de inspección y control, lo cual afecta a los servicios técnicos de protección radiológica (OIEA, 2015, p. 77).

En el Ecuador, el número de instalaciones de radiodiagnóstico médico aproximadamente está en un valor de 900 (FRALC, 2019, p. 21). En este contexto, investigaciones revelan que los centros de diagnóstico que utilizan equipos de RX de la ciudad de Milagro, solo 1 de 10 operarios cumplen con las normas y 2 de cada 10 toman todas las medidas de prevención, lo que podría ocasionar efectos nocivos para la salud de los operarios de los equipos de RX. Deduciendo que la falta de medidas de seguridad radiológica se da por la ausencia del control de la Autoridad Reguladora, y lo que es peor, no se conoce centros de salud ni operarios sancionados por no cumplir con la norma legal, existiendo la posibilidad de que otras ciudades se encuentren en la misma situación (Zanzzì, 2015, p. 14).

Toda exposición a RI a diferente dosis, puede generar diversos efectos como los determinísticos y estocásticos. Los efectos estocásticos son los más frecuentes, ya que no requieren de un umbral de dosis, de manera que pueden provocar la transformación no letal de las células y, en consecuencia, las personas expuestas pueden sufrir de cáncer y de mutaciones genéticas, afectando a generaciones futuras. En pocas palabras, estos efectos no se pueden evitar por completo dado que la probabilidad de que ocurra aumenta en proporción, cuando la dosis y las tasas de dosis son pequeñas y además con tiempos prolongados de exposición (Arias, 2006, p. 190) (Baquero, et al., 2004, p. 14).

Por todo lo antes expuesto, se ha visto la necesidad de medir la tasa de dosis ambiental en las instalaciones hospitalarias de la ciudad de Ambato que brindan servicios de RX y TC, ya que las personas encargadas de las instituciones probablemente no cuentan con el suficiente conocimiento sobre los niveles de dosis a los que se encuentran sometidos el POE y miembros de público, pudiendo existir alta tasa de dosis, lo que puede ocasionar en un futuro problemas a la salud de las personas.

1.3 Justificación del problema

Los RX son RI con gran poder de penetración capaz de atravesar los tejidos y recorrer largas distancias, y con energía suficiente para desplazar electrones de las moléculas, pudiendo ocasionar daños en las células humanas (Oficina Sanitaria Panamericana, 1959, p. 7).

La exposición del POE y miembros de público se encuentran asociadas al uso de RX, en las diferentes técnicas de radiodiagnóstico, por lo cual requiere que los lugares de trabajo como las áreas colindantes sean evaluadas y vigiladas, con el fin de controlar los niveles de dosis a los que están expuestos las personas (Ubeda, et al., 2018, pp. 05-06).

Debido a que los RX no se pueden ver ni sentir, existe la posibilidad de que el POE y miembros de público estén expuestos constantemente a este tipo de radiación, poniendo en riesgo su salud. Por lo que, se requiere medir a través de un equipo los niveles de dosis, haciendo posible la obtención de la tasa de dosis del lugar. Además, en este estudio se pretende evaluar el blindaje estructural de las instalaciones, corroborando los niveles de restricción de dosis para áreas controladas y supervisadas, para la cual se utilizará las recomendaciones del Consejo Nacional de protección radiológica y mediciones en sus siglas en inglés NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements) No. 147 y el protocolo del ARCAL XLIX.

Por tal motivo, el presente trabajo de investigación tiene como finalidad, la determinación de la tasa de dosis ambiental en instalaciones hospitalarias de la ciudad de Ambato que brindan servicio de RX y TC, el cual se realiza para brindar seguridad al POE y miembros del público en temas de protección radiológica, de la misma forma esto contribuye a que las instalaciones hospitalarias conozcan, mejoren y cumplan con las recomendaciones, normas y límites de dosis establecidas por las autoridades competentes.

Así también para el desarrollo de este trabajo investigación se cuenta con la apertura de seis instalaciones hospitalarias, mismas que facilitaron el ingreso a las áreas adyacentes de las instalaciones para la obtención de los datos. Por parte de la ESPOCH se cuenta con el equipo-Geiger Müller, mismo que esta calibrado; y con profesionales debidamente capacitados que garantizan el trabajo de investigación.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Determinar la tasa de dosis ambiental de las áreas de Rayos X y Tomografía Computarizada de las instalaciones hospitalarias de la ciudad de Ambato.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar los puntos críticos de las áreas de Rayos X y Tomografía Computarizada de las instalaciones hospitalarias.
- Determinar la tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de exposición.
- Establecer las zonas que sobrepasan los límites de dosis ambiental permisible.
- Recomendar las medidas preventivas y de control que logren minimizar el riesgo en el área de Rayos X y Tomografía Computarizada.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos de la Física de los Rayos X

2.1.1 *Los Rayos X*

Los RX fueron descubiertos accidentalmente por el Físico Alemán Wilhelm Conrad Röntgen, en el año de 1895. Son radiaciones electromagnéticas, sin carga eléctrica; su longitud de onda es corta, que van desde unos 10 *nm* hasta 0,01 *nm*; sus frecuencias oscilan entre 1017 *Hz* hasta 1020 *Hz*; y, se propagan en el vacío en forma de paquetes de energía, llamados fotones a la velocidad de la luz (3×10^8 *m/s*) (Khan, 2003, p. 9) (Sociedad Española de Física Médica, 2012, pp. 25- 26).

Son indirectamente ionizantes, ya que primero transfieren su energía a los electrones a través de la cual pasan; y de baja LET, debido a que la cantidad de energía capaz de ceder al medio es baja, que van de casi cero hasta aproximadamente 100 *mSv* (0.1 *Sv*) (National Research Council, 2006, pp. 2,19). Su energía se mide en picos de kilovoltios (*kV*), que equivale a 1000 voltios de potencial eléctrico; y, su corriente eléctrica se mide en miliamperios (*mA*), que equivale a 0,001 amperios (Bushong, 2005, pp. 8 , 9).

Presentan propiedades físicas, químicas y biológicas. En protección radiológica las más importantes son las propiedades físicas y biológicas. Entre ellas: el poder de penetración, que permite atravesar la materia y recorrer largas distancias, el cual va a depender del medio dispersor; la dispersión, le permite emitir radiación secundaria; la ionización, le permite arrancar un electrón a cada átomo, el cual se ioniza; y las biológicas, porque al ser ionizada la célula, esta puede sufrir modificaciones, dando lugar a efectos estocásticos o determinísticos (Pedroso & Vásquez, 2005, pp. 1-2).

Por otra parte, no son visibles al ojo humano, por lo que se requiere de detectores de radiación para identificar su presencia; y, de elementos de protección radiológica que protejan al POE y miembros de público de los RX generados.

En general, los RX son fabricados por el ser humano y generados por equipos, siendo la forma más representativa de RI artificial de gran utilidad en la medicina, industria e investigación.

2.1.2 Leyes generales de los rayos X

Los RX presentan características que, dentro de la protección radiológica, ésta se describe en la ley de la inversa del cuadrado de la distancia.

2.1.2.1 Ley de la inversa del cuadrado de la distancia

Esta ley relaciona la intensidad de radiación y la distancia desde la fuente de RX. En la Figura 1-2, se observa tres distancias entre la fuente y el receptor, y respecto a esto como varía la intensidad. A medida que aumenta la distancia entre la fuente y el receptor, la dosis de radiación disminuye; y mientras la distancia disminuye, la dosis aumenta en proporción al cuadrado de la distancia; es decir, de 1 a 2 metros de distancia entre la fuente y el receptor, la dosis disminuye a una cuarta parte de la dosis inicial y, si ocurre inversamente la dosis aumenta cuatro veces de la dosis inicial (Baños, 2003, pp. 19-20).

Es importante, ya que nos permite calcular la intensidad de radiación que llega desde la fuente de radiación al receptor o al operador que realiza el procedimiento; en radioprotección, la distancia mínima entre el foco y el operador no debe ser menor a 2 m (Zubeldia, 2005, p. 23).

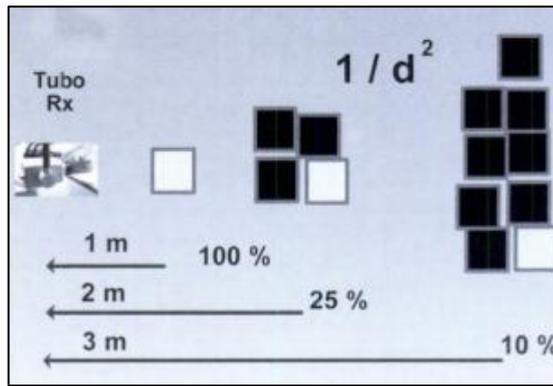


Figura 1-2: Ley de la inversa del cuadrado de la distancia

Fuente: (Baños, 2003)

2.1.3 Generación de Rayos X

Los RX se generan en un tubo de cristal al vacío, mediante el frenado de un haz de electrones que son acelerados hacia el blanco. Ocurre al calentar un filamento mediante una corriente eléctrica baja y al aplicar una diferencia de potencial, en la cual bruscamente aumenta la corriente del tubo, permitiendo la emisión de electrones de los átomos. Los electrones emitidos son acelerados a gran velocidad hacia el blanco, los cuales al interactuar producen una transformación de la energía cinética, donde solo el 1 % de la potencia eléctrica suministrada al tubo es RX y el 99 % es energía térmica (calor) (Sociedad Española de Física Médica, 2012, p. 35;44).

En el tubo de RX el proyectil es el electrón, al mismo que se le puede incrementar su energía cinética aumentando el kV e incrementando la intensidad miliamperios segundo (*mAs*). Estos forman la corriente del tubo, la cual se produce cuando interactúan con el blanco, donde transfieren su energía cinética y disminuyen su velocidad quedando así casi en reposo (Sociedad Española de Física Médica, 2012, p. 44).

Debido a que los proyectiles pueden interactuar con los electrones orbitales o los núcleos de los átomos del blanco, los RX pueden originarse por un mecanismo de producción doble, los cuales son:

2.1.3.1 Radiación de frenado o bremsstrahlung

Se produce cuando un electrón proyectil de carga negativa pasa muy cerca del núcleo de un átomo del blanco con carga positiva, como se observa en la Figura 3-2. La interacción se debe a la atracción electrostática de las cargas del electrón y del núcleo, debido a esto el electrón proyectil se frena, reduce su velocidad, pierde energía y se desvía respecto a su trayectoria inicial; la energía perdida por el electrón proyectil reaparece y se emite en forma de fotón de RX (Sociedad Española de Física Médica, 2012, p. 47).

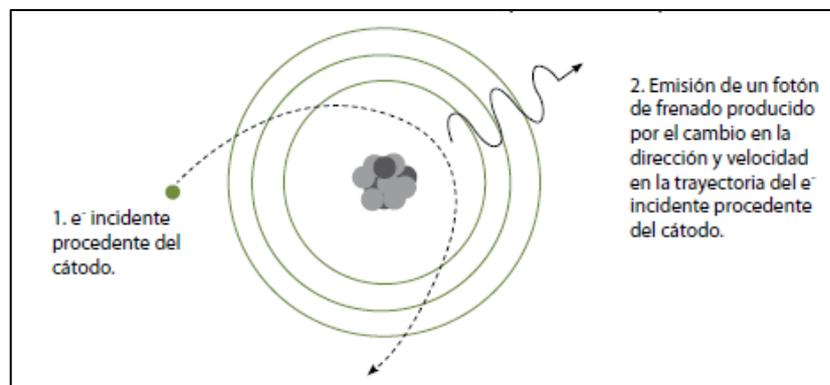


Figura 2-2: Emisión de fotones de Rayos X de frenado

Fuente: (Sociedad Española de Física Médica, 2012)

La radiación de frenado presenta un espectro continuo que va desde valores entre 0 y la energía cinética máxima que transporta el electrón al producirse la colisión. Dentro del campo diagnóstico casi todos los RX están originados por frenado, excepto en mamografía (Baños, 2003, p. 26).

2.1.3.2 Radiación característica

Se produce cuando un electrón proyectil con suficiente energía, interacciona violentamente con un electrón de la capa interna o intermedia del átomo del blanco, el cual es capaz de ionizarlo; el electrón ionizado de la capa interna sale dejando un hueco en su orbital, el cual es ocupado por un electrón de una capa externa, emitiendo un fotón de RX de energía igual a la diferencia de

energía de enlace de los electrones orbitales; cómo se puede observar en la Figura 4-2 (Sociedad Española de Física Médica, 2012, p. 45).

Lleva el nombre de radiación característica ya que es propia del elemento del blanco; presenta un espectro discreto a saltos, que corresponde a la diferencia energética entre las distintas capas involucradas. Dentro del campo diagnóstico se aplica en técnicas radiográficas como mamografía (Baños, 2003, p. 27).

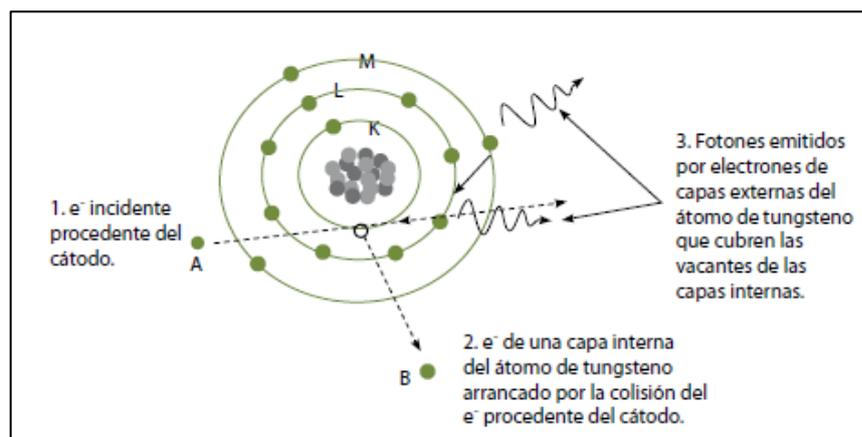


Figura 3-2: Emisión de un fotón de rayos X característico

Fuente: (Sociedad Española de Física Médica, 2012)

2.1.4 Interacción de los Rayos X con la materia

Los RX tienen la suficiente energía capaz de ionizar el medio que atraviesa al interactuar con la materia, además tienen la característica de un camino libre medio recorrido, por lo que antes de que interactúe con la materia, parte de estos son absorbidos y transmitidos (Sociedad Española de Física Médica, 2012, pp. 29,61).

Sus interacciones son propias; y, su probabilidad de ocurrencia depende de su energía y características del medio dispersor. Por ende, interactúan de modos muy diversos con la materia, en un intervalo de energía entre aproximadamente 0,1 keV y 1 GeV (Núñez, 2016, p. 12).

En radiodiagnóstico existen dos diferentes procesos de transferencia de energía, mediante los cuales los fotones con suficiente energía expulsan electrones de un átomo, que luego pueden interactuar con otros átomos o moléculas. Estas son el efecto fotoeléctrico y dispersión Compton.

2.1.4.1 Efecto fotoeléctrico

Es la interacción más importante de los fotones con la materia, que se produce con energías bajas menores a 200 keV. En la Figura 5-2, se puede observar que un fotón incidente con energía cuántica E (ecuación 1) y momento lineal p (ecuación 2), interactúa con un electrón de la capa interna del átomo que está estrechamente enlazado con una energía de enlace E_b ; el fotón se absorbe totalmente en la interacción y deja de existir, transfiriendo toda su energía cinética T (ecuación 3) al electrón, el cual se separa y sale de la capa interna en un ángulo θ respecto a la dirección de incidencia del fotón y con T (ecuación 4). Debido a que, el fotón es absorbido no se proporciona fotones dispersos para conservar p ; el resto del átomo sale con un ángulo ϕ a una dirección de poca importancia y con una T prácticamente de cero, ya que su energía cinética es insignificante. Cuando se elimina un electrón de la capa atómica interna, la vacante o hueco que deja es rápidamente ocupado por otro electrón de la capa superior menos unida, produciendo la emisión de RX; lo mismo ocurre en el efecto Compton. Para que se produzca el efecto fotoeléctrico siempre $h\nu > E_b$ (Attix, 1986, pp. 138-146).

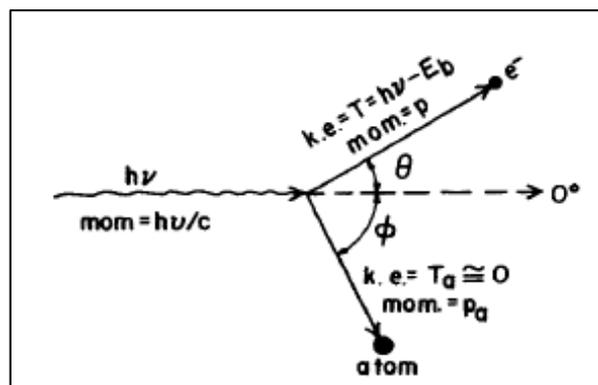


Figura 4-2: Efecto fotoeléctrico

Fuente: (Attix, 1986)

$$E = h\nu \tag{1}$$

$$p = h\nu/c \quad (2)$$

$$T = k.e \quad (3)$$

$$T = h\nu - E_b \quad (4)$$

2.1.4.2 Dispersión incoherente o efecto Compton

El efecto Compton es posible con fotones de energía intermedia. En la Figura 6-2, se puede observar que un fotón incidente con E y p (ecuación 1 y 2), interacciona con un electrón de las capas externas del átomo que se encuentra débilmente ligado; las partículas colisionan, cediendo el fotón parte de su energía al electrón, el cual se separa de la interacción y se desprende con p y T , a un ángulo θ respecto a la dirección del fotón incidente (ecuación 2 y 3). Por lo contrario, el fotón disperso sale con un ángulo ϕ en el mismo plano de dispersión pero opuesto a la dirección original, con una E' y p' (ecuación 5 y 6) menor a la energía del fotón incidente; T y p se conservan (Attix, 1986, pp. 125 , 126).

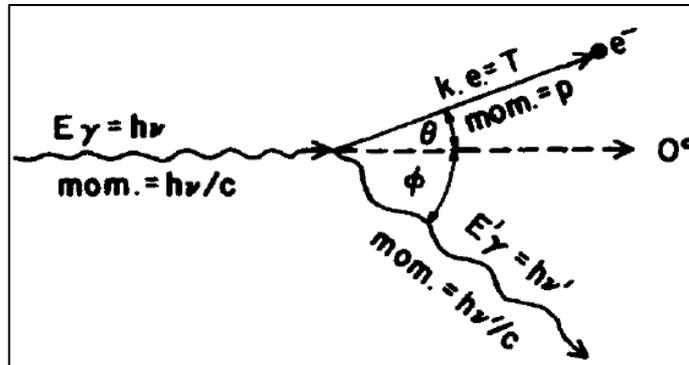


Figura 5-2: Efecto Compton

Fuente: (Attix, 1986)

$$E' = h\nu' \quad (5)$$

$$p' = h\nu'/c \quad (6)$$

2.1.5 Atenuación de los Rayos X

Los RX son haces de fotones sin carga, capaces de pasar directamente a través de una barrera de espesor de un material sin perder energía o, chocar e interactuar con los átomos del material y perder parte de su energía cinética (Tucci, 2012, p. 33).

En la Figura 7-2, se observa que un haz de fotones incidentes monoenergéticos N_0 , interaccionan perpendicularmente sobre una barrera delgada de espesor L , en la cual N_0 individualmente pueden atravesar la barrera sin interactuar o, pueden ser absorbidos o dispersados; el detector recibe solo el número de fotones N_L , luego de atravesar el espesor de la barrera del material (IAEA, 2014, p. 24) (Attix, 1986, p. 38).

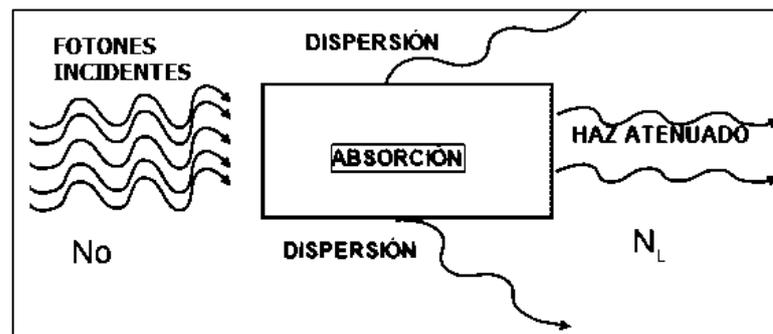


Figura 6-2: Atenuación de fotones

Fuente: (Yanchapanta, 2013)

La atenuación de los RX en un material sigue la ley exponencial, la cual es:

$$N_L = N_0 e^{-uL} \quad (7)$$

Donde, u es coeficiente de atenuación lineal del material, su unidad está dada en cm^{-1} , y expresa la habilidad de un material para atenuar fotones, la cual depende de la energía del fotón y el número atómico (Z) del material. Los materiales con baja u dejan pasar más RX a través de ellos (Ramírez, et al., 2008, p. 16).

2.1.6 Tipos de haces de radiación

En la Figura 8-2, se puede observar los diferentes tipos de radiación (primaria y secundaria) emitidos por los equipos generadores de RX, al realizar técnicas de radiodiagnóstico médico.

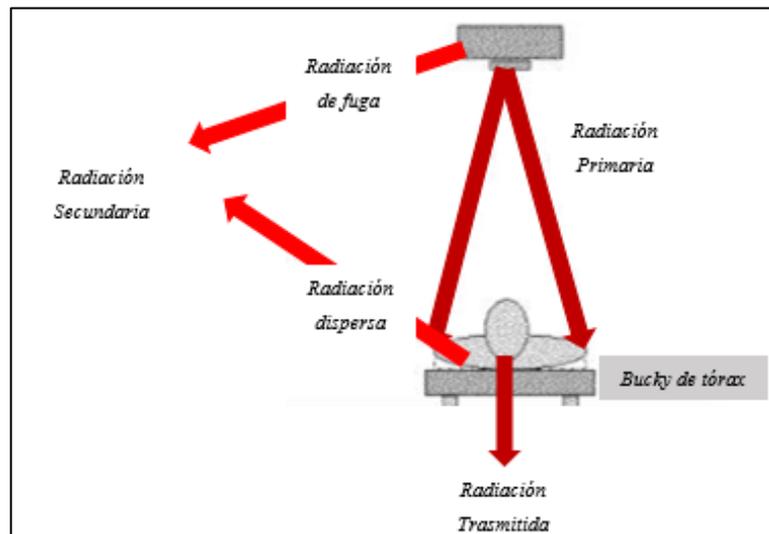


Figura 7-2: Tipos de haces de radiación: primaria, secundaria y transmitida

Fuente: (NCRP, 2004)

La radiación primaria o haz útil es la radiación emitida directamente desde el tubo de RX, con una distribución de intensidad uniforme, que al interactuar con los tejidos del paciente sufre una serie de modificaciones, esto se refiere a que una parte es absorbida por el paciente por efecto fotoeléctrico, otra es dispersada en todas direcciones por dispersión Compton y, la última parte atraviesa el paciente dando lugar a la imagen radiográfica y a radiación transmitida cuando ciertos fotones atraviesan el chasis y el detector. Los RX primarios al interactuar con el paciente, lo convierte en un emisor de radiación en todas direcciones, lo mismo ocurre cuando choca con cualquier otro material (NCRP, 2004, p. 9) (Sociedad Española de Física Médica, 2012, p. 60).

La radiación secundaria consiste en RX dispersos del paciente, radiación transmitida y radiación de fuga de la carcasa protectora del tubo, dirigido a todas direcciones (NCRP, 2004, p. 9). La radiación dispersa, es aquella radiación formada por fotones que al atravesar el haz útil en la materia se desvían y dejan de formar parte de la radiación primaria, la cual se dispersan en todas direcciones, dependiendo del tamaño del campo de RX, la energía del haz primario, la masa

corporal de la persona o el número atómico efectivo del medio de dispersión y, el ángulo que forman el haz útil entrante y la dirección de dispersión (Cherry, s.f., p. 21).

La exposición por radiación primaria y secundaria va a depender de la cantidad de radiación producida por la fuente generadora, la distancia entre la persona expuesta y la fuente de RX, y la cantidad de tiempo que una persona pasa en el área de irradiación o en una sala colindantes, de igual forma por el blindaje entre el individuo y la fuente de RX (NCRP, 2004, p. 9).

2.2 Fuentes generadoras de Rayos X utilizadas en radiodiagnóstico

Una fuente es una entidad física que da lugar a dosis de radiación (ICRP, 2007, p. 72), tenemos fuentes generadoras y fuentes emisoras. Los equipos de radiodiagnóstico son fuentes generadoras que producen exposición externa., las cuales requieren de la manipulación del operador para generar RX.

Los RX después de su descubrimiento se empezaron a utilizar en fines diagnósticos, siendo el radiodiagnóstico su primera aplicación. Este es el conjunto de técnicas que utilizan RX para obtener imágenes internas del cuerpo humano; un paciente al ser irradiado recibe una dosis que va a depender de factores como: el tipo de estudio y las características del paciente (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012, pp. 14, 22).

En la actualidad, se tiene equipos convencionales de RX que permiten obtener proyecciones simples; equipos telecomandados, con los cuales se obtiene imágenes dinámicas; de tipo Arco en C utilizados en exámenes intervencionistas, cuyas imágenes sirven como guía para las cirugías entre otros; equipos de mamografía, para la obtención de imágenes de la mama; equipos de TC, que reconstruye imágenes con planos axiales, coronales, sagitales y 3D; equipos portátiles, que son móviles con la misma función de los equipos convencionales; y, equipos dentales para la obtención de imágenes dentales (Sociedad Española de Física Médica, 2012, pp. 28-29). Para esta investigación se utilizó los equipos convencionales de RX y TC, ya que utilizan factores con mayores kVp y mAs , aumentando la dosis con respecto a los otros equipos anteriormente mencionados y además porque estudios muestran el incremento en el uso de estos exámenes.

Todos los equipos de radiodiagnóstico contienen un tubo de RX, envuelta en una ampolla de vidrio pyrex al vacío, que se halla dentro de una carcasa protectora fabricada con plomo, la cual permite reducir la radiación de fuga. Como se puede observar en la Figura 9-2, el ánodo y cátodo son sus principales componentes (Sociedad Española de Física Médica, 2012, pp. 31-32).

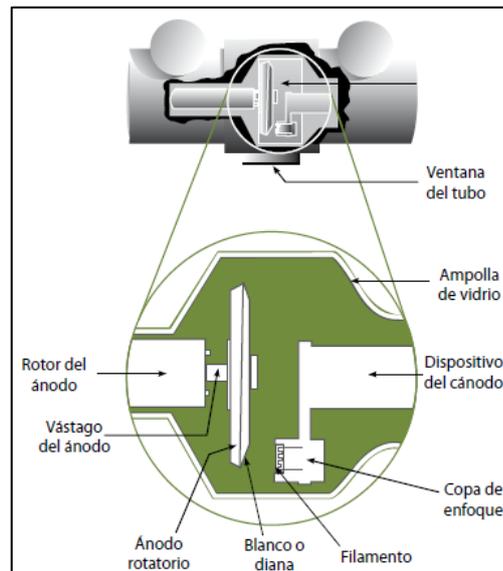


Figura 8-2: Elementos que forman parte del tubo de rayos X

Fuente: (Sociedad Española de Física Médica, 2012)

El cátodo es la parte negativa del tubo de RX; formado por un filamento metálico en forma de espiral, que se encuentra dentro de un pequeño recipiente metálico conocido como copa de enfoque. Por otra parte, el ánodo se encuentra frente al cátodo y es la parte positiva del tubo; formado por un blanco o diana que es un metal pesado de aleación de tungsteno cubierto por cobre, lugar donde los electrones desprendidos del filamento chocan; Existe dos tipos de ánodos como un rotatorio y un estacionario, en general el que más se utiliza es el rotatorio ya que produce haces de RX de alta intensidad y en un tiempo corto (Sociedad Española de Física Médica, 2012, pp. 32-34,37).

2.2.1 *Equipo convencional de RX*

Los equipos convencionales o fijos de RX, son empleados para la radiología general que es una técnica que permite obtener imágenes estáticas de las extremidades, tórax, cráneo, columna,

abdomen y diferentes partes del cuerpo humano (Sociedad Española de Física Médica, 2012, p. 117). Esta técnica consiste básicamente en exponer al paciente a un campo exterior de RX; los haces de fotones son absorbidos y transmitidos por el cuerpo humano, que al incidir sobre una placa o una cámara digital dan lugar a la formación de una imagen en escala de grises. Cuando la imagen es blanca significa que hubo más absorción en el cuerpo humano, pudiendo distinguir principalmente los huesos a diferencia de otros tejidos (Torres, 2019, p. 87).

Estos equipos tienen la capacidad de producir tensiones muy diferentes de 50 *kVp* a 150 *kVp* y con tiempos cortos de exposición, lo cual evitan la borrosidad cinética de órganos en movimiento; permitiendo obtener imágenes de óptima estructura atómica interna, nítidas y, con una resolución y contraste elevados. De igual forma el diagnóstico por imagen es económico y accesible en comparación con las otras técnicas.

Además, tienen una fuente de alimentación eléctrica convencional conocida como generador, que cumple con la función de proteger y no dañar el tubo de RX, al impedir que no exista secuencias de los parámetros técnicos (*kVp*, *mAs*, *mA*, *tiempo*), y así se suministren de manera correcta por el operador (Sociedad Española de Física Médica, 2012, p. 118).

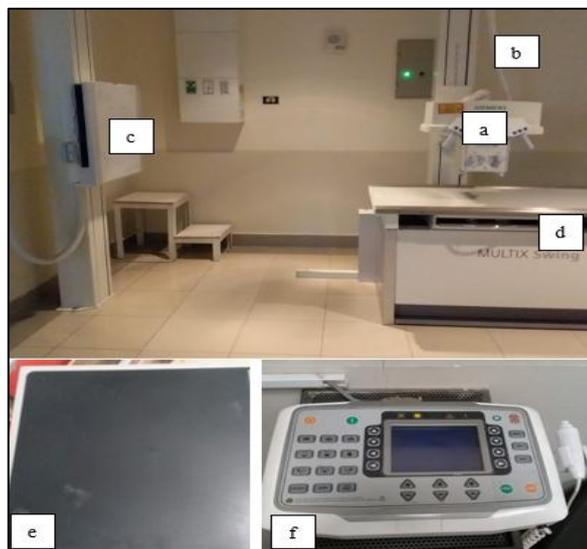


Figura 9-2: Elementos que forman partes de un equipo convencional de RX: (a)Tubo de RX, (b) Columna móvil, (c) Bucky de pared, (d) mesa radiográfica. (e) Chasis, (f) consola de control

Realizado por: Chisag E, 2019

En la Figura 10-2, se observa que los equipos convencionales o fijos de RX, constan básicamente de: tubo, columna móvil, bucky de pared, mesa radiográfica y dentro de ella el bucky de mesa, receptor de imagen y la consola o mesa de comando.

- a) Tubo de RX: se encuentra unida a la columna móvil, que le permite moverse en dirección x, y, z; recibe la energía del generador a través de cables de alta tensión, dando lugar a la generación y emisión los RX.
- b) Columna móvil: se utiliza como soporte del tubo de RX y puede moverse en dirección horizontal según los parámetros del examen a realizar.
- c) Bucky mural: es un contenedor de chasis. Puede ser fija o móvil, con desplazamiento vertical, y el cual se utiliza para examinar pacientes en pie como exámenes de tórax, columna entre otros.
- d) Mesa radiográfica: es el lugar donde se ubica al paciente, está fabricada por fibra de carbono y puede ser fija o móvil. Debajo de ella se encuentra el bucky de mesa que contiene rejillas de plomo, que permiten transmitir solo los rayos propagados en línea recta.
- e) Chasis: es un tipo de receptor de imagen.
- f) Consola de control o mesa de comando: es aquella donde se tiene acceso a los parámetros técnicos que el operador puede modificar con el interés de obtener una buena radiografía y está ubicada detrás del blindaje, que protege al operador de los RX secundarios (Sociedad Española de Física Médica, 2012, p. 30).

2.2.2 *Tomógrafo Computarizado*

El Tomógrafo Computarizado, fue creado y utilizado en la medicina a partir del año de 1971, siendo actualmente el equipo de mayor avance en radiodiagnóstico desde el descubrimiento de los RX (Sociedad Española de Física Médica, 2012, p. 140). Es usado en el diagnóstico, para evaluar lesiones de cabeza, traumatismo espinal, pélvico o abdominal y para caracterizar enfermedades pulmonares; y, además en estudios de seguimiento de los pacientes para la estadificación y planificación del tratamiento de tumores sólidos (IAEA, 2014, p. 257)(Rehani & Berry, 2000, p. 594).

Consiste en hacer girar un tubo y una fila de detectores, alrededor del paciente. A medida que atraviesa el sistema, un haz de RX gira continuamente y pasa a través del cuerpo, estos son recogidos por filas de detectores, quienes almacenan la información y posteriormente son analizados por un ordenador; produciendo imágenes de secciones transversales o cortes del cuerpo. Además, el uso de un gran número de detectores permite una adquisición aún más rápida (Martin, et al., 2019, p. 174).

El Tomógrafo Computarizado utiliza grandes dosis de RX, permitiendo una resolución de alto contraste y una dosis relativamente grande para el paciente. La dosis recibida por el paciente, depende del tipo y extensión del examen, las más típicas están ente 1 y 10 *mSv*, que en comparación con el equipo de RX convencional resultan mayores en un factor 10 dependiendo del estudio (Martin, et al., 2019, p. 174) (IAEA, 2014, p. 257) (Torres, 2019, p. 88).

En la Figura 11-2, se visualiza los elementos típicos de un tomógrafo computarizo, los cuales son: gantry, mesa de exploración, ordenador y una consola de control.

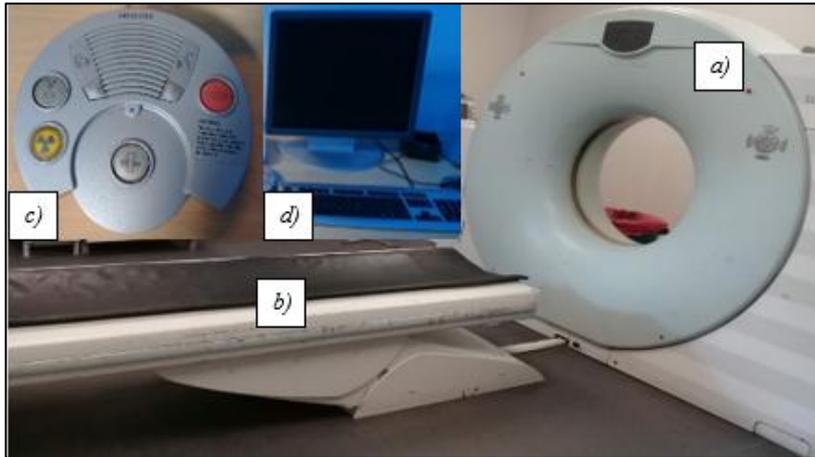


Figura 10-2: Elementos externos que forman parte de un Tomógrafo Computarizado: (a) Gantry, (b) Mesa de exploración, (c) Consola de control, (d) operador.

Realizado por: Chisag E, 2019

- a) Gantry: contiene todos los componentes necesarios para registrar los perfiles de transmisión del paciente. Estos son: el tubo de RX con el generador de alto voltaje y sistema de enfriamiento, el colimador, los filtros de conformación del haz, el arco del detector y el sistema de adquisición de datos. Dado que los perfiles de transmisión se registran en diferentes ángulos, estos componentes están montados en un soporte dentro del gantry, el cual gira. Además, tiene un orificio central permitiendo el ingreso de la mesa de exploración (IAEA, 2014, p. 262).
- b) Mesa de exploración: está elaborada con fibra de carbono y mediante un motor se la puede mover, logrando una posición exacta para la realización del examen.
- c) Ordenador: es una computadora con gran capacidad que permite procesar aproximadamente 30.000 ecuaciones matemáticas, lo cual reconstruye la imagen.
- d) Consola de control: permite al operador realizar actividades como el movimiento de la mesa, iniciar y detener la exposición, tener comunicación con el paciente entre otros.

2.3 Magnitudes empleadas en protección radiológica

Una magnitud física es un valor asociado a una propiedad o cualidad medible de un sistema físico. Estas son generales, necesarias, accesibles a la medida y al cálculo; el nombre de la magnitud debe ser suficientemente específico, de tal forma de que no haya duda acerca de su naturaleza (Sociedad Española de Física Médica, 2011, p. 82). En protección radiológica se utilizan unidades pequeñas, que en caso de las magnitudes radiológicas son empleados los submúltiplos (*mili-m* y *micro-μ*) (Martin, et al., 2019, p. 20).

La Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación en sus siglas en inglés ICRU (International Commission on Radiation Units), fue creada en el primer congreso internacional de radiología, cuyo fin fue proponer magnitudes y unidades para la RI que permitan evaluar adecuadamente la exposición (Arias, 2006, p. 189).

El Roentgen (*R*), fue la primera unidad utilizada para detectar radiación en el aire, pero debido a sus limitaciones aparecieron dos nuevas unidades el rad y el rem. Estas fueron reemplazadas en el SI por el *Gy* y *Sv*, las cuales fueron aprobadas por la ICRU y utilizadas por la ICRP en el ámbito de protección radiológica; aun así, existen países que utilizan las unidades antiguas (Martin, et al., 2019, p. 18).

Las magnitudes empleadas en protección radiológica sirven para medir la energía depositada en órganos y tejidos del cuerpo humano durante una exposición. Estas se clasifican en magnitudes dosimétricas y magnitudes de protección radiológica o radioprotección (ICRP, 2007, p. 55).

2.3.1 Magnitudes dosimétricas

Estas magnitudes y unidades fueron definidas en el año 2011, por la ICRU en su reporte 85 (Ubeda, et al., 2018, p. 06). Se llaman magnitudes dosimétricas debido a que la radiación interacciona con la materia en un conjunto de procesos, es decir la energía que transporta el campo de radiación se deposita en la materia y se convierte en dosis absorbida.

2.3.1.1 Dosis absorbida

La dosis absorbida (D), es una magnitud física básica de dosis, medible y utilizada para todos los tipos de RI. Se define como la cantidad de energía absorbida por unidad de masa de un material, cuya unidad viene dada en Jkg^{-1} o Gy (ICRP, 2007, p. 56). Su ecuación está dada por:

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (8)$$

Donde, $d\bar{\epsilon}$ es la energía media impartida por la RI y dm la masa de un material.

2.3.1.2 Tasa de dosis absorbida

La tasa de dosis absorbida (\dot{D}), se define como la variación de la dosis absorbida dD en un intervalo de tiempo dt , por ende su unidad es el $Jkg^{-1}s^{-1}$ o Gys^{-1} (Ubeda, et al., 2018, p. 6). Su ecuación está dada por:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (9)$$

2.3.2 Magnitudes de protección radiológica

La dosis equivalente y efectiva son magnitudes de protección radiológica, las cuales se basan en la medición de la energía depositada en órganos y tejidos del cuerpo humano. Son utilizados para especificar los límites de exposición e indicadores del daño potencial, producido por una exposición; y garantizar que la incidencia de los efectos estocásticos, se mantengan por debajo de niveles inaceptables, evitando así reacciones tisulares (ICRP, 2007, pp. 55,57).

2.3.2.1 Dosis absorbida promedio en órganos y tejidos

Se representa con las letras $D_{T,R}$ y es el promedio de las dosis sobre los volúmenes de un órgano o tejido T , debido a la radiación de tipo R (ICRP, 2007, p. 57). Se define como el cociente entre el promedio de la energía impartida $d\bar{\epsilon}$ en cierta masa de órgano o tejido m_T , y su unidad es Jkg^{-1} o Gy (Ubeda, et al., 2018, p. 6). Su ecuación está dada por:

$$D_{T,R} = \frac{d\bar{\epsilon}}{m_T} \quad (10)$$

2.3.2.2 Dosis equivalente

La dosis equivalente (H_T), se define como la multiplicación de $D_{T,R}$ por el factor de ponderación de la radiación (w_R), como lo representa la ecuación 11; la suma se realiza para todos los tipos de radiación que estén incluidos durante la exposición (Martin, et al., 2019, p. 19) (ICRP, 2007, p. 57). Para los RX el valor de w_R es uno, por lo tanto la dosis absorbida y la dosis equivalentes son iguales (National Research Council, 2006). La H_T permite tener en cuenta la intensidad del tipo de radiación por el cual se produce efectos sobre la salud y su unidad es el Jkg^{-1} o Sv (OIEA, 1997, p. 6).

$$H_T = \sum_R D_{T,R} \cdot w_R \quad (11)$$

2.3.2.3 Dosis efectiva

La dosis efectiva (E), es la suma ponderada de las dosis equivalentes a los tejidos, teniendo en cuenta la radiosensibilidad de cada tejido. Es decir, la multiplicación de H_T por el factor de ponderación para el tejido (w_T), como se visualiza en la ecuación 12; la suma se realiza cuando existe más de un órgano o tejido sensible del cuerpo humano involucrado. La w_T para todo el cuerpo es 1 (ICRP, 2007, pp. 60-61).

$$E = \sum_T H_T \cdot w_T \quad (12)$$

Esta magnitud se utiliza para la limitación de exposición del POE y miembros de público y su unidad es el Jkg^{-1} o Sv (NCRP, 2004, p. 2).

2.4 Medidas fundamentales de protección radiológica

2.4.1 Normas básicas de protección radiológica

Las radiaciones externas son peligrosas, ya que pueden penetrar los órganos sensibles de cuerpo. Por tal motivo, para controlar el peligro externo de los RX, se requiere aplicar tres normas básicas de protección radiológica como son: distancia, tiempo y blindaje.

2.4.1.1 Distancia

La distancia debe ser la máxima posible respecto al tubo de RX. Dado que, \dot{D} está directamente relacionada con el flujo, ésta en un punto disminuye con relación a la ley el inverso al cuadrado de la distancia, como se puede obedecer en la ecuación 13, misma que solo es posible para una fuente puntual y un detector puntual (Martín, et al., 2019, p. 62).

Es decir, que basta mantener una distancia máxima posible respecto al tubo de RX para que los niveles de tasa de dosis disminuyan a valores aceptables.

$$\dot{D}_1 r_1^2 = \dot{D}_2 r_2^2 \quad (13)$$

Donde, D_1 es la tasa de dosis a una distancia r_1 de la fuente y D_2 es la tasa de dosis a una distancia r_2 de la fuente.

2.4.1.2 Tiempo

La dosis acumulada por el POE en un área con una \dot{D} particular es directamente proporcional a la cantidad de tiempo que pasa en el área, como se visualiza en la ecuación 14. Por lo tanto, la dosis se puede controlar limitando el tiempo que pasa la persona en el área, esto significa que a menor tiempo menos dosis (Martin, et al., 2019, p. 61).

$$Dosis = \dot{D} * tiempo \quad (14)$$

2.4.1.3 Blindaje

Esto se refiere a introducir algún material de protección entre el trabajador y la fuente de radiación, el cual permite disminuir la exposición del POE y miembros de público, haciendo que las condiciones de trabajo sean seguras, a diferencia de la distancia o el tiempo de exposición que requieren de un control administrativo continuo sobre el POE. Los RX se atenúan exponencialmente cuando pasan a través de cualquier material mediante la ecuación 7 (Martin, et al., 2019, p. 64).

Los equipos de RX de uso médico requieren de dos blindajes, uno de ellos es el blindaje de la carcasa protectora de la fuente, la cual debe estar a un valor máximo permitido de 100 mR/h de exposición; y, el otro es el blindaje estructural de la instalación, la cual proporciona seguridad contra las radiaciones primarias y secundarias generadas por los equipos. La cantidad del material de protección para el diseño estructural va a depender del tiempo que las personas están expuestas, del tipo de RI y de la \dot{D} aceptable fuera del material de protección (Martin, et al., 2019, p. 64) (Cherry, s.f., p. 21).

2.4.2 Principios de protección radiológica

Existen tres principios de protección radiológica, los cuales son: justificación, optimización y aplicación de límites dosis.

2.4.2.1 Justificación

Se refiere a la decisión que se debe tomar antes de realizar una práctica, la cual debe producir un beneficio que compensa el detrimento que causará dicha decisión (ICRP, 2007, p. 77). Es decir: *“No debería ser autorizada ninguna práctica a no ser que ésta produzca a los individuos expuestos o a la sociedad un beneficio suficiente para compensar los daños por radiación que pudiera causar, teniendo en cuenta los factores sociales y económicos, así como otros factores pertinentes”* (OIEA, 1997, p. 22).

2.4.2.2 Optimización de la protección

Se define como el nivel de protección, maximizando el beneficio en relación al daño, el cual se orienta a prevenir o reducir exposiciones en el futuro (ICRP, 2007, p. 80). También se le conoce como principio ALARA, que cuando se aplica a la exposición del POE y miembros de público se refiere a la seguridad, lo que significa que la probabilidad y magnitud de las exposiciones, y el número de personas expuestas debe ser tan baja como razonablemente sea posible, teniendo en cuenta factores económicos, sociales y ambientales (OIEA, 2016, p. 7).

Este es un requisito reglamentario e importante, para la implementación de medidas de protección radiológica en el lugar de trabajo, siendo considerado en el diseño de los equipos e instalaciones (IAEA, 2018, pp. 28-29).

2.4.2.3 Aplicación de límites de dosis

Se refiere a los límites de dosis reglamentados por la Autoridad Reguladora, los cuales se basan en las recomendaciones de la publicación 103 del ICRP. Estos no incluyen la dosis por radiación natural ni con fines médicos, y representan el nivel por encima del cual el riesgo de efectos estocásticos se considera inaceptable, de manera que proporcionan un nivel apropiado de radioprotección a trabajadores médicos y técnicos expuestos en el ambiente laboral, y a miembros de público (IAEA, 2018, p. 8) (OIEA, 1997, p. 101).

La ICRP, considera que los límites de dosis efectiva para el POE es 20 *mSv* por año, promediada en periodos definidos de 5 años y con la condición de que no se exceda 50 *mSv* en cualquier año; y para los miembros de público es 1 *mSv* en un año. Estos valores son distintos ya que el riesgo-beneficio es diferente.

2.4.3 Categorías de exposición

La realización de las prácticas tiene como resultado distintas exposiciones como: ocupacional, médicas y del público.

2.4.3.1 Exposición ocupacional

Se define como toda exposición por RI de las personas como resultado de su trabajo. Este tipo de exposición debe ser controlada de forma que no se excedan los límites (IAEA, 2018, pp. 1,33).

Un trabajador es toda aquella persona empleada, ya sea a tiempo completo o parcial, a quien se le ha reconocido derechos y deberes respecto a la protección radiológica ocupacional. Se les conoce como POE, los cuales deben tener el conocimiento de protección y seguridad radiológica (OIEA, 1997, p. 38).

El POE que trabaja en salas de RX y TC se encuentra en la categoría B como los radiólogos, tecnólogos y técnicos especialistas, los cuales deben situarse detrás de una barrera de seguridad, de tal manera que estén siempre protegidos (Sociedad Española de Física Médica, 2016, p. 200). En el Ecuador para que una persona pueda operar equipos generadores de RX, los trabajadores deben aportar una licencia de trabajo concedida por la SCAN (SCAN, s.f., p. 5).

La protección y seguridad radiológica de los trabajadores expuestos es responsabilidad de la persona encargada de la institución, la cual debe velar para que toda exposición ocupacional sea vigilada adecuadamente, haciendo cumplir las normas de protección radiológica, de la misma forma facilitando medios, equipos de protección y servicios de vigilancia y atención a la salud con el fin de optimizar y limitar las exposiciones ocupacionales (OIEA, 1997, pp. 35,41).

2.4.3.2 Exposición médica de pacientes

Se define como toda exposición de una persona, dada por prácticas radiológicas, terapéuticas, la cual es intencional y de beneficio para el paciente; no requieren de límites ni restricciones de dosis ya que podría reducir la eficacia del diagnóstico o tratamiento, provocando más perjuicio que beneficio (ICRP, 2007, p. 73).

2.4.3.3 Exposición de los miembros de público

Se define como toda exposición de un individuo, donde su irradiación no es ocupacional ni médica de pacientes y, se produce como resultado de las fuentes naturales y artificiales, donde cada una de esta dará lugar a una distribución de dosis sobre los mismos (ICRP, 2007, p. 75). En las instalaciones de RX, la exposición de los miembros de público se debe al encontrarse cerca de las áreas controladas y no controladas (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012, pp. 35-36).

La exposición del feto en trabajadoras embarazadas se considera como exposiciones del público (ICRP, 2007, p. 73)

2.4.4 Clasificación y señalización de áreas

Las áreas de una instalación se clasifican en:

- a) Área controlada: es un área de acceso limitado, como las salas de procedimientos donde está el equipo generador de RX y la cabina de control o sala de comando donde se encuentra el POE (NCRP, 2004, pp. 2-4). Este tipo de área requiere medidas de protección y seguridad radiológica para controlar las exposiciones de RI al POE, por lo cual se debe limitar por medios físicos como el símbolo de advertencia e instrucciones en los puntos de acceso (OIEA, 1997, p. 40).

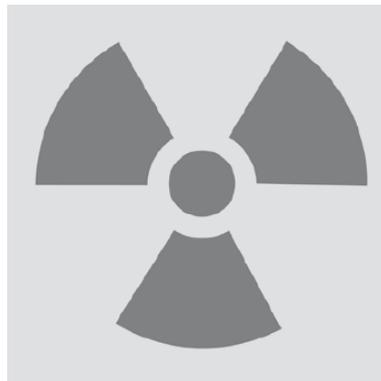


Figura 11-2: Símbolo de radiación ionizante

Fuente: (Martin, et al., 2019)

La señalización es una advertencia que se ubica en la entrada de un área controlada para indicar a las personas o trabajadores la presencia de RI. Como se puede observar en la Figura 12-2, el símbolo internacional de radiación consiste en 3 hojas en forma de trébol. Además de la simbología, al POE se le debe proporcionar en los puntos de entrada, el equipo de protección y vigilancia radiológica, y un lugar donde pueda colocar sus accesorios personales (OIEA, 1997, p. 40).

- b) Área no controlada: es toda área que no haya sido definida como área controlada, es decir son las áreas adyacentes, que no forman parte de la instalación de la fuente de RI (NCRP, 2004, pp. 3,5).

2.4.5 Seguridad de una instalación médica de radiodiagnóstico

Una instalación de irradiación médica es un área utilizada para realizar prácticas médicas como radiodiagnóstico, las cuales requieren de normas y recomendaciones a seguir para que la intensidad de los RX reduzca y se encuentre dentro de los niveles aceptables. Esto permite generar un lugar seguro de trabajo para el POE y miembros de público que se encuentran en las áreas adyacentes (OIEA, 2016, p. 417).

2.4.5.1 Recomendaciones del reporte No. 147 del NCRP: Diseño de blindaje estructural para instalaciones médicas de imágenes de Rayos X.

Las recomendaciones del NCRP No. 147 respecto al diseño del blindaje contra las RI, tiene como objetivo limitar la irradiación del POE y miembros de público, en la cual recomienda una tasa de dosis equivalente máxima permisible (P) para áreas controladas y otra para áreas no controladas, cuyos valores se expresan en semanas. Estos valores no deben superar los niveles de restricción de dosis recomendados por la misma entidad, los cuales son: POE es 5 mSv/año y miembros de público es 1 mSv/año (NCRP, 2004, pp. 3-5).

Por otra parte, en una instalación de radiografía se puede asumir una exposición rotacional, ya que el paciente podría estar expuesto en varias direcciones de las barreras del área. Cuando el haz primario va directamente hacia una barrera, se denomina barrera primaria y cuando la radiación dispersada en todas direcciones por el paciente al momento de la exposición choca con las otras barreras, se les conoce como barreras secundarias. En este tipo de instalación, la cabina de control no debe utilizarse como barrera primaria (NCRP, 2004, pp. 10-11).

Mientras que, en una instalación de TC solo la radiación secundaria choca con las barreras, esto se debe a que el haz de RX colimado es interceptado por el paciente y por la fila de detectores. Por lo tanto, esta instalación está formada solo por barreras secundarias y dado que el tomógrafo computarizado utiliza parámetros físicos altos, generan un potencial de gran cantidad de radiación secundaria, de tal forma que los pisos, paredes, y techos necesitan de recomendaciones especiales (NCRP, 2004, p. 14).

Los factores que se toman en cuenta para el diseño de las instalaciones de equipos de RX de uso médico son:

- Potencial máximo del tubo (kVp): es el kilovoltaje máximo con que funciona el equipo, el cual es una característica dada por fábrica (Cherry, s.f., p. 21).
- Corriente máxima (mA) con que funciona el sistema de RX: es el número de electrones que viajan del filamento hacia el ánodo y es una característica de fábrica.
- La tasa de dosis equivalente máxima permisible (P): es el valor máximo permitido del nivel de radiación dentro de una zona. En un área controlada se recomienda una tasa de dosis de 0.1 mSv/semana ; y en un área no controlada, se recomienda una tasa de dosis de 0.02 mSv/semana (NCRP, 2004, pp. 4-5).
- Tipo del material del blindaje: para los RX los materiales que se utilizan son aquellos que tienen alto Z, siendo el más utilizado el plomo. Los elementos que requieren de diseño de blindaje son: las paredes, puertas, ventanas, piso y techo, donde se encuentre el equipo. Para proteger las paredes de la sala de RX existen diferentes materiales como: plomo, bloque de concreto, ladrillos de arcilla y baldosa sólidos; las puertas y marcos, deben estar revestidos de plomo; las ventanas, deben ser de un material duradero y de transparencia óptica durante la vida útil de la instalación, el vidrio de plomo es recomendado para este tipo de instalación; los pisos y techos de hormigón, donde la atenuación de la radiación va a depender de su espesor, densidad y composición (NCRP, 2004, pp. 16-22).
- Carga de Trabajo (W): por lo general sus unidades vienen dadas en $\text{mA} * \text{min/semana}$, ya que el periodo de tiempo más común del equipo de radiografía general es una semana, como se puede observar en la Tabla 1-2 (NCRP, 2004, pp. 32, 40).

Tabla 1-2: Carga de trabajo recomendado por la NCRP 147 para los equipos de RX y TC

CARGA DE TRABAJO		
Equipo	Tipo de sala	W
Radiografía general	Sala de radiación (bucky tórax)	100 mA * min/semana
	Sala de radiación (piso u otras barreras)	320 mA * min/semana
Tomografía computarizada	Cabeza	40 procedimientos/semana
	Cuerpo	60 procedimientos/semana

Fuente: (NCRP, 2004)

Realizado por: Chisag E, 2019

- Factor de ocupación (T): es la fracción de tiempo que una persona al máximo está expuesta mientras la fuente de RX está encendida, como se puede observar en la Tabla 2-2. Es decir, es la fracción de las horas de trabajo en la semana promediada durante el año en que una persona ocupa el área (NCRP, 2004, pp. 39-41).

Tabla 2-2: Factor de ocupación recomendado por la NCRP 147

FACTOR DE OCUPACIÓN		
Ocupación	Local	T
Total	Oficinas administrativas, laboratorios, farmacias, áreas de recepcionistas, sala de espera atendida, área de juegos interiores para niños, salas de RX adyacentes, estaciones de enfermería, salas de control de RX y otras áreas de trabajo totalmente ocupadas por una persona.	1
	Salas utilizadas para exámenes y tratamientos de pacientes.	1/2
Fraccional	Pasillos, habitaciones de pacientes, sala de empleados, baños para el personal.	1/5
	Baños públicos, áreas de venta desatendidas, salas de almacenamiento, áreas al aire libre con asientos, salas de espera sin supervisión.	1/8
	Puertas de pasillo.	1/20
	Áreas al aire libre con tránsito vehicular, estacionamientos, áticos, escaleras, ascensores.	1/40

Fuente: NCRP, 2004

Realizado por: Chisag E, 2019

- El Factor de Uso (U): es la fracción de la carga de trabajo durante la cual el haz está dirigido en la dirección de interés. Este valor depende del tipo de instalación de radiación y de la barrera en cuestión, como se puede observar en la Tabla 3-2 (NCRP, 2004, pp. 40-41).

Tabla 3-2: Factor de Uso recomendado por la NCRP 147

FACTOR DE USO		
Instalación	Tipo de Barrera	U
Radiodiagnóstico	Receptor de imagen - Bucky tórax	1.00
	Barrera primaria Piso	0.89
	Pared de la mesa transversal	0.09
	Barrera secundaria Pared diferente al bucky tórax o mesa transversal	0.02

Fuente: (NCRP, 2004)

Realizado por: Chisag E, 2019

- La distancia (d): es la distancia entre la fuente hasta el área a proteger y de la barrera a la distancia más cercana de los órganos sensibles de una persona. Para una pared-barrera se asumen que una persona se encuentra a 0.3 m más allá de las paredes blindadas; para una fuente ubicado sobre espacios ocupados, se supone que los órganos sensibles no están a > 1.7 m por encima del piso de abajo; y para el techo, la distancia es de al menos 0.5 m por encima del piso (NCRP, 2004, p. 29).

En la Figura 13-2, se muestra una típica sala de RX y las diferentes distancias respecto a la radiación producida y las personas que se encuentran en las áreas. La d_F , es la distancia que va desde la fuente de RX hasta el receptor de imagen; d_P , es la distancia que va desde la fuente de RX hasta el área protegida 1; d_S , es la distancia que va desde el paciente hasta el área protegida 2; d_L , es la distancia que va desde la carcasa del tubo de RX al área protegida 2. La persona que se encuentra en el área 1 debe estar protegida del haz primario y la persona que se encuentre en el área 2 por la radiación dispersa y de fuga (NCRP, 2004, p. 42).

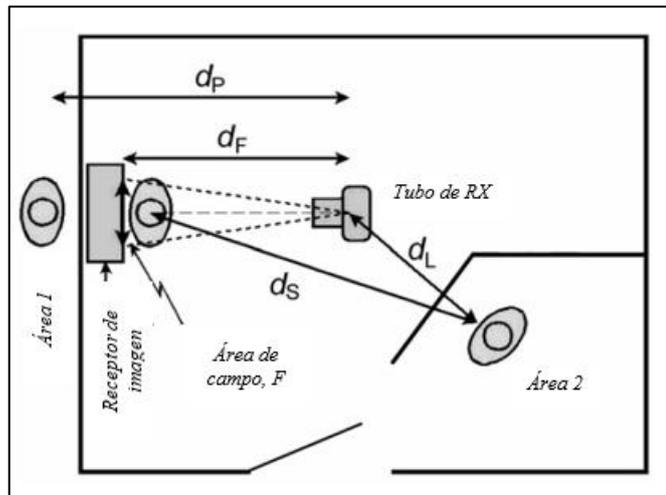


Figura 12-2: Tipos de distancias respecto a la radiación producida y las personas que se encuentran en las áreas adyacentes.

Fuente: (NCRP, 2004)

2.4.5.2 Protocolo de control de calidad en radiodiagnóstico – IAEA/ARCAL XLIX:
Levantamiento radiométrico en instalaciones de Rayos X y Tomografía Computarizada.

Un levantamiento radiométrico permite evaluar los niveles de exposición del POE y miembros de público. Los niveles de restricción de dosis propuestas por el ARCAL XLIX para un área controlada es $0,10 \text{ mSv/sem}$ ó 5 mSv/año y para un área libre o no controla es 0.01 mSv/sem o 0.5 mSv/año (IAEA/ARCAL XLIX, 2001, p. 11).

Para realizar un levantamiento radiométrico en las instalaciones de RX y TC se requiere de un detector de radiación y un fantoma. El fantoma es aquel objeto de cierto material que simula al cuerpo humano. Además, se requiere la elaboración de un croquis de la instalación y de sus áreas adyacentes; dentro del cual se debe identificar con números los elementos del equipo, puertas y ventanas que pertenecen a la instalación; se debe identificar el tipo y ocupación de las áreas adyacentes; y también, se debe identificar los puntos críticos con letras mayúsculas (IAEA/ARCAL XLIX, 2001, p. 9).

Un levantamiento radiométrico permite medir el haz primario, secundario y de fuga. Para medir la radiación secundaria de una sala de RX, se ubica el fantoma en el bucky mural o mesa, el tubo se debe de ubicar a distancias y factores más utilizadas (examen con mayor frecuencia). Mientras que, en el caso de la sala de TC, el fantoma se debe ubicar en el isocentro y el disparo se debe realizar con la tensión más alta del tubo y el espesor de corte más amplio. Al momento de la exposición, el detector se debe ubicar detrás de la barrera a 15 cm de distancia y de los datos obtenidos se debe registrar el mayor valor medido (IAEA/ARCAL XLIX, 2001, pp. 9,72).

Tabla 4-2: Carga de trabajo, factor de ocupación y uso recomendados por el ARCAL XLIX

CARGA DE TRABAJO				
Equipo	Número de pacientes/día	W (mA.min/sem)		
		100 kVp	125 kVp	150 kVp
Radiografía general	24	320	160	80
Radiografía de Tórax	60	160	80	-
TC	-	5000		
FACTOR DE OCUPACIÓN				
Ocupación	Local		T	
Integral	Consultorio, recepción, sala de comando		1	
Parcial	Espera, vestidor, Circulación interna		1/4	
Eventual	Circulación externa, baños, escaleras		1/16	
Esporádico	Jardines cercanos, casa de máquinas		1/32	
FACTOR DE USO				
Instalación	Tipo de Barrera		U	
Radiodiagnóstico	Piso		0.7	
	Barrera primaria		Pared (Bucky mural)	
	Barrera secundaria		1	

Fuente: ARCAL XLIX, 2001

El protocolo XLIX del ARCAL proporciona valores como: carga de trabajo, factor de ocupación y uso, los cuales son utilizados como datos orientativos para determinar la tasa de dosis efectiva. Estos valores se observan en la Tabla 4-2.

2.4.6 Vigilancia y Monitoreo radiológico del lugar de trabajo

El monitoreo es un proceso, que trata en realizar mediciones en relación con el control de la exposición a RI, la cual requiere de interpretación y valoración. Su objetivo es ayudar a demostrar una protección y seguridad adecuada. Esto significa que, permite evaluar la exposición del POE y miembros de público, además del cumplimiento de las normas y recomendaciones propuestas por las autoridades competentes; también para proporcionar información, permitiendo que el personal que labora comprenda como, cuando y donde probablemente podría estar expuestos, ayudando así a que la exposición se reduzca (IAEA, 2018, pp. 50-51).

La vigilancia radiológica se puede realizar de dos maneras: la dosimetría ambiental donde el monitoreo se realiza en distintos puestos de trabajo; y la dosimétrica que utiliza dosímetros personales, conocida también como dosimetría externa (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012, p. 34).

La dosimetría ambiental, es la medición de la tasa de dosis externa en el medio ambiente, la cual se realiza mediante la monitorización dentro y fuera de la instalación donde se origina la exposición. La monitorización del lugar de trabajo permitirá la evaluación de las condiciones radiológicas existentes en todos los lugares, así como también en las áreas controladas y no controladas (OIEA, 2016, p. 63).

2.5 Detectores de radiación ionizante

Un sistema de detección de radiación ionizante está constituido por dos partes un detector y la instrumentación electrónica asociada. Existen detectores por ionización como la cámara de ionización, contadores proporcionales, tubo Geiger Müller y los semiconductores, los cuales también son detectores gaseosos ya que contienen un gas en su interior; y, detectores por excitación los cuales se clasifican en inmediatos y retardados, los inmediatos son los de centelleo y los retardados son los de película fotografía, los termoluminiscentes y los de emisión fotoestimulada. Todos estos equipos pueden ser empleados en radioprotección (Secretaría Regional Ministerial de Salud, 2006, pp. 43-44).

Los monitores o detectores de radiación ambiental son utilizados en la dosimetría ambiental, permitiendo evaluar blindajes estructurales. Se encuentran calibrados en unidades de magnitud equivalente de dosis ambiental $H^*(d)$ o equivalente de dosis direccional $H^*(d, \Omega)$; en las áreas de trabajo los valores de tasa de equivalencia de dosis ambiental están en el rango de $\mu Sv/h - mSv/h$ (Sociedad Española de Física Médica, 2011, p. 313).

2.5.1 Detector Geiger Müller

El detector GM, fue el primer detector fabricado en 1908, el cual solo medía radiación alfa, hoy en día puede detectar todos los tipos de radiación como α , β y γ (González & Rabin, 2011, pp. 28-29).

Este es un detector gaseoso muy sencillo y sensible al paso de RI, tiene la forma de un cilindro sellado, el cual está constituido por una mezcla de gases a baja presión como 100 $mmHg$ de gas argón y 10 $mmHg$ de vapor de alcohol etílico. El argón aumenta la movilidad de los electrodos; y el vapor orgánico permite cortar la descarga, limitándola a una duración muy breve de milisegundos, permitiendo contar impulsos muy cercanos (Iturbe, 2001, p. 120).

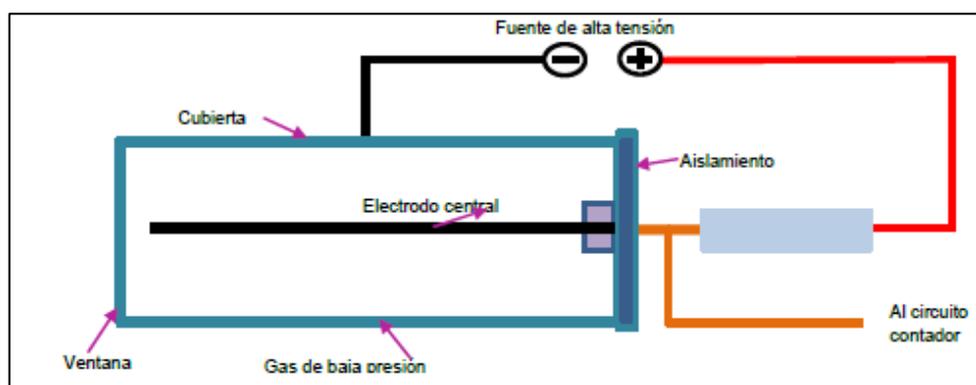


Figura 13-2: Partes físicas del detector Geiger Müller

Fuente: (Torres, 2019)

Está formado principalmente por: un hilo metálico en su centro, el cual funciona como ánodo; la cubierta metálica como cátodo; un aislamiento, el cual está conectado al circuito contador;

gases de baja presión; una cubierta y una ventana donde se expondrá la fuente a medir, como se puede observar en la Figura 14-2 (Torres, 2019, p. 77).

Su principio físico se basa cuando un fotón penetra en el interior del detector, este ioniza algún átomo de argón y arranca un electrón al átomo, produciendo un par de iones, en donde el electrón se mueve hacia el ánodo y los iones positivos hacia el cátodo; los electrones generan una avalancha en las proximidades del electrodo central, produciendo fotones ultravioletas secundarios, lo cual provoca una extensión de descarga a lo largo de toda la longitud del filamento del contador, que dan lugar a un pulso o señal eléctrica (Torres, 2019, p. 77) (Burcham, 2003, pp. 174-175).

2.6 Efectos biológicos producidos por las radiaciones ionizantes

Cualquier rastro de RI tiene el potencial de causar daño celular. Por lo que, toda persona expuesta tiene que estar consciente de la probabilidad de sufrir efectos en su salud, que en relación a la exposición a RX, la probabilidad es la más baja ya que este tipo de radiación presentan bajo LET (National Research Council, 2006, p. 3).

Cuando las RI interaccionan con la materia, transfirieren suficiente cantidad de energía, la cual depende del tipo y cantidad de radiación, tiempo de exposición y el lugar donde la persona recibe la exposición (Arias, 2006, p. 189). Esta permite ionizar el átomo y arrancar un electrón de sus orbitas, en la cual la célula puede pasar por varias posibilidades como: se muere sin que se note su perdida; se debilita y sus deficiencias pueden ser compensadas por otras células; o, la célula es afectada iniciando una compleja cadena de impulsos, provocando un deterioro biológico, si cambia y crece anormalmente su efecto se desarrolla lentamente sin dar sospecha alguna y aparece en años (Oficina Sanitaria Panamericana, 1959, p. 9).

Los efectos nocivos para la salud inducido por la exposición a RI se agrupan en dos categorías, efectos determinísticos conocidos como las reacciones tisulares nocivas y los efectos estocásticos como el cáncer y enfermedades hereditarias. Estos dependen de la dosis absorbida, tipo de radiación y la radiosensibilidad de los tejidos u órganos expuestos. Los tejidos u órganos más radiosensibles son las gónadas, cristalino, tiroides y mama, lo cual también depende de la

edad y el sexo. Las mujeres y los niños son los más sensibles, debido a su menor espesor corporal y mayor porcentaje de células en mitosis. En el embarazo los efectos dependen de la edad gestacional (Servente, et al., 2018, p. 140) (OIEA, 1997, p. 6).

2.6.1 Efectos determinísticos

Se producen principalmente por la muerte celular y demora en la división celular, causados por exposición a dosis altas, pudiendo dañar la función del tejido expuesto (ICRP, 2007, p. 45). Se caracteriza por un umbral de dosis y, su severidad aumenta con la dosis recibida por encima del umbral dado, pudiendo causar efectos como: esterilidad, cataratas, eritemas, trastornos hematopoyéticos, alteraciones en gónadas y síndrome agudo por radiación que se manifiestan poco tiempo después de la exposición (OIEA, 1997, p. 2) (Ramos & Villaroel, s.f., p. 140).

Estos efectos pueden ocurrir en radioterapia, y en procedimientos intervencionistas en especial los que son guiados fluoroscópicamente en un largo tiempo y de numerosas imágenes.

2.6.2 Efectos estocásticos

Estos efectos son probabilísticos y acumulativos, no requieren de un umbral de dosis y su frecuencia de aparición incrementa con la dosis, por lo que se presenta en una persona cuando una célula irradiada no muere, sino se modifica (OIEA, 1997, p. 2). Existen dos tipos de efectos como: el cáncer, el cual se produce si la célula irradiada es somática; y trastornos hereditarios como las alteraciones genéticas, misma que se produce si la célula irradiada es germinal.

Los mecanismos de reparación y defensa del organismo hacen que tales efectos sean muy improbables para las dosis pequeñas; pero debido a que no hay prueba de que exista un umbral de dosis por debajo de la cual sea imposible la producción de cáncer y algunos trastornos hereditarios, estos efectos no se pueden evitar por completo, ya que cualquier exposición por RI, por pequeña que sea la dosis, contribuye a aumentar la probabilidad de inducción de los efectos anteriormente mencionados (Arias, 2006, p. 190) (OIEA, 1997, p. 2).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de la investigación

El tipo de investigación desarrollada en el presente Trabajo es de carácter experimental, ya que se determinó la tasa de dosis efectiva ambiental en 6 instalaciones hospitalarias de la ciudad de Ambato, mediante un instrumento de medida de radiación, como es el detector Geiger Müller, que sirve para medir tasa de dosis producida a diferentes distancias, debido a la radiación dispersa generada por el paciente al ser expuesto a radiación primaria durante los procedimientos de RX y TC.

El estudio realizado se centra en dosimetría ambiental, pues se realizó el análisis de los puestos de trabajo de distintas instituciones, de las cuales no se especifican sus nombres por motivo de confidencialidad, pero se las identifica mediante números. En cada instalación se determinaron mínimo 6 puntos críticos por cada sala y, de cada uno de estos se tomaron 5 medidas de tasa de dosis. Lo anteriormente mencionado se realizó con el fin de mejorar y contribuir con la protección radiológica.

3.2 Equipos e Instrumentos utilizados en el desarrollo de la investigación.

3.2.1 *Equipos de Rayos X*

Los equipos de RX existentes en las 6 instalaciones, son de tipo convencional donde su base se encuentra fija al piso y en las cuales se realizan radiografías de tórax, columna vertebral, abdomen extremidades superiores e inferiores. Estos equipos son de marcas diferentes como: Siemens, General Electric, Fisher, Philips, Eva.

3.2.1.1 Instalación 1

Tabla 1-3: Equipo de RX de la Instalación 1

Equipo de RX	Datos del equipo
	Marca del Equipo: General Electric Marca del Tubo: Toshiba Modelo del Tubo: E7843X <i>kVp</i> : 150

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.1.2 Instalación 2

Tabla 2-3: Equipo de RX de la Instalación 2

Equipo de RX	Datos del equipo
	Marca del Equipo: Fischer Modelo del Tubo: E7239X <i>kVp</i> : 125

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.1.3 Instalación 3

Tabla 3-3: Equipo de RX de la Instalación 3

Equipo de RX	Datos del equipo
	<p>Marca del Equipo: General Electric Modelo del Tubo: E7843X <i>kVp</i>: 150</p>

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.1.4 Instalación 4

Tabla 4-3: Equipo de RX de la Instalación 4

Equipo de RX	Datos del equipo
	<p>Marca del Equipo: Eva Marca del Tubo: Eva-HF 525 Modelo del Tubo: E7239X <i>kVp</i>: 125</p>

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.1.5 Instalación 5

Tabla 5-3: Equipo de RX de la Instalación 5

Equipo de RX	Datos del equipo
	Marca del Equipo: Fischer Marca del Tubo: Toshiba Modelo del Tubo: E7239X <i>kVp</i> : 125

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.1.6 Instalación 6

Tabla 6-3: Equipo de RX de la Instalación 6

Equipo de RX	Datos del equipo
	Marca del Equipo: Siemens Marca del Tubo: Siemens <i>kVp</i> : 150

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.2 Tomógrafos Computarizados

Los Tomógrafos Computarizados existentes en las 6 instalaciones tienen el gantry fijo al piso, mismos que permiten realizar TC de cráneo, senos paranasales, tórax, abdomen y pelvis. Estos equipos son de marcas diferentes como: General Electric, Siemens y Philips.

3.2.2.1 Instalación 1

Tabla 7-3: Tomógrafo Computarizado de la Instalación 1

Tomógrafo Computarizado	Datos del equipo
	<p>Marca del Equipo: General Electric Marca del Tubo: Brightspeed Elite Modelo del Tubo: 2137130-5 <i>kVp</i>: 140</p>

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.2.2 Instalación 2

Tabla 8-3: Tomógrafo Computarizado de la Instalación 2

Tomógrafo Computarizado	Datos del equipo
	<p>Marca del Equipo: General Electric Marca del Tubo: No refiere Modelo del Tubo: No refiere <i>kVp</i>: 120</p>

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.2.3 Instalación 3

Tabla 9-3: Tomógrafo Computarizado de la Instalación 3

Tomógrafo Computarizado	Datos del equipo
	Marca del Equipo: General Electric Marca del Tubo: No refiere Modelo del Tubo: MX135 <i>kVp</i> : 120

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.2.4 Instalación 4

Tabla 10-3: Tomógrafo Computarizado de la Instalación 4

Tomógrafo Computarizado	Datos del equipo
	Marca del Equipo: Philips Marca del Tubo: Philips Modelo del Tubo: DU 5008C <i>kVp</i> : 140

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.2.5 Instalación 5

Tabla 11-3: Tomógrafo Computarizado de la Instalación 5

Tomógrafo Computarizado	Datos del equipo
	Marca del Equipo: Philips Modelo del Equipo: Tomoscan LX Marca del Tubo: No refiere Modelo del Tubo: No refiere <i>kVp</i> :120

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.2.6 Instalación 6

Tabla 12-3: Tomógrafo Computarizado de la Instalación 6

Tomógrafo Computarizado	Datos del equipo
	Marca del Equipo: Siemens Marca del Tubo: Siemens Modelo del Tubo: Dura 422-MV <i>kVp</i> : 140

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.3 Instrumentos

3.2.3.1 Detector Geiger Müller

El Geiger Müller es un equipo digital portátil, utilizado en el campo de las radiaciones para detectar rayos α , β , γ y RX. En la pantalla de cristal líquida (LCD) se puede observar los valores, los cuales está puede darse en $\mu Sv/h$, mR/h o *cuentas/segundo*, esta unidad se puede observar debajo del valor medido. Además, este instrumento cuenta con un puerto USB, el cual permite la interface del instrumento a la PC. Otras características del equipo se pueden observar en la Tabla 13-3.

Tabla 13-3: Geiger Müller

Geiger Müller	Datos del equipo
	Marca: S.E International Serie: 4003 Rango Operativo: 01 a 1000 $\mu Sv/h$ Precisión en referencia Cs 137: $\pm 15\%$

Realizado por: Chisag E, 2019, ESPOCH

Este detector fue calibrado en el Laboratorio de Calibraciones Dosimétricas del Ecuador perteneciente a la SCAN, bajo las normas y procedimientos establecidos por el OIEA, teniendo en cuenta como referencia el reporte de seguridad serie 16 que trata sobre la calibración de instrumentos para monitoreo de protección radiológica. El equipo sin protección para radiación beta presenta un factor de calibración de $1.06 \pm 0,03$. Por lo que cuenta con su certificado vigente, de este modo la validación de los datos y el funcionamiento correcto del mismo, Ver Anexo A.

3.2.4 Identificación de áreas controladas y no controladas

Este paso es importante para medir la tasa de dosis, ya que de esto depende la selección de los puntos críticos, donde podrían estar expuestos el POE y miembros de público.

Como se mencionó anteriormente, un área controlada, es una instalación formada por la sala de procedimientos donde se encuentra la fuente generadora y la cabina de control, donde se encuentra el POE operando la consola; las demás áreas adyacentes a la instalación son áreas no controladas, lugar donde podrían encontrar los miembros de público. En esta investigación se denotó estos tipos de áreas de la siguiente manera: C, como controlada y NC, como no controlada

3.2.5 Determinación de los puntos críticos

Para la determinación de puntos críticos se utilizó las normas del NCRP No.147, éste da a conocer los tipos de barreras que conforman la instalación médica de radiodiagnóstico al interaccionar con radiación primaria y secundaria. En una sala de RX encontramos dos tipos de barreras, una primaria y las demás son barreras secundarias, las cuales atenúan la radiación dispersa y de fuga. Por otro lado, en una instalación de TC debido a que solo existe radiación secundaria, solo existen barreras secundarias.

Dado que una barrera puede ser una pared, piso, techo, puerta, ventana o cualquier material que interaccione con la radiación, el NCRP da a conocer diferentes tipos de material como el plomo, hormigón o ladrillo, que pueden ser utilizados para atenuar RX. El ladrillo es el más utilizado para crear paredes, el hormigón para pisos y techos, y el plomo para fabricar vidrios y puertas o como también este material puede ser adaptado en el interior de puertas y marcos que conforman la instalación.

Teniendo en cuenta todo esto, se procedió a identificar como mínimo 6 puntos críticos de cada instalación. Dependiendo de la dirección del haz de radiación, perpendicularmente se identificaron los primeros cuatro puntos críticos y los demás puntos se lo hizo mediante la

observación de la instalación, ya que podría existir diferentes tipos de barreras que interactúen con la radiación secundaria, las cuales podrían cumplir o no con las recomendaciones de blindaje del NCRP, es decir por los límites permisibles para las diferentes áreas.

3.2.6 *Elaboración de planos*

Cada una de las instalaciones cuenta con sus respectivos planos arquitectónicos, pero se decidió generar medidas in situ, para trabajar con datos reales. Primero, se midió el área de las instalaciones de RX y TC, al igual que el ancho de las puertas y ventanas, se procedió a medir la ubicación de los elementos de los equipos y luego, el espesor de las barreras (paredes y puertas). Con estos datos se realizaron los planos en el programa AutoCAD 2018 a escala 1:40.

En los planos se identificaron las áreas controladas, no controladas y puntos críticos: Los elementos que conforman los equipos de RX y TC se identificaron mediante números, al igual que las puertas y ventanas que conforman la instalación. Luego se registraron el tipo de las áreas adyacentes y barreras existentes. Finalmente, se identificaron con letras mayúsculas los puntos críticos a medir dentro y fuera de las salas.

3.2.6.1 *Instalaciones de Rayos X*

En todos los planos de las salas de RX, los elementos del equipo están identificados numéricamente de la siguiente manera:

- (1) Tubo de RX
- (2) Bucky de pared
- (3) Mesa radiográfica
- (4) Consola de control o mesa de comando

Además, el punto A está detrás una barrera primaria y los demás puntos críticos encontrados estarán detrás de una barrera secundaria.

- *Instalación 1*

En esta instalación se identificaron 6 puntos críticos. Como se observa en el Gráfico 1-3, el punto A se encuentra en la sala del vecindario siendo un área no controlada; El punto B está en la sala de TC, la cual es un área controlada; El punto C se encuentra en el corredor, que es un área no controlada; el punto D está en la sala de densitometría, la cual es un área controlada; el punto E esta entre la puerta número 5 y el corredor, el cual es un área no controlada; y, en la punto F está en la sala de comando que es un área controlada, la cual está blindada por el vidrio plomado identificado con el número 7.

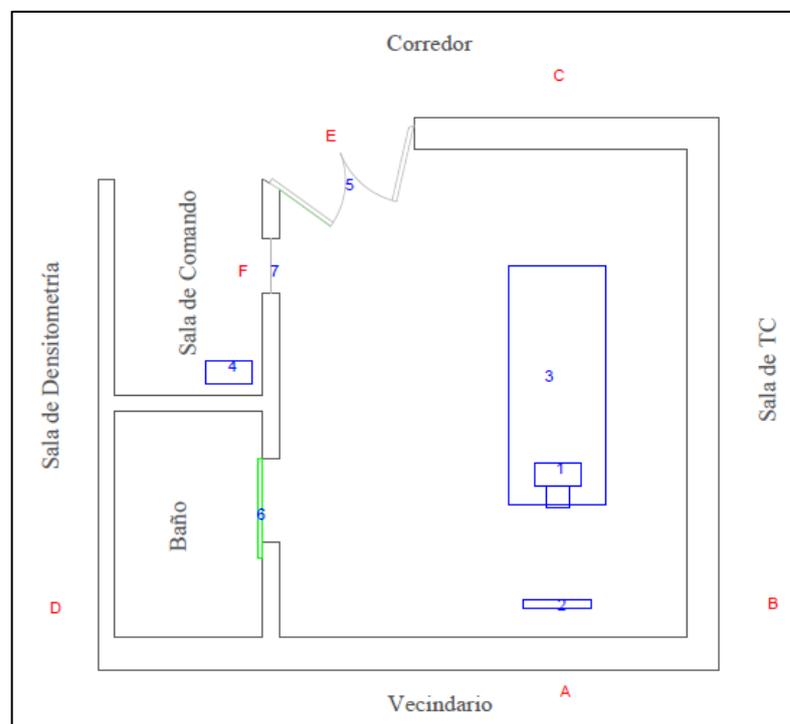


Gráfico 1-3: Plano de la sala de RX de la Instalación 1

Realizado por: Chisag E, 2019

- *Instalación 2*

El Gráfico 2-3, representa la estructura de la sala de RX de la instalación 2 y los 6 puntos críticos identificados, los cuales se detallan a continuación. Los puntos B, C, D y E son áreas controladas y A y F son áreas no controladas. El punto A, se encuentra en el corredor; El punto

B está en la sala de TC; El punto C, se encuentra detrás del vidrio plomado con identificación numérica 7 que colinda la sala de comando; El punto D está en la sala de panorámica dental; El punto E está de la puerta con identificación numérica 5, permite el ingreso al POE a la sala de comando; y, el punto F está en el corredor, cuya barrera que lo colinda es la puerta número 6, la cual permite el ingreso de los pacientes a la sala de procedimientos.

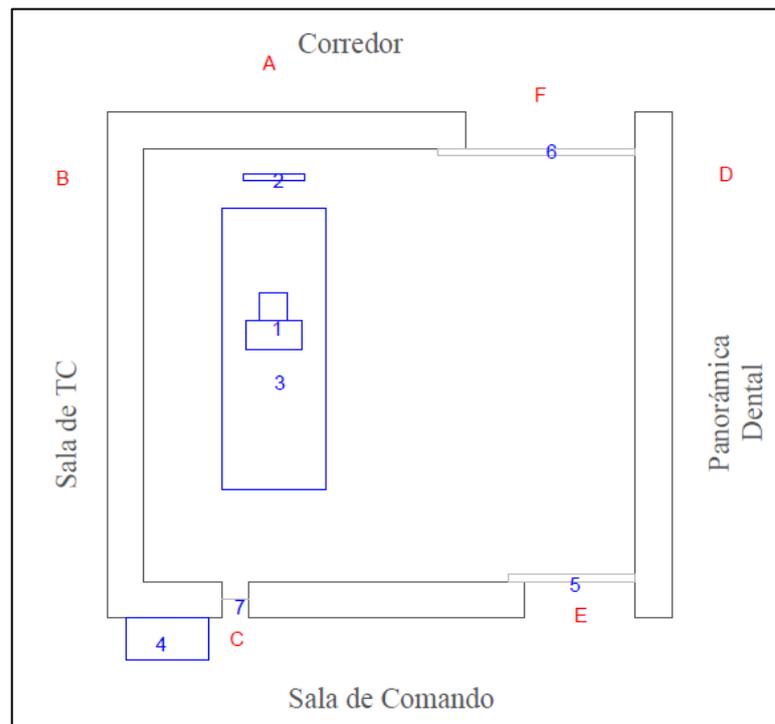


Gráfico 2-3: Plano de la sala de RX de la Instalación 2

Realizado por: Chisag E, 2019

- *Instalación 3*

Los puntos críticos identificados en la instalación 3 son 7. El punto A se encuentra en dirección a la recepción siendo un área no controlada; El punto B está en el vecindario, el cual es un área no controlada; El punto C se encuentra detrás del vidrio plomado con identificación numérica 7, el cual colinda la sala de comando que es un área controlada; El punto D está en el cuarto de alimentación eléctrica, el cual es un área no controlada; El punto E, está detrás de la puerta número 5, conecta la sala de comando con la sala de revelado de placas, donde se encuentra el digitalizador, el cual es un área no controlada; El punto F está en la sala de espera, la cual es un

área no controlada y cuya barrera que lo colinda es la puerta número 6; y, El punto G, pertenece a la sala de comando y no tiene barrera. Esta información se puede observar en el Gráfico 3-3.

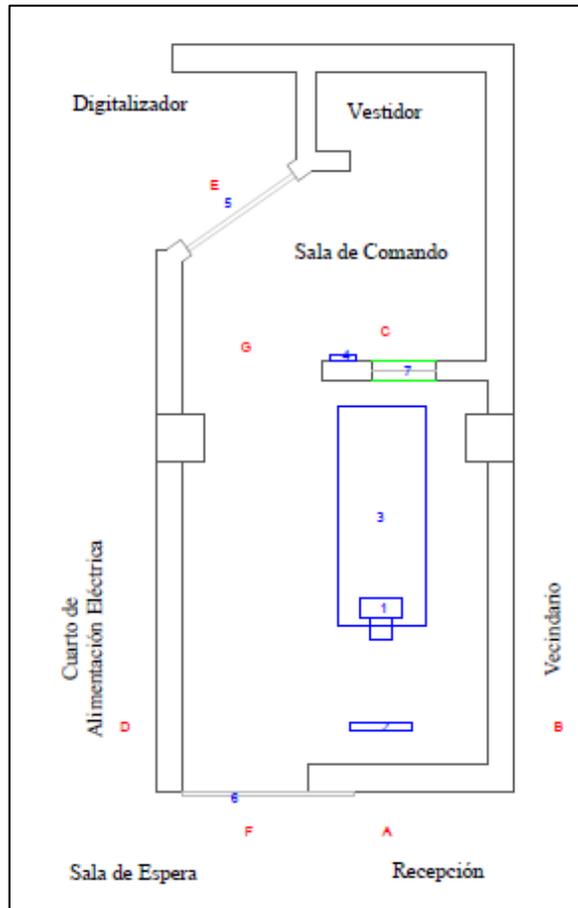


Gráfico 3-3: Plano de la sala de RX de la Instalación 3

Realizado por: Chisag E, 2019

- *Instalación 4*

En el Gráfico 4-3, se observa la sala de RX de la instalación 4 y sus áreas adyacentes. En esta instalación se identificaron 6 puntos críticos, entre ellos: El punto A, se encuentra en la sala de ecografía obstétrica, la cual un área no controlada; El punto B está detrás de la puerta identificada con el número 5, que al igual que el punto E y F colinda la sala de comando, la cual es un área controlada; El punto C y D se encuentra en el vecindario que son áreas no controladas; El punto E está detrás del vidrio plomado identificado con el numero 6; y El punto F está detrás de una barrera-pared.

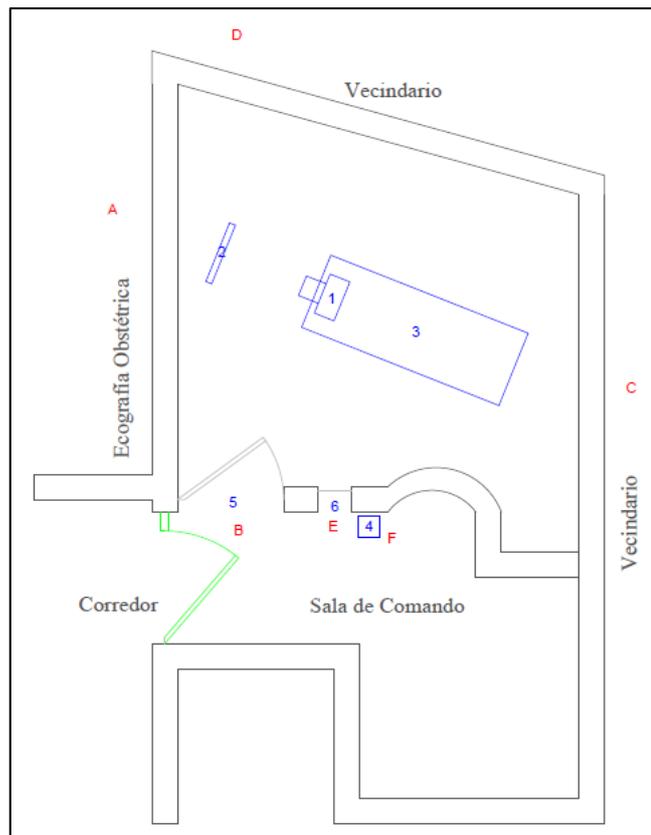


Gráfico 4-3: Plano de la sala de RX de la Instalación 4

Realizado por: Chisag E, 2019

- *Instalación 5*

Como se puede observar en el Gráfico 5-3; Los puntos A y B se encuentran en el vecindario, siendo áreas no controladas; El punto C está detrás del vidrio plomado, cuya identificación numérica es 7, misma que colinda la sala de comando que es un área controlada; El punto D y F, se encuentra en la sala donde se encuentra el digitalizador que es un área no controlada, pero a diferencia de D, F está detrás de una puerta plomada con identificación numérica 6; y, Finalmente, el punto E está en el baño del personal, colindado por la puerta numérica 5, la cual es un área no controlada. Por lo tanto, en esta instalación se identificaron 6 puntos críticos.

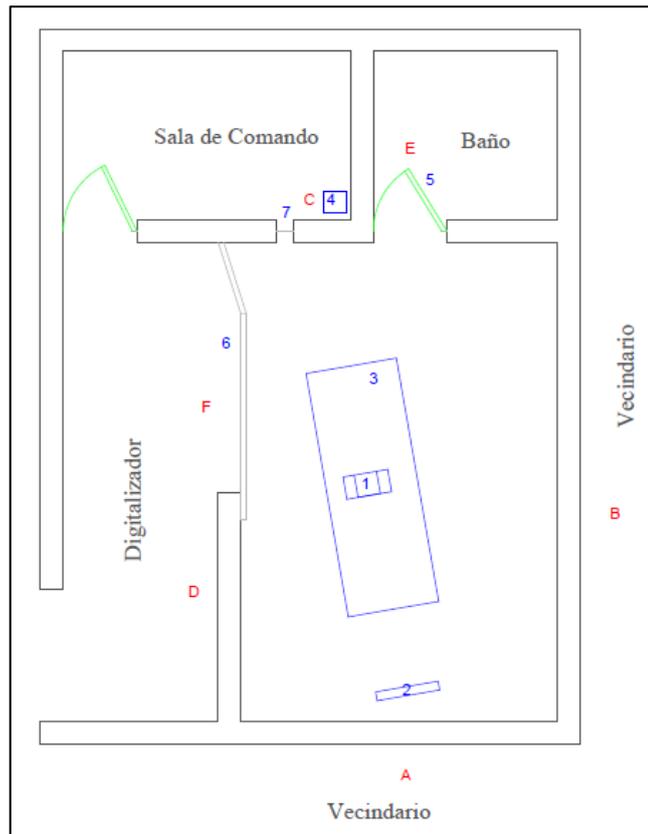


Gráfico 5-3: Plano de la sala de RX de la Instalación 5

Realizado por: Chisag E, 2019

- *Instalación 6*

En la instalación 6 se identificaron 6 puntos críticos. Como muestra en el Gráfico 6-3, el punto A y E se encuentra en el corredor que es un área no controlada, cabe recalcar que la barrera del punto E es una puerta plomada (6); El punto B está detrás del vidrio plomado (8) que colinda la sala de comando que es un área controlada; El punto C, se encuentra en el corredor que es un área no controlada, mismo que se encuentra colindado por una puerta plomada (5); el punto D está en el baño de personal que es un área no controlada; y el punto F está en la sala de fluoroscopia que es un área controlada.

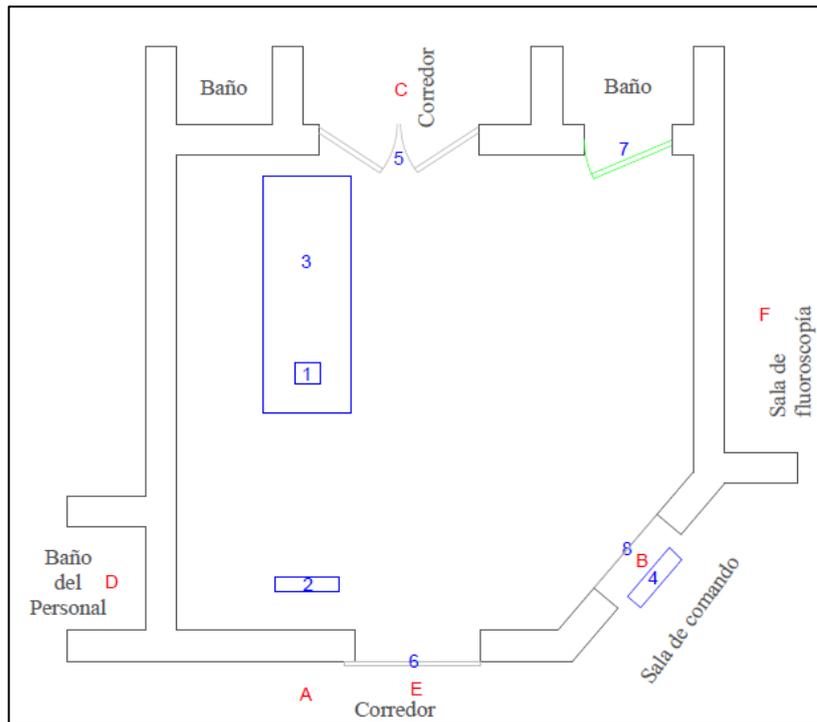


Gráfico 6-3: Plano de la sala de RX de la Instalación 6

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.6.2 Instalaciones de Tomografía Computarizada

En todos los planos de las salas de TC, los elementos del equipo están identificados numéricamente de la siguiente manera:

- (1) Gantry
- (2) Mesa de exploración
- (3) Consola de control

Además, todos los puntos están detrás de una barrera secundaria.

- *Instalación 1*

En la sala de TC de la instalación 1 se identificaron 6 puntos críticos. Como se puede observar en el Gráfico 7-3, el punto A y B pertenecen al vecindario, siendo áreas no controladas; el

punto C está detrás del vidrio plomado con identificación numérica 6, la cual colinda la sala de comando que es un área controlada; el punto D se encuentra en la sala de RX, la cual es un área controlada; el punto E también pertenece a la sala de comando pero tiene como barrera la puerta plomada con identificación numérica 4, la cual permite el ingreso el POE; y, el punto F está detrás de la puerta plomada con el número 5 que permite el ingreso de los miembros de público y la misma que colinda con el corredor que es un área controlada.

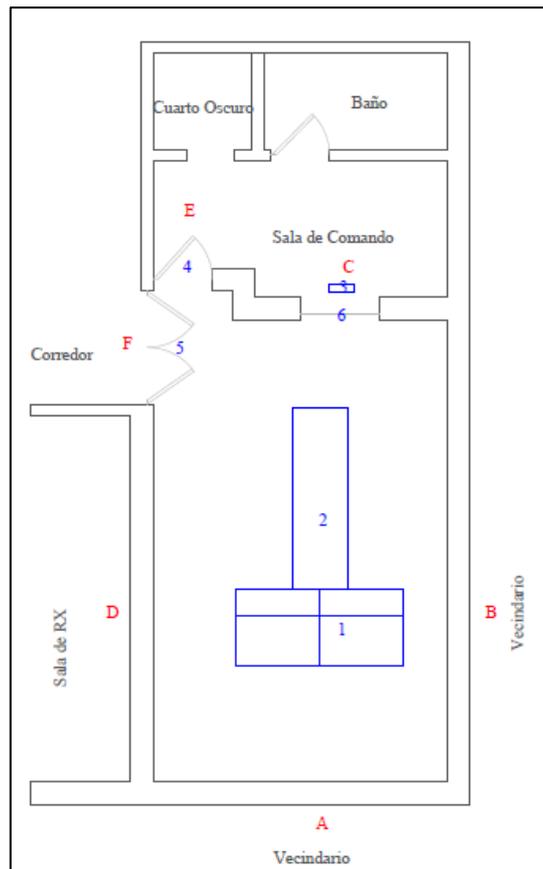


Gráfico 7-3: Plano de la sala de TC de la Instalación 1

Realizado por: Chisag E, 2019

- *Instalación 2*

En ésta sala se identificaron 6 puntos críticos, de los cuales los puntos A y B se encuentran en cuartos vacíos considerados como áreas no controladas; El punto C está en la sala de comando, la cual es un área controlada, misma que se encuentra protegida por el vidrio plomado (5); El punto D está en la sala de RX que es un área controlada; El punto E, se encuentra detrás de la

puerta plomada (3), que colinda la sala de comando que es un área controlada; y finalmente, el punto F está en el corredor que es un área no controlada y cuya barrera que lo colinda es una puerta plomada (4), como muestra el Gráfico 8-3.

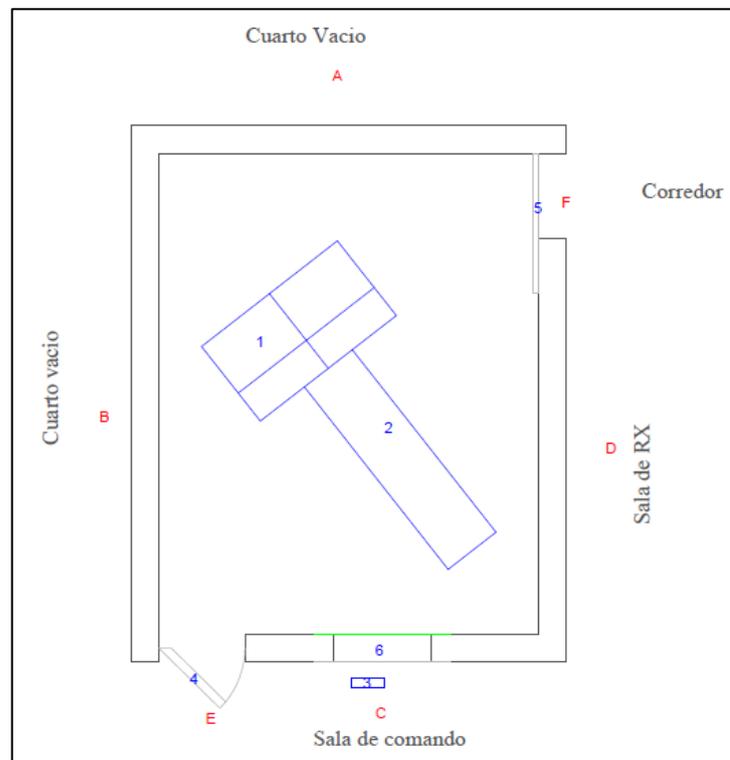


Gráfico 8-3: Plano de la sala de TC de la Instalación 2

Realizado por: Chisag E, 2019

- *Instalación 3*

El Gráfico 9-3, muestra los 7 puntos críticos identificados en la sala de TC de la instalación 3. Donde se observa que: El punto A, se encuentra en la sala de espera al igual que E y corresponde a un área no controlada; El punto B está en las gradas que es un área no controlada; El punto C está detrás del vidrio plomado con identificación numérica 6, misma que colinda la sala de comando que es un área controlada; El punto D, se encuentra en el vecindario que es un área no controlada; El punto E está detrás de la puerta con identificación numérica 3; El punto F está detrás del baño, cuya puerta identificada con el número 4 se encuentra dentro de la sala de TC, por lo cual se considera como un área no controlada; y El punto G está detrás de la puerta

identificada con el número 5, misma que conecta la sala de procedimientos con la sala de comando.

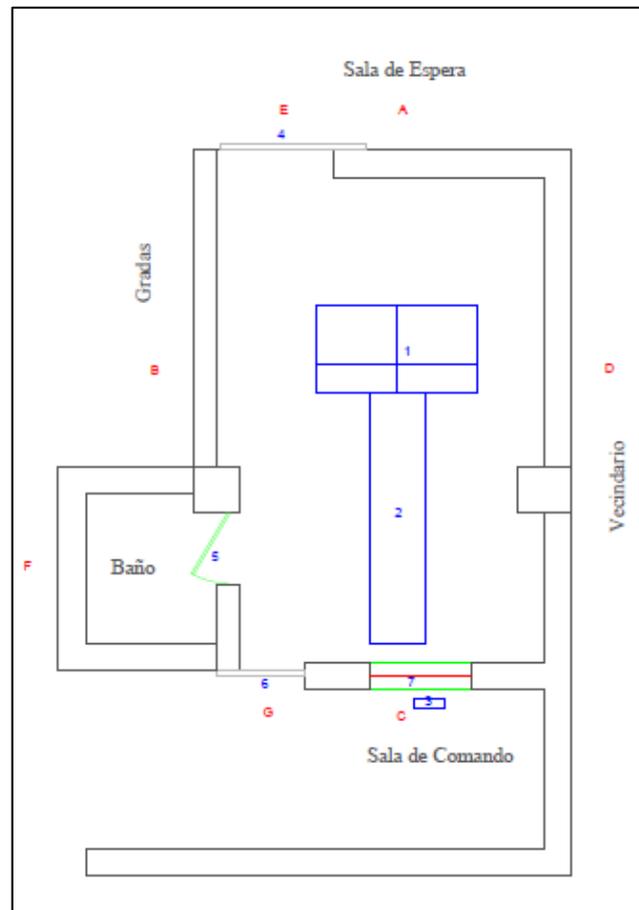


Gráfico 9-3: Plano de la sala de TC de la Instalación 3

Realizado por: Chisag E, 2019

- *Instalación 4*

Los puntos críticos identificados en esta instalación fueron 6. En el Gráfico 10-3, los puntos A y D se encuentran en el vecindario que es un área no controlada; El punto B está en la sala de densitometría que es un área controlada; El punto C está detrás del vidrio plomado identificado con el número 6 que colinda la sala de comando, la cual es un área controlada; El punto E, se encuentra en la sala de espera que es un área no controlada y cuya barrera que lo colinda es una puerta plomado identificado con el número 4; y el punto F está detrás de la puerta número 5.

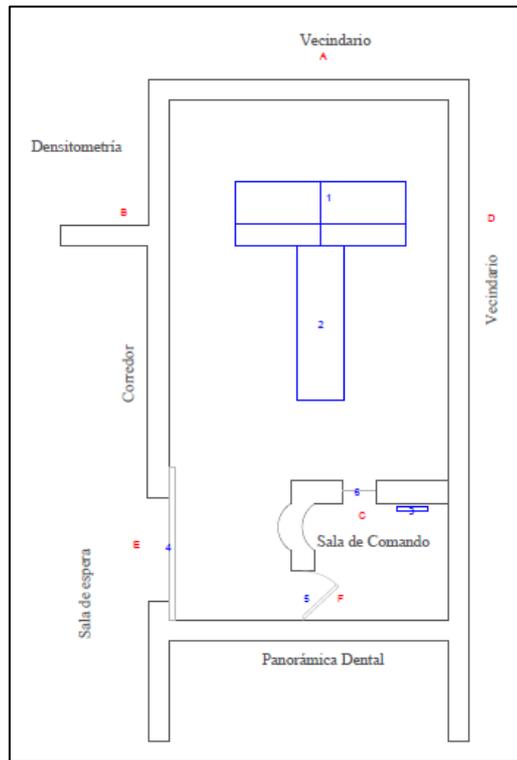


Gráfico 10-3: Plano de la sala de TC de la Instalación 4

Realizado por: Chisag E, 2019

- *Instalación 5*

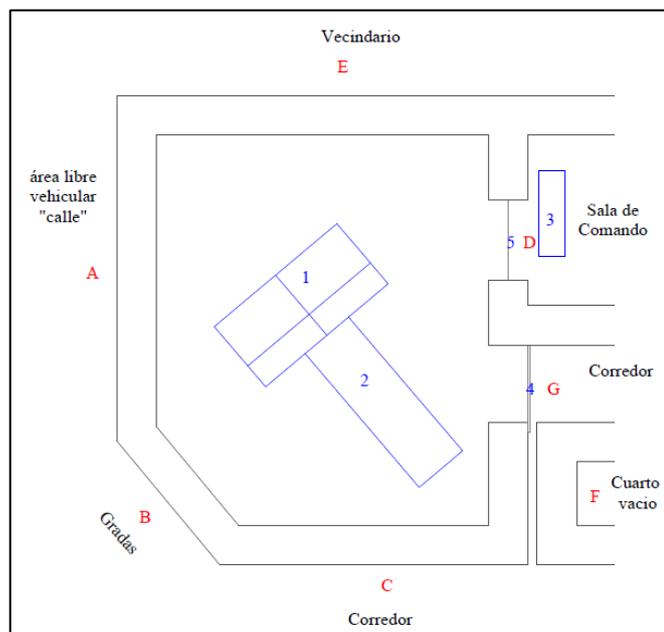


Gráfico 11-3: Plano de la sala de TC de la Instalación 5

Realizado por: Chisag E, 2019

En esta instalación se encontraron 7 puntos críticos, de los cuales el punto A, B, C, E, F y G se encuentra en un no controlada y el punto D en un área controlada. El punto A está en el área vehicular; B, se encuentran en las gradas; C está en el corredor; D está en la sala de comando, colindado por un vidrio plomado (5); E, se encuentra en el vecindario; F, se encuentra en un cuarto vacío; y, finalmente G, se encuentra en el corredor colindado por la puerta (4).

- *Instalación 6*

El Gráfico 12-3, muestra los 7 puntos críticos identificados en la instalación 6, mismos que se detallan a continuación. Los puntos que se encuentra en áreas no controladas como el corredor son A, C, F y H; D, también se encuentra en un área no controlada, pero de ocupación de sala de almacenamiento de contraste; B y G, se encuentran un área controlada. La barrera que colinda A, C y D es una pared, la que colinda es punto B es el vidrio plomado número 8, F esta colindado por la puerta 7 y H por la puerta 4.

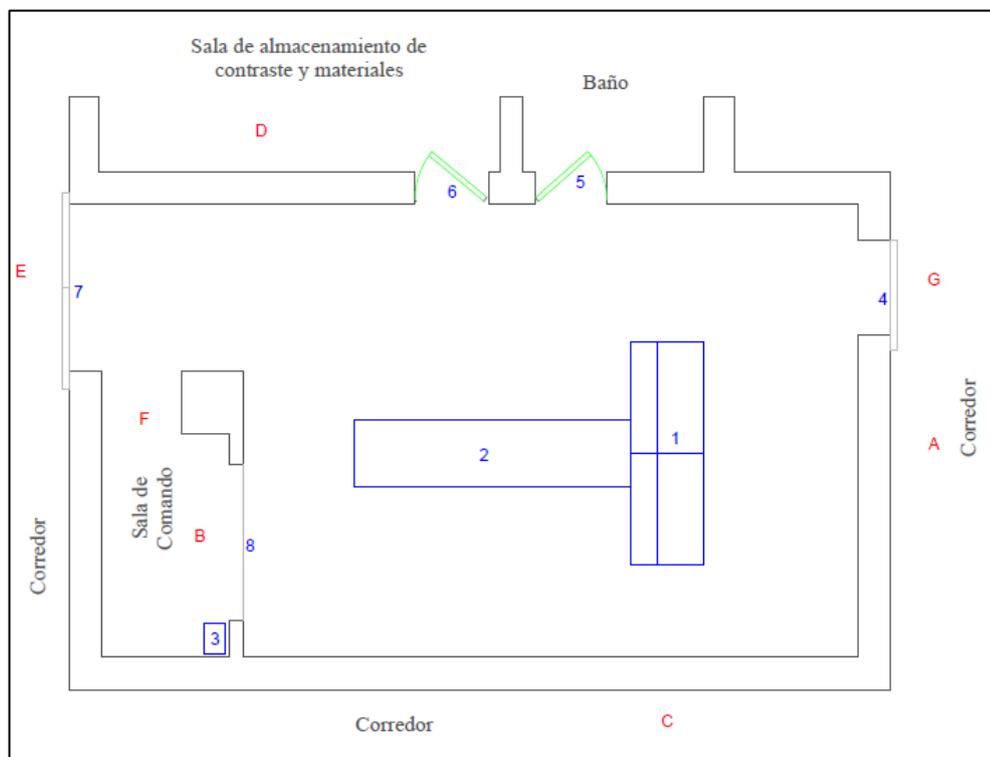


Gráfico 12-3: Plano de la sala de TC de la Instalación 6

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.7 Designación de restricción de dosis

3.2.7.1 NCRP reporte No.147

El NCRP No. 147 respecto al diseño de blindaje estructural para instalaciones médicas de imágenes de Rayos X, recomienda para un área controlada $P = 0.1 \text{ mSv/semana}$ y para un área no controlada $P = 0.02 \text{ mSv/semana}$. Estos valores no deben superar los límites de dosis recomendados por la misma comisión, los cuales son: para el POE es 5 mSv/año y miembros de público es 1 mSv/año .

3.2.7.2 ARCAL protocolo XLIX

Los niveles de restricción de dosis propuestas por el ARCAL XLIX para un área controlada es de 0.10 mSv/semana o 5 mSv/año y para un área supervisada es de 0.01 mSv/semana o 0.5 mSv/año .

3.2.8 Medición de la tasa de dosis

3.2.8.1 Ubicación del detector en los puntos críticos

Para obtener la tasa de dosis se utilizó el detector Ranger Exp-4003. Previo a iniciar el examen, se retiró la protección beta del Geiger Müller, se colocó a 30 cm de distancia de la barrera del punto crítico y a la altura con relación al examen a realizar, con la finalidad de centrar perpendicularmente el detector con el haz de radiación de tal modo que la gran cantidad de radiación que atraviesa la barrera incida en el detector. Se ubicó a esta distancia ya que la persona a proteger esta al menos a 30 cm más allá de las barreras.

Es importante mencionar que antes de ser utilizado el detector, éste fue previamente calibrado con la fuente de Cesio 137.

3.2.8.2 Medición de la tasa de dosis de las instalaciones de RX y TC

El registro de los datos se realizó durante cada disparo del equipo, para lo cual se tomó el dato más alto que marcaba el detector GM. En cada uno de los puntos críticos se realizó 5 mediciones, pero con diferentes exámenes debido a la carencia de pacientes en las instalaciones.

En todas las instalaciones, algunos puntos críticos que fueron seleccionados en los planos no fueron accesibles, debido a que colindaban con otras casas u oficinas que pertenecían al vecindario, por lo que se tomó las medidas de tasa de dosis en los puntos restantes.

3.2.8.3 Identificación de parámetros de operación de cada sala de las Instalaciones

Con la finalidad de obtener valores reflejados con la realidad, los pacientes fueron los medios de irradiación. La recolección de los 5 datos de tasa de dosis se realizó teniendo en cuenta los parámetros técnicos de cada examen como el *kV*, *mAs*, *mA* y *tiempo*, además de la *dF*. Bajo todos estos parámetros se obtuvo la cantidad de tasa de dosis para cada punto crítico.

Ya que los datos adquiridos fueron de diferentes exámenes, obteniendo tasas de dosis muy distantes unas de otras, que no permitían realizar una media aritmética, se identificó el examen con mayores parámetros técnicos y el más realizado en las instalaciones de RX y TC.

A continuación, se presentan los exámenes con los parámetros técnicos que son realizados con mayor frecuencia en las instalaciones de RX y TC, además de la distancia *dF*. Donde, C.L.L significa Columna Lumbar Lateral y Tx.L, Tórax Lateral.

Tabla 14-3: Parámetros técnicos de los exámenes con mayor frecuencia de las salas de RX

N. Instalación	Examen	Tipo de Bucky	dF (cm)	kV	mA	Tiempo (s)	mAs
1	C.L.L	Pared	100	80	480	0.260	125
2	C.L.L	Pared	100	82	200	2	400
3	C.L.L	Pared	100	90	107	2.34	250
4	C.L.L	Pared	100	100	200	1.60	320
5	C.L.L	Mesa	100	104	150	1.85	247.5
6	Tx.L	Pared	180	85	175	0.2	35

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 15-3: Parámetros técnicos de los exámenes con mayor frecuencia de las salas de TC

N. Instalación	Examen	dF (cm)	kV	mA	tiempo (s)	mAs
1	Abdomen	Isocentro	120	400	14	5600
2	Senos Paranasales	Isocentro	120	110	12.3	1353
3	Tórax	Isocentro	120	180	17.9	3222
4	Cráneo	Isocentro	120	245	14.3	3504
5	Senos Paranasales	Isocentro	120	100	3.8	380
6	Corporal (Tórax-Abdomen- Pelvis)	Isocentro	130	3.075	24.39	4.10

Realizado por: Chisag E, 2019

3.2.9 Cálculo de la tasa de dosis efectiva ambiental

La tasa de dosis efectiva ambiental se representó con la letra \dot{E} . Respecto al protocolo del ARCAL XLIX, esta magnitud se calcula mediante la ecuación 15.

Para la determinación de la \dot{E} ambiental se trabajó directamente con el dato mayor medido de \dot{D} por detector GM, el cual se midió en unidad de $\mu Sv/h$. Este valor medido primero se restó con la radiación de fondo y después se multiplicó por el factor de calibración del detector. El valor obtenido de la \dot{D} corregida se transformó en unidades de $mSv/mA * min$, la cual se utilizó en la

ecuación 15, misma que se multiplicó con los valores de T, U y W, cuyos valores no se disponían por parte de las instalaciones hospitalarias, por lo cual se optó por utilizar los parámetros orientativos propuestos en el reporte 147 del NCRP y en el protocolo XLIX del ARCAL.

Con la ecuación 15 se determinó la \dot{E} en $mSv/semana$, misma que al multiplicar por 52 semanas permitió obtener la \dot{E} en $mSv/año$, las 52 semanas representa el número de semanas que trabaja el POE en un año.

$$\dot{E} = \dot{D} medida [mSv/mA * min] \times W [mA * min/semana] \times U \times T \quad (15)$$

3.2.9.1 Identificación de parámetros recomendados por el NCRP reporte No.147, para las salas de Rayos X y Tomografía Computarizada

- *Factor de Uso*

Cada instalación de RX convencional presenta una barrera primaria y las demás son barreras secundarias, cuando el bucky de pared-tórax es usado como barrera primaria el factor de uso es 1 y si es el piso el valor es 0.89; cómo se puede observar en la Tabla 3-2.

- *Factor de ocupación*

En todas las instalaciones, el factor de ocupación para las salas de comando y las salas de equipos generadores de RX adyacentes será 1, como por ejemplo las salas de TC, fluoroscopia, densitometría, panorámica dental y RX, entre otros; para las salas que son utilizadas para exámenes y tratamientos de pacientes será 1/2, como por ejemplo la sala de ecografía; para los pasillos o corredores el valor será 1/5; para las salas de almacenamiento y salas de espera sin supervisión es 1/20; y si se trata de escaleras o área al aire libre con tránsito vehicular el valor es de 1/40, Ver Tabla 2-2.

- *Carga de trabajo*

Las instalaciones 1, 2, 3, 4 y 6 de RX utilizan bucky de pared para la realización de exámenes diagnósticos, por lo cual generan una carga de trabajo de $100 \text{ mA} * \text{min}/\text{semana}$; y, la instalación 5 tiene una carga de trabajo de $320 \text{ mA} * \text{min}/\text{semana}$, ya que la dirección del haz primario es al piso, es decir utiliza el bucky de mesa. Lo anteriormente mencionado se da independientemente del kVp que presenten los equipos convencionales de RX, Ver Tabla 1.2.

En todas las instalaciones de TC, la carga de trabajo recomendada es de $100 \text{ procedimientos}/\text{semana}$, en la cual $60 \text{ procedimientos}/\text{semana}$ son de cuerpo y $40 \text{ procedimientos}/\text{semana}$ son de cráneo.

3.2.9.2 *Identificación de parámetros propuestos por el protocolo XLIX del ARCAL para las salas de Rayos X y Tomografía Computarizada*

Los valores expuestos en la parte de abajo se obtuvieron de la Tabla 4-2.

- *Factor de Uso*

En las instalaciones 1, 2, 3, 4 y 6 la barrera primaria es la pared o bucky mural cuyo factor de uso es 0.3 mientras que en la instalación 6 la barrera primaria es el piso cuyo factor de uso es de 0.7. Además, en todas las instalaciones, el factor de uso para las barreras secundarias es 1.

- *Factor de ocupación*

En todas las instalaciones, las salas de comando y de procedimientos, así como también la recepción tienen un factor de ocupación de 1. Para las instalaciones que presenten salas de

espera, vestidores y circulación interna (corredor) adyacentes a la instalación el factor de uso será 1/4; y para las salas adyacentes que sean utilizadas como circulación externa, baños y escaleras el factor de ocupación es 1/16.

- *Carga de trabajo*

Las instalaciones 1, 2, 3, 4 y 5 de RX, realizan radiografías de C.L.L considerándole como radiografía general. De las instalaciones anteriormente mencionadas, los equipos convencionales de RX 1 y 3 de 150 kVp tienen una carga de trabajo de $80 \text{ mA} * \text{min}/\text{semana}$; y los equipos convencionales de RX de 125 kVp de las instalaciones 2, 4 y 5 tienen una carga de trabajo de $160 \text{ mA} * \text{min}/\text{semana}$. La instalación 6 realiza radiografías de tórax con un equipo convencional de RX de 150kVp, por lo cual tiene una carga de trabajo de $80 \text{ mA} * \text{min} * \text{semana}^{-1}$.

Las instalaciones de TC generan una carga de trabajo de $5000 \text{ mA} * \text{min}/\text{semana}$, independientemente del examen que se realice, ya sea cuerpo entero o cráneo.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en las diferentes instalaciones hospitalarias de la ciudad de Ambato, los cuales se generaron en base a los datos tomados en los diferentes puntos críticos de las áreas adyacentes a las instalaciones hospitalarias de RX y TC; Además, se presentan gráficos comparativas de la tasa de dosis efectiva ambiental en $mSv/semana$ y $mSv/año$ respecto al NCRP 147 y al ARCAL XLIX.

4.1 Análisis de la tasa de dosis efectiva ambiental en las instalaciones de RX y TC

En las siguientes tablas se muestran los 5 datos obtenidos en cada punto crítico identificado en las instalaciones de RX y TC. Para obtener una tasa de dosis más exacta, se restó la radiación de fondo y se multiplicó por el factor de calibración del detector que es 1.06.

Así mismo, se observa el promedio y la desviación estándar de cada punto, ya que los valores se obtuvieron de distintos exámenes, por lo que variaron en relación al espesor del tejido irradiado y, la distancia entre el punto focal del tubo de RX y el tejido, lo cual genera el cambio en kV y mA. El promedio permite conocer la tasa de dosis ambiental, generada en las instalaciones producto de distintos exámenes en la cual están expuestos el POE y miembros de público, mismos que se encuentra detrás de un área controlada o no controlada.

El dato en negrilla de cada punto significa la máxima tasa de dosis medida, la cual es generada por el examen con mayor kV y el más frecuente de la instalación. Este valor se toma en el peor de los casos como lo indica el ARCAL XLIX, ya que se sobreentiende que las tasas de dosis generadas por bajas energías están blindadas y por ende cumplirían con el límite establecido por las organizaciones competentes.

Las Tablas 2-4, 4-4, 6-4, 8-4, 10-4 y 12-4, muestran la máxima tasa de dosis transformada en unidades de $mSv/mA * min$ por cada punto, misma que se utilizó para determinar la tasa de dosis efectiva ambiental utilizando la ecuación 15, con los parámetros del reporte 147 del NCRP y del protocolo XLIX del ARCAL.

4.1.1 Instalación 1

Tabla 1-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 1

Punto	\dot{D} medida [$\mu Sv/h$]	Radiación de fondo [$\mu Sv/h$]	\dot{D} medida corregida [$\mu Sv/h$]	Factor de calibración	\dot{D} medida corregida [$\mu Sv/h$]	Media	Desviación Estándar
B	0.270	0.210	0.060	1.06	0.064	0.229	0.176
	0.320		0.110		0.117		
	0.360		0.150		0.159		
	0.680		0.470		0.498		
	0.500		0.290		0.307		
C	0.320	0.210	0.110	1.06	0.117	0.085	0.054
	0.360		0.150		0.159		
	0.270		0.060		0.064		
	0.230		0.020		0.021		
	0.270		0.060		0.064		
D	0.820	0.210	0.610	1.06	0.647	1.990	1.082
	1.248		1.038		1.101		
	2.289		2.079		2.204		
	3.046		2.836		3.006		
	3.033		2.823		2.992		
E	10.050	0.210	9.840	1.06	10.430	11.111	4.844
	18.350		18.140		19.228		
	10.040		9.830		10.420		
	8.890		8.680		9.201		
	6.130		5.920		6.275		
F	0.320	0.210	0.110	1.06	0.117	0.104	0.041
	0.270		0.060		0.064		
	0.270		0.060		0.064		
	0.320		0.110		0.117		
	0.360		0.150		0.159		

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 2-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 1

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ [$\frac{mSv}{mA * min}$]	U	T	W [$\frac{mA * min}{sem}$]	\dot{E} ambiental [$\frac{mSv}{sem}$]	\bar{E} ambiental [$\frac{mSv}{año}$]	P
NCRP	B	C	1.730E-08	0.02	1	100	3.460E-08	1.799E-06	Ok
	C	NC	5.521E-09		1/5		2.208E-09	1.148E-07	Ok
	D	C	1.044E-07		1		2.088E-07	1.086E-05	Ok
	E	NC	6.677E-07		1/5		2.671E-07	1.389E-05	Ok
	F	C	5.521E-09		1		1.104E-08	5.742E-07	Ok
ARCAL XLIX	B	C	1.730E-08	1	1	80	1.384E-06	7.196E-05	Ok
	C	NC	5.521E-09		1/4		1.104E-07	5.742E-06	Ok
	D	C	1.044E-07		1		8.351E-06	4.343E-04	Ok
	E	NC	6.677E-07		1/4		1.335E-05	6.944E-04	Ok
	F	C	5.521E-09		1		4.417E-07	2.297E-05	Ok

Realizado por: Chisag E, 2019

Las Tablas 1-4 y 3-4 no muestran el punto A, esto se debe a que el punto se encontraba en el vecindario, lugar donde no fue factible el ingreso y pese al mismo la obtención de datos.

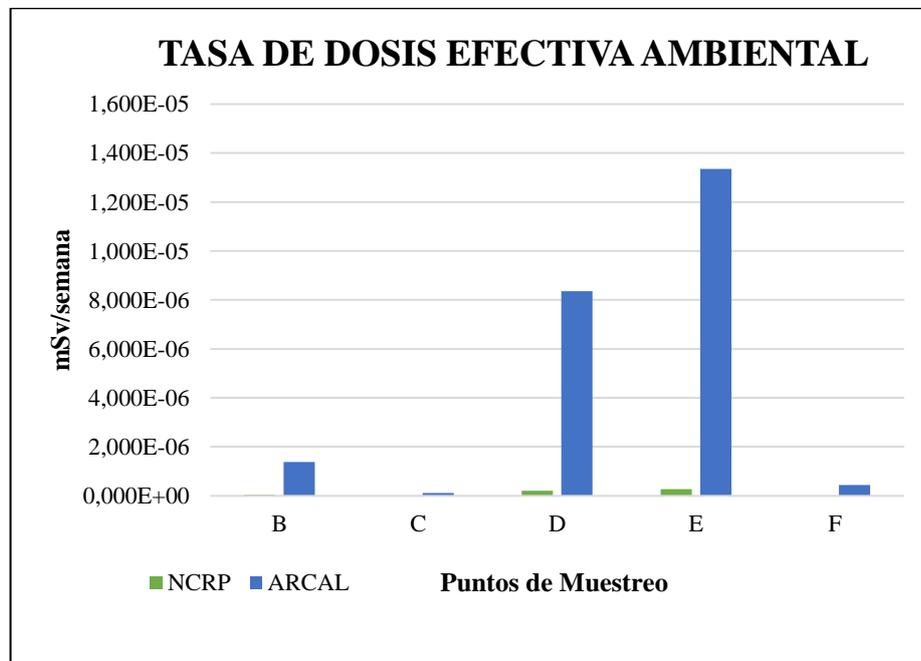


Gráfico 1-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana obtenidas por el NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 1

Realizado por: Chisag E, 2019

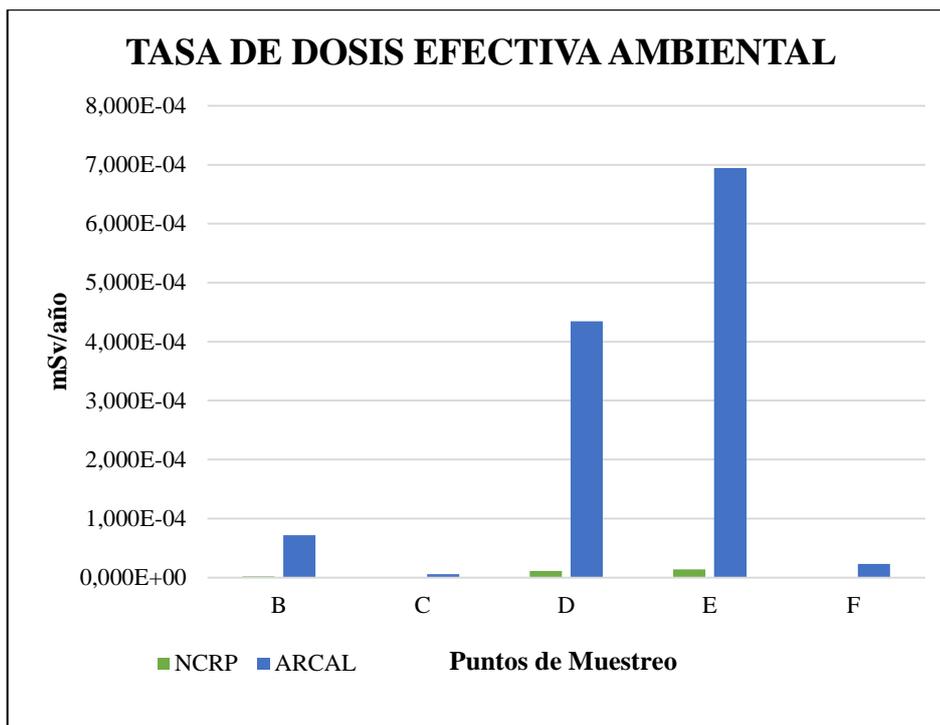


Gráfico 2-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año obtenidas por el NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 1

Realizado por: Chisag E, 2019

Tomando como base la Tabla 2-4, en el Gráfico 1-4 se puede observar que respecto al NCRP el punto E presenta la mayor tasa de dosis efectiva ambiental con el valor de $2.671E-07$ mSv/semana, y el punto C el más bajo y corresponde al valor de $2.208E-09$ mSv/semana; estos dos puntos son áreas no controladas que al compararlos con los valores referenciales se verifica que están dentro de los límites permisibles. Por otro lado, respecto al ARCAL el punto con mayor tasa de dosis efectiva es el punto E con $1.335E-05$ mSv/semana y, el punto C el más bajo con $1.104E-07$ mSv/semana, mismos que están dentro de los límites permitidos de 0.01 mSv/semana.

En la sala de RX, se encuentra que el valor del punto E es el mas elevado para las dos organizaciones, con una tasa de dosis efectiva ambiental de $6.944E-04$ mSv/año respecto al ARCAL y $1.389E-05$ mSv/año respecto al NCRP, como se observa en el Gráfico 2-4.

Tabla 3-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 1

Punto	\dot{D} medida [$\mu\text{Sv/h}$]	Radiación de fondo [$\mu\text{Sv/h}$]	\dot{D} medida corregida [$\mu\text{Sv/h}$]	factor de calibración	\dot{D} medida corregida [$\mu\text{Sv/h}$]	Media	Desviación estándar
B	0.547	0.210	0.337	1.06	0.357	0.535	0.506
	1.555		1.345		1.426		
	0.461		0.251		0.266		
	0.393		0.183		0.194		
	0.615		0.405		0.429		
C	1.180	0.210	0.970	1.06	1.028	2.559	1.534
	3.680		3.470		3.678		
	1.450		1.240		1.314		
	4.540		4.330		4.590		
	2.270		2.060		2.184		
D	0.320	0.210	0.110	1.06	0.117	0.220	0.296
	0.910		0.700		0.742		
	0.270		0.060		0.064		
	0.230		0.020		0.021		
	0.360		0.150		0.159		
E	2.540	0.210	2.330	1.06	2.470	6.682	2.445
	6.580		6.370		6.752		
	8.300		8.090		8.575		
	7.710		7.500		7.950		
	7.440		7.230		7.664		
F	6.400	0.210	6.190	1.06	6.561	4.759	3.774
	8.410		8.200		8.692		
	6.920		6.710		7.113		
	0.820		0.610		0.647		
	0.950		0.740		0.784		

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 4-4: Tasa de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 1

Organismo Internacional	PUNTO	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ [$\frac{mSv}{mA * min}$]	U	T	W [$\frac{mA * min}{sem}$]	\dot{E} ambiental [$\frac{mSv}{sem}$]	\dot{E} ambiental [$\frac{mSv}{año}$]	P
NCRP.147	B	NC	5.940E-08	0.02	1	5600	6.653E-06	3.460E-04	Ok
	C	C	1.912E-07		1		2.142E-05	1.114E-03	Ok
	D	C	3.092E-08		1		3.463E-06	1.801E-04	Ok
	E	C	3.573E-07		1		4.002E-05	2.081E-03	Ok

	F	NC	3.622E-07	1/5			8.113E-06	4.219E-04	Ok
	B	NC	5.940E-08	1			2.970E-04	1.544E-02	Ok
	C	C	1.912E-07	1			9.562E-04	4.972E-02	Ok
ARCAL XLIX	D	C	3.092E-08	1	1	5000	1.546E-04	8.038E-03	Ok
	E	C	3.573E-07	1			1.787E-03	9.290E-02	Ok
	F	NC	3.622E-07	1/4			4.527E-04	2.354E-02	Ok

Realizado por: Chisag E, 2019

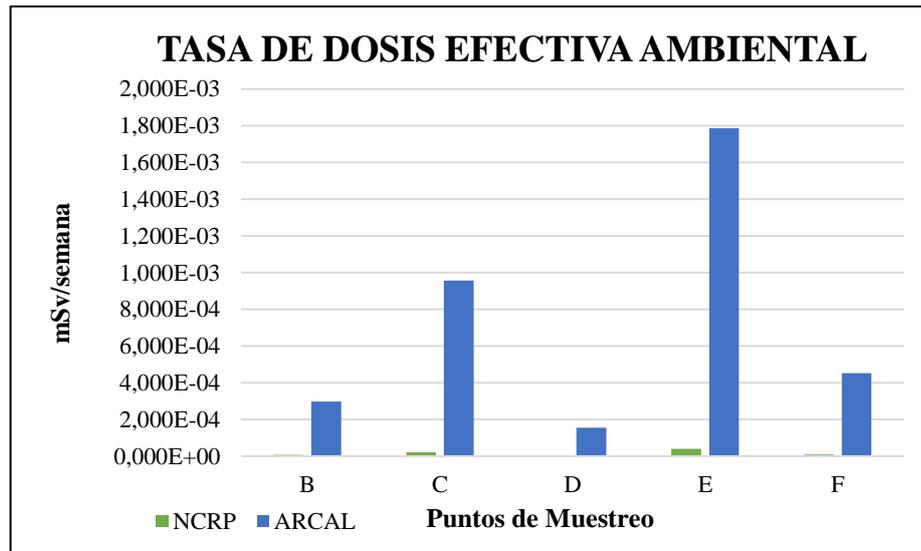


Gráfico 3-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana obtenidas por el NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 1

Realizado por: Chisag E, 2019

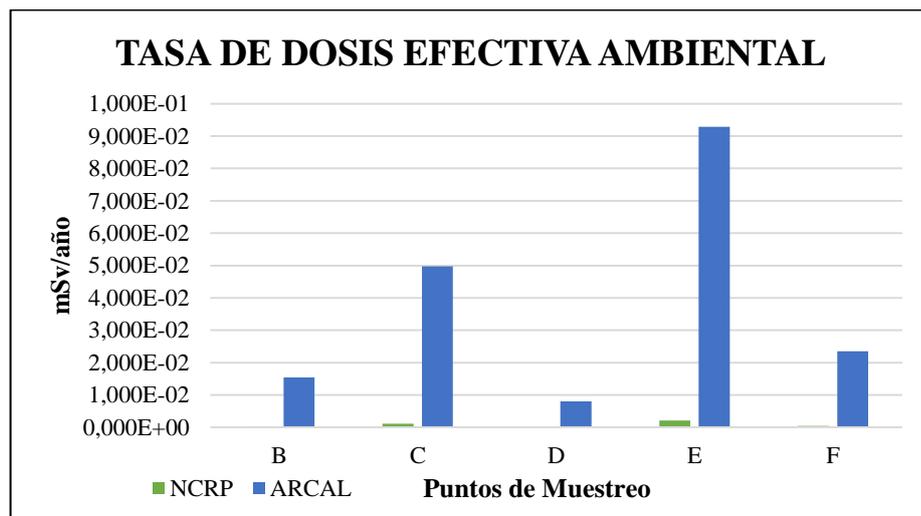


Gráfico 4-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año obtenidas por el NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 1

Realizado por: Chisag E, 2019

En el Gráfico 3-4 se presentan las tasas de dosis efectiva ambiental en $mSv/semana$ dadas en la Tabla 4-4, en la cual se puede observar que el valor $4.002E-05 mSv/semana$ que corresponde al punto E (área controlada) es el valor mas alto y $8.113E-06 mSv/semana$ que corresponde al punto F (área no controlada) es el mas bajo. Por otro lado, respecto al ARCAL el punto con mayor tasa de dosis efectiva es el punto E con $1.787E-05 mSv/semana$ y el punto D el mas bajo con un valor de $1.546E-04 mSv/semana$.

Mientras que, en el Gráfico 4-4 se presenta las tasas de dosis ambientales en $mSv/año$ obtenidas en los diferentes puntos críticos, en la cual se determina que E es el punto con mayor tasa de dosis efectiva ambiental de $9.290E-02 mSv/año$ respecto al ARCAL y $2.081E-03 mSv/año$ respecto al NCRP; estos valores al comparados con los valores referenciales de las dos entidades, se verifica que están dentro de los límites permisibles.

4.1.2 Instalación 2

El punto E de la Tabla 5-4 contiene 10 datos, los cuales se obtubieron en la chapa y mitad de la puerta, en el cual el valor mayor tomado para la determinacion de la tasa de dosis efectiva ambiental fue el de la chapa. En la Tabla 7-4 de la instalación de TC no muestran el punto A y B debido a que los puntos se encontraban en el vecidario, lugar donde no fue factible el ingreso y pese al mismo la toma de datos.

Tabla 5-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 2

Punto	\dot{D} medida [$\mu Sv/h$]	Radiación de fondo [$\mu Sv/h$]	\dot{D} medida corregida [$\mu Sv/h$]	Factor de calibración	\dot{D} medida corregida [$\mu Sv/h$]	Media	Desviación estándar
A	5.260	0.180	5.080	1.06	5.385	15.381	13.664
	4.310		4.130		4.378		
	6.350		6.170		6.540		
	29.820		29.640		31.418		
	27.710		27.530		29.182		
B	0.320	0.180	0.140	1.06	0.148	0.151	0.091
	0.460		0.280		0.297		
	0.280		0.100		0.106		
	0.320		0.140		0.148		
	0.230		0.050		0.053		

	0.320		0.140		0.148		
	0.320		0.140		0.148		
C	0.270	0.180	0.090	1.06	0.095	0.159	0.081
	0.280		0.100		0.106		
	0.460		0.280		0.297		
	0.270		0.090		0.095		
	0.360		0.180		0.191		
D	0.320	0.180	0.140	1.06	0.148	0.136	0.061
	0.230		0.050		0.053		
	0.180		0.180		0.191		
	68.120		67.940		72.016		
	54.730		54.550		57.823		
	52.930		52.750	1.06	55.915		
	49.530		49.350		52.311		
E	11.710	0.180	11.530		12.222	28.703	27.656
	0.630		0.450		0.477		
	1.330		1.150		1.219		
	1.870		1.690		1.791		
	19.020		18.840		19.970		
	12.710		12.530		13.282		
	9.080		8.900		9.434		
	159.300		159.120		168.667		
F	116.600	0.180	116.420	1.06	123.405	237.839	207.183
	332.500		332.320		352.259		
	505.300		505.120		535.427		

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 6-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 2

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ $\left[\frac{mSv}{mA * min} \right]$	U	T	W $\left[\frac{mA * min}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{sem} \right]$	\ddot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{año} \right]$	P
NCRP.147	A	NC	2.618E-06	1	1/5	100	5.236E-05	2.723E-03	Ok
	B	C	2.473E-08		1		4.947E-08	2.572E-06	Ok
	C	C	2.473E-08		1		4.947E-08	2.572E-06	Ok
	D	C	1.590E-08	0.02	1		3.180E-08	1.654E-06	Ok
	E	C	6.001E-06		1		1.200E-05	6.241E-04	Ok
	F	NC	4.462E-05		1/5		1.785E-05	9.281E-04	Ok
ARCAL XLIX	A	NC	2.618E-06	0.3	1/4	160	3.142E-05	1.634E-03	Ok
	B	C	2.473E-08	1	1		3.957E-06	2.058E-04	Ok

C	C	2.473E-08	1	3.957E-06	2.058E-04	Ok
D	C	1.590E-08	1	2.544E-06	1.323E-04	Ok
E	C	6.001E-06	1	9.602E-04	4.993E-02	Ok
F	NC	4.462E-05	1/4	1.785E-03	9.281E-02	Ok

Realizado por: Chisag E, 2019

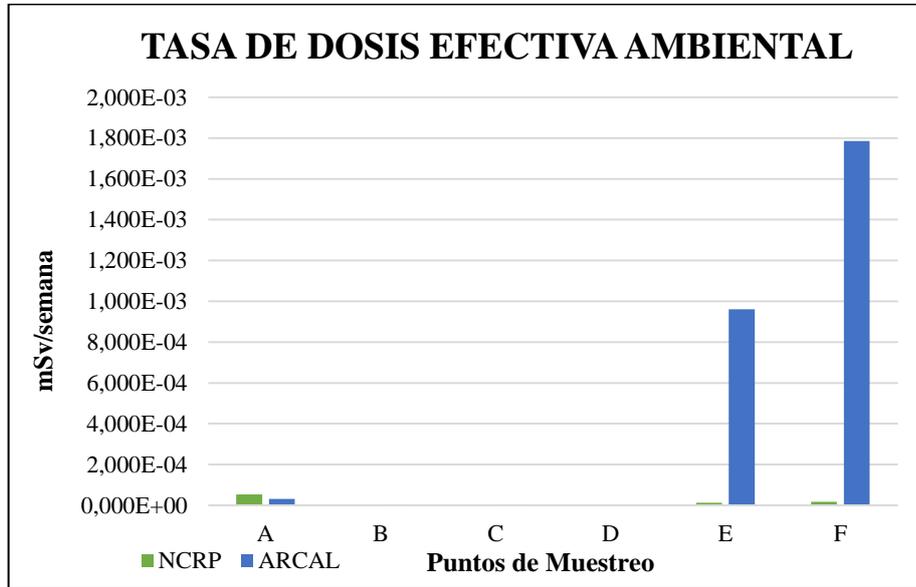


Gráfico 5-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 2

Realizado por: Chisag E, 2019

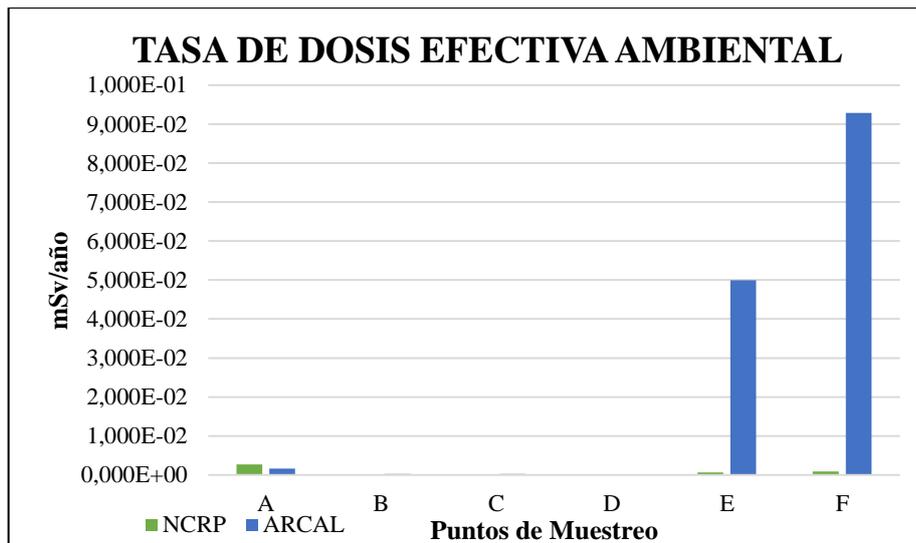


Gráfico 6-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 2

Realizado por: Chisag E, 2019

En el Gráfico 5-4, se observa barras que corresponden a las tasas de dosis efectivas ambientales en *mSv/semana* presente en los puntos críticos, respecto al NCRP con color verde y respecto al ARCAL con azul. NCRP, el valor más bajo es $3.180\text{E-}08$ *mSv/semana* que corresponde al punto D y el valor mas alto de tasa de dosis efectiva ambiental pertenece al punto A con un valor de $5.236\text{E-}05$ *mSv/semana*. Por otro lado, respecto al ARCAL el punto F con $1.785\text{E-}03$ *mSv/semana* es el valor mas alto y el punto D el mas bajo con un valor de $2.444\text{E-}06$ *mSv/semana*. En cambio en el Gráfico 6-4, se visualiza las barras que corresponden a la tasa de dosis efectiva ambiental en *mSv/año* presente en los puntos críticos respecto al NCRP y ARCAL. El valor $2.723\text{E-}03$ *mSv/año* pertenece al punto A, al cual se le considera el valor más alto respecto al NCRP, y el valor de $9.281\text{E-}02$ *mSv/año* en el punto F respecto al ARCAL.

Al analizar los Gráficos de la tasa de dosis efectiva ambiental en *mSv/semana* y *mSv/año*, se puede notar que los valores obtenidos respecto al NCRP y ARCAL están muy por debajo de los límites permitidos.

Tabla 7-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 2

Punto	\dot{D} medida [$\mu\text{Sv/h}$]	Radiación de fondo [$\mu\text{Sv/h}$]	\dot{D} medida corregida [$\mu\text{Sv/h}$]	Factor de calibración	\dot{D} medida corregida [$\mu\text{Sv/h}$]	Media	Desviación estándar
C	1.500	0.180	1.320	1.060	1.399	1.225	0.396
	1.520		1.340		1.420		
	1.390		1.210		1.283		
	1.590		1.410		1.495		
	0.680		0.500		0.530		
	0.420		0.240		0.254		
D	0.320	0.180	0.140	1.060	0.148	0.131	0.077
	0.280		0.100		0.106		
	0.230		0.050		0.053		
	0.270		0.090		0.095		
	61.400		61.220		64.893		
E	1.710	0.180	1.530	1.060	1.622	35.578	30.904
	55.460		55.280		58.597		
	47.290		47.110		49.937		
	2.860		2.680		2.841		
	4.000		3.820		4.049		
F	3.310	0.180	3.130	1.060	3.318	2.198	1.705
	2.860		2.680		2.841		

0.640	0.460	0.488
0.460	0.280	0.297

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 8-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 2

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ $\left[\frac{mSv}{mA * min} \right]$	U	T	W $\left[\frac{mA * min}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{año} \right]$	P
NCRP.147	C	C	2.265E-07	0.02	1	902	4.085E-06	2.124E-04	Ok
	D	C	3.855E-08		1		6.954E-07	3.616E-05	Ok
	E	C	9.832E-06		1		1.774E-04	9.223E-03	Ok
	F	NC	6.135E-07		1/5		2.214E-06	1.151E-04	Ok
ARCAL XLIX	C	C	2.265E-07	1	1	5000	1.132E-03	5.888E-02	Ok
	D	C	3.855E-08		1		1.927E-04	1.002E-02	Ok
	E	C	9.832E-06		1		4.916E-02	2.556E+00	Ok
	F	NC	6.135E-07		1/4		7.669E-04	3.834E-02	Ok

Realizado por: Chisag E, 2019

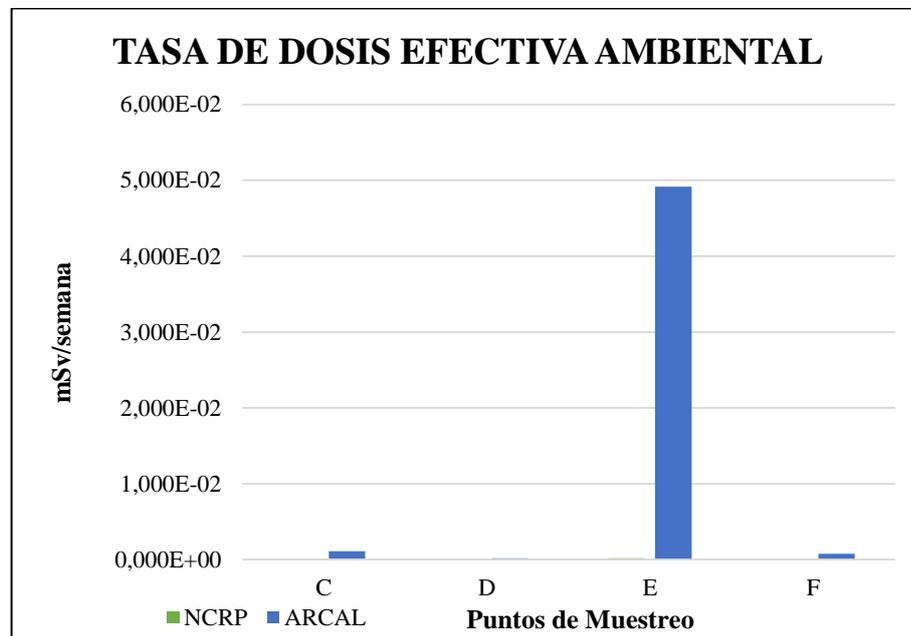


Gráfico 7-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 2

Realizado por: Chisag E, 2019

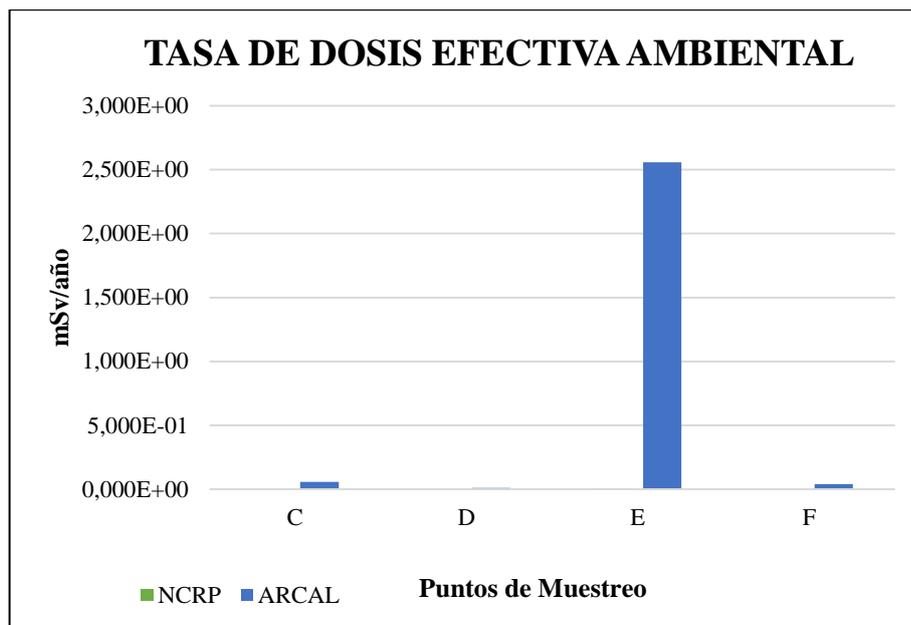


Gráfico 8-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 2

Realizado por: Chisag E, 2019

Al observar el Gráfico 7-4 se determinó que el punto E presenta la mayor tasa de dosis efectiva ambiental con el valor de $1.774E-04$ mSv/semana, y el punto D el más bajo que corresponde al valor de $6.954E-07$ mSv/semana, que al compararlos con los valores referenciales del NCRP, se verifica que están dentro de los límites permisibles. Por otro parte, respecto al ARCAL el punto con mayor tasa de dosis efectiva es el punto E con $4.916E-02$ mSv/semana y, el punto D el más bajo con $1.9274E-04$ mSv/semana.

En el Gráfico 8-4 se muestra que el punto E tiene un valor $9.223E-03$ mSv/año, siendo el más alto respecto al NCRP y $2.556E+00$ mSv/año respecto al ARCAL. De este modo se concluye que, en la sala de TC, el punto E tanto para el NCRP y ARCAL es el punto con mayor tasa de dosis efectiva ambiental que el POE recibe en un año, ya que este punto corresponde a la puerta que colida la sala de comando, mismo que se encuentra dentro de los límites permisibles.

4.1.3 Instalación 3

En la Tabla 9-4, el punto F y en la Tabla 11-4, el punto G presentan 10 datos obtenidos, esto se debe a que se midió la tasa de dosis en la chapa y mitad de la puerta. Los valores más altos se dieron en la chapa, valor que se utilizó para obtener la tasa de dosis efectiva ambiental en el área.

Tabla 9-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 3

Punto	\dot{D} medida [$\mu\text{Sv/h}$]	Radiación de fondo [$\mu\text{Sv/h}$]	\dot{D} medida corregida [$\mu\text{Sv/h}$]	Factor de calibración	\dot{D} medida corregida [$\mu\text{Sv/h}$]	Media	Desviación estándar
A	15.570	0.270	15.300	1.060	16.218	16.237	8.090
	13.820		13.550		14.363		
	21.780		21.510		22.801		
	22.920		22.650		24.009		
	3.850		3.580		3.795		
B	7.179	0.270	6.909	1.060	7.323	4.431	5.186
	1.267		0.997		1.057		
	1.243		0.973		1.032		
	0.751		0.481		0.510		
	11.812		11.542		12.234		
C	20.240	0.270	19.970	1.060	21.168	13.579	10.622
	20.380		20.110		21.317		
	20.560		20.290		21.507		
	2.590		2.320		2.459		
	1.630		1.360		1.442		
D	3.060	0.270	2.790	1.060	2.957	1.725	2.211
	0.540		0.270		0.286		
	0.530		0.260		0.276		
	0.320		0.050		0.053		
	5.035		4.765		5.051		
E	3.480	0.270	3.210	1.060	3.403	0.909	1.394
	0.140		0.270		0.286		
	0.190		0.270		0.286		
	0.920		0.270		0.286		
	0.090		0.270		0.286		
F	13.070	0.270	12.800	1.060	13.568	56.782	63.856
	16.290		16.020		16.981		

2.720		2.450		2.597			
8.510		8.240		8.734			
5.990		5.720		6.063			
112.500		112.230		118.964			
144.700		144.430		153.096			
1.600		1.330		1.410			
129.800		129.530		137.302			
103.200		102.930		109.106			
130.500		130.230		138.044			
56.090		55.820		59.169			
G	0.270	120.930	1.060	128.186	118.368	33.355	
		128.730		136.454			
		122.630		129.988			

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 10-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 3

Organismo Internacional	PUNTO	Tipo de área	$\frac{D}{I} * 60$ $\left[\frac{mSv}{mA * min} \right]$	U	T	W $\left[\frac{mA * min}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{sem} \right]$	\ddot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{año} \right]$	P
NCRP.147	A	NC	3.740E-06	1	1	100	3.740E-04	1.945E-02	Ok
	B	NC	1.906E-06		1/40		9.528E-08	4.955E-06	Ok
	C	C	3.350E-06		1		6.700E-06	3.484E-04	Ok
	D	NC	7.867E-07	0.02	1/40		3.934E-08	2.046E-06	Ok
	E	NC	5.300E-07		1/5		2.120E-07	1.102E-05	Ok
	F	NC	2.385E-05		1		4.769E-05	2.480E-03	Ok
	G	C	2.150E-05		1		4.300E-05	2.236E-03	Ok
ARCAL XLIX	A	NC	3.740E-06	0.3	1	80	8.975E-05	4.667E-03	Ok
	B	NC	1.906E-06		1/16		4.764E-06	2.477E-04	Ok
	C	C	3.350E-06		1		2.680E-04	1.394E-02	Ok
	D	NC	7.867E-07	1	1/16		1.967E-06	1.023E-04	Ok
	E	NC	5.300E-07		1/4		1.060E-05	5.512E-04	Ok
	F	NC	2.385E-05		1/4		4.769E-04	2.480E-02	Ok
	G	C	2.150E-05		1		1.720E-03	8.945E-02	Ok

Realizado por: Chisag E, 2019

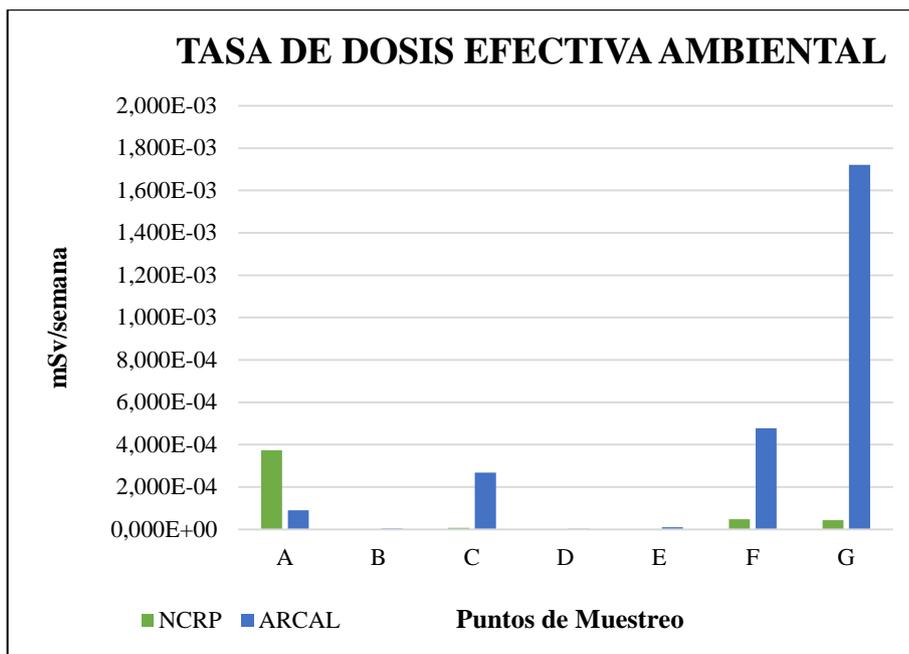


Gráfico 9-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 3

Realizado por: Chisag E, 2019

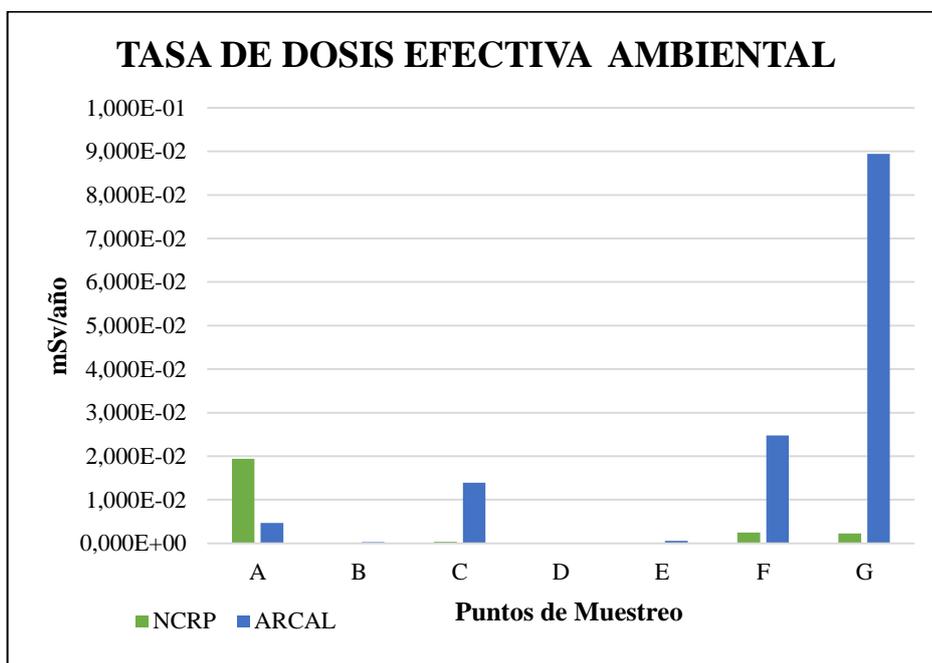


Gráfico 10-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 3

Realizado por: Chisag E, 2019

En base a la Tabla 10-4, el Gráfico 9-4 muestra que respecto al NCRP el punto A presenta la mayor tasa de dosis efectiva ambiental con el valor de $3.740E-04$ *mSv/semana*, y el punto D el más bajo con un valor de $3.934E-08$ *mSv/semana* ; respecto al ARCAL el punto G tiene la mayor tasa de dosis efectiva de $1.720E-03$ *mSv/semana* y el punto D el más bajo con $1.967E-06$ *mSv/semana*. Mientras que en el Gráfico 10-4 que representa la tasa de dosis efectiva ambiental en *mSv/año*, se observa que el punto A con el valor de $1.945E-02$ *mSv/año* es el valor mas alto respecto al NCRP y el punto G con el valor de $8.945E-02$ *mSv/año* es el mas alto respecto al ARCAL. Con esto se quiere decir que el punto con mayor tasa de dosis efectiva ambiental presente en la sala de RX respecto a las dos entidades se encuentra en dos diferentes puntos, mismos que al ser comparados con los límites permisibles se encuentran dentro de estos valores.

Tabla 11-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 3

Punto	\dot{D} medida [μ Sv/h]	Radiación de fondo [μ Sv/h]	\dot{D} medida corregida [μ Sv/h]	Factor de calibración	\dot{D} medida corregida [μ Sv/h]	Media	Desviación estándar
A	1.130	0.180	0.950	1.060	1.007	1.957	1.919
	0.480		0.300		0.318		
	4.010		3.830		4.060		
	3.970		3.790		4.017		
	0.540		0.360		0.382		
B	0.600	0.180	0.420	1.060	0.445	1.153	1.925
	0.520		0.340		0.360		
	0.430		0.250		0.265		
	4.510		4.330		4.590		
	0.280		0.100		0.106		
C	0.910	0.180	0.730	1.060	0.774	1.338	0.973
	1.540		1.360		1.442		
	2.770		2.590		2.745		
	1.670		1.490		1.579		
	0.320		0.140		0.148		
D	0.778	0.180	0.598	1.060	0.634	1.552	2.496
	0.674		0.494		0.524		
	0.557		0.377		0.400		
	5.847		5.667		6.007		
	0.363		0.183		0.194		
E	116.800	0.180	116.620	1.060	123.617	83.363	52.624
	52.300		52.120		55.247		
	3.520		3.340		3.540		
	112.100		111.920		118.635		
	109.400		109.220		115.773		

	408.200		408.020		432.501		
	402.300		402.120		426.247		
F	448.100	0.180	447.920	1.060	474.795	453.150	25.974
	458.100		457.920		485.395		
	421.700		421.520		446.811		
	0.740		0.560		0.594		
	0.520		0.340		0.360		
	0.230		0.050		0.053		
	0.280		0.100		0.106		
G	5.520	0.180	5.340	1.060	5.660	85.207	137.304
	10.620		10.440		11.066		
	11.030		10.850		11.501		
	190.200		190.020		201.421		
	232.100		231.920		245.835		
	354.400		354.220		375.473		

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 12-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 3

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{D}{T} * 60$ $\left[\frac{mSv}{mA * min} \right]$	U	T	W $\left[\frac{mA * min}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{sem} \right]$	\ddot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{año} \right]$	P
NCRP.147	A	NC	3.759E-07		1		2.422E-05	1.260E-03	Ok
	B	NC	4.250E-07		1/40		6.846E-07	3.560E-05	Ok
	C	C	2.542E-07		1		1.638E-05	8.518E-04	Ok
	D	NC	5.562E-07	0.02	1/40	3222	8.961E-07	4.660E-05	Ok
	E	NC	1.145E-05		1		7.376E-04	3.835E-02	Ok
	F	NC	4.494E-05		1/40		7.240E-05	3.765E-03	Ok
	G	C	2.276E-05		1		1.467E-03	7.627E-02	Ok
ARCAL XLIX	A	NC	3.759E-07		1/4		4.699E-04	2.443E-02	Ok
	B	NC	4.250E-07		1/16		1.328E-04	6.906E-03	Ok
	C	C	2.542E-07		1		1.271E-03	6.609E-02	Ok
	D	NC	5.562E-07	1	1/32	5000	8.691E-05	4.519E-03	Ok
	E	NC	1.145E-05		1/4		1.431E-02	7.440E-01	Ok
	F	NC	4.494E-05		1/32		7.023E-03	3.652E-01	Ok
	G	C	2.276E-05		1		1.138E-01	5.918E+00	X

Realizado por: Chisag E, 2019

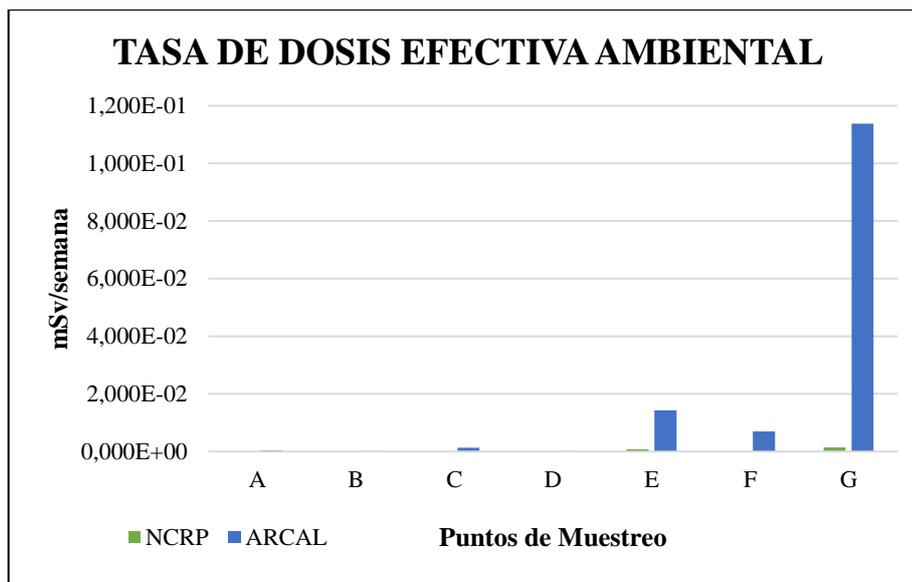


Gráfico 11-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 3

Realizado por: Chisag E, 2019

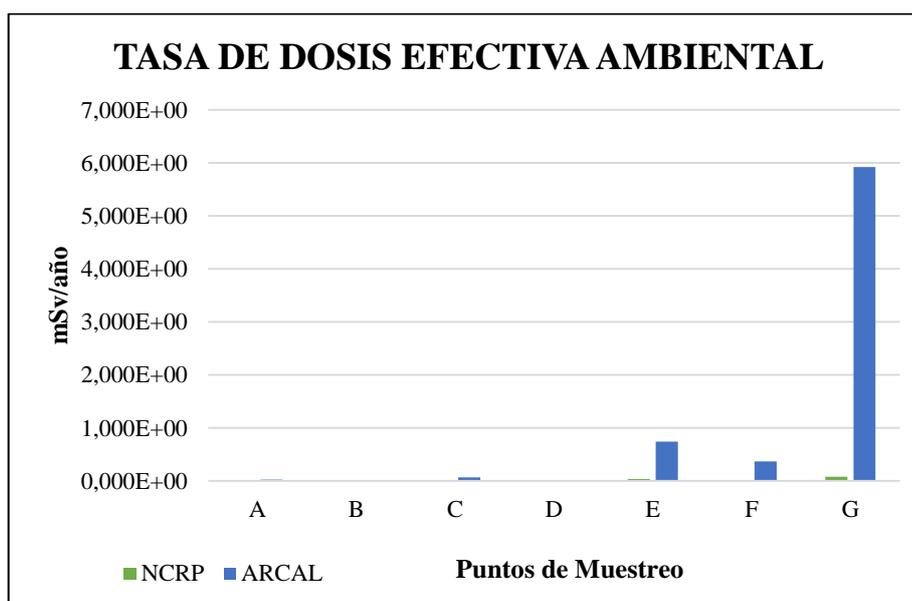


Gráfico 12-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 3

Realizado por: Chisag E, 2019

El Gráfico 11-4, muestra que de los valores obtenidos con los parámetros del NCRP, el punto G presenta la mayor tasa de dosis efectiva ambiental con el valor de $1.467E-03$ mSv/semana, y el punto B el más bajo que corresponde al valor de $6.846E-07$ mSv/semana; Por otro lado, respecto

al ARCAL el punto con mayor tasa de dosis efectiva es el punto G con $1.138\text{E}-01 \text{ mSv/semana}$ y $8.691\text{E}-05 \text{ mSv/semana}$ el valor más bajo que corresponde al punto D.

Mientras que los valores del Gráfico 12-4, muestra que el punto G es el que presenta mayor tasa de dosis efectiva ambiental en mSv/año , tanto para el NCRP y ARCAL, en la cual el valor de $7.627\text{E}-02 \text{ mSv/año}$ corresponde al NCRP y $5.918\text{E}+00 \text{ mSv/año}$ al ARCAL.

Estos valores al compararlos con los valores referenciales por el ARCAL, se verifica que el punto G que es un área controlada correspondiente a la chapa de la puerta que conecta la sala de procedimientos y la sala de comando está fuera de los límites permisibles con un valor de 0.918 mSv/año que corresponde al 18.36% de la dosis permitida.

4.1.4 Instalación 4

En la Tabla 13.4 se puede observar que no se obtuvieron datos del punto C y D, y en la Tabla 15-4 no existen datos del punto D, esto se debe a la falta de acceso a estos puntos, debido a que pertenecían al vecindario. Además, el punto B presenta 10 datos, mismos que se obtuvieron al medir detrás de la chapa y mitad de la puerta.

Tabla 13-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 4

Punto	\dot{D} medida [$\mu\text{Sv/h}$]	Radiación de fondo [$\mu\text{Sv/h}$]	\dot{D} medida corregida [$\mu\text{Sv/h}$]	Factor de calibración	\dot{D} medida corregida [$\mu\text{Sv/h}$]	Media	Desviación estándar
A	8.580	0.210	8.370	1.060	8.872	4.179	3.038
	2.790		2.580		2.735		
	3.750		3.540		3.752		
	4.780		4.570		4.844		
	0.860		0.650		0.689		
B	5.720	0.210	5.510	1.060	5.841	436.126	453.012
	3.220		3.010		3.191		
	531.200		530.990		562.849		
	904.000		903.790		958.017		
	6.780		6.570		6.964		

	65.940		65.730		69.674		
	827.700		827.490		877.139		
	994.600		994.390		1054.053		
	747.900		747.690		792.551		
	29.440		29.230		30.984		
	84.550		84.340		89.400		
	420.800		420.590		445.825		
E	2.520	0.210	2.310	1.060	2.449	110.357	191.053
	2.700		2.490		2.639		
	11.030		10.820		11.469		
	61.130		60.920		64.575		
	60.320		60.110		63.717		
F	5.560	0.210	5.350	1.060	5.671	56.205	56.075
	5.260		5.050		5.353		
	133.900		133.690		141.711		

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 14-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 4

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ $\left[\frac{mSv}{mA * min} \right]$	U	T	W $\left[\frac{mA * min}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{sem} \right]$	\bar{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{año} \right]$	P
NCRP.147	A	NC	7.394E-07	1	1/2	100	3.697E-05	1.922E-03	Ok
	B	C	8.784E-05		1		1.757E-04	9.135E-03	Ok
	E	C	3.715E-05	0.02	1		7.430E-05	3.864E-03	Ok
	F	C	1.181E-05		1		2.362E-05	1.228E-03	Ok
ARCAL XLIX	A	NC	7.394E-07	0.3	1	160	3.549E-05	1.845E-03	Ok
	B	C	8.784E-05		1		1.405E-02	7.308E-01	Ok
	E	C	3.715E-05	1	1		5.944E-03	3.091E-01	Ok
	F	C	1.181E-05		1		1.889E-03	9.825E-02	Ok

Realizado por: Chisag E, 2019

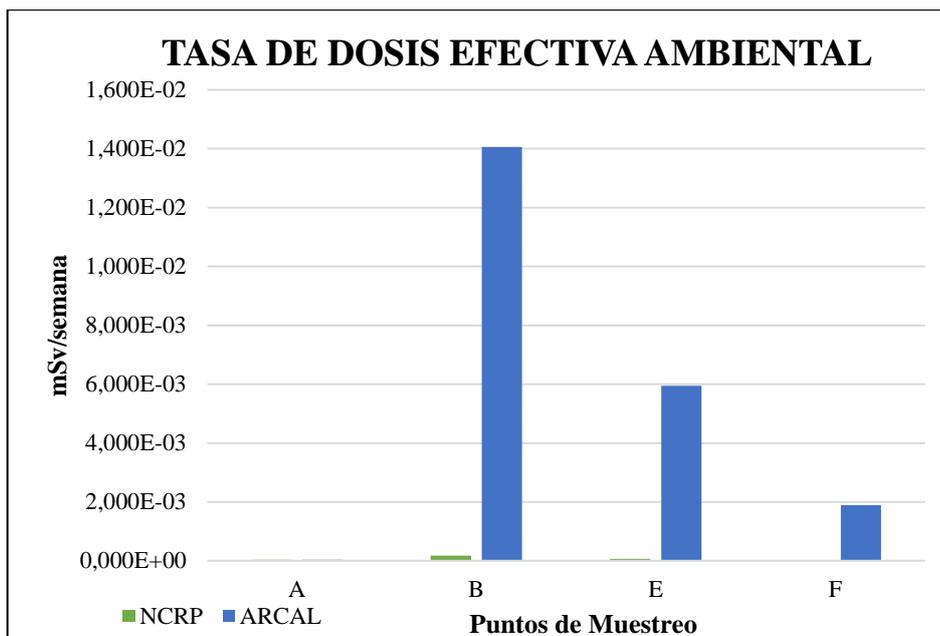


Gráfico 13-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 4

Realizado por: Chisag E, 2019

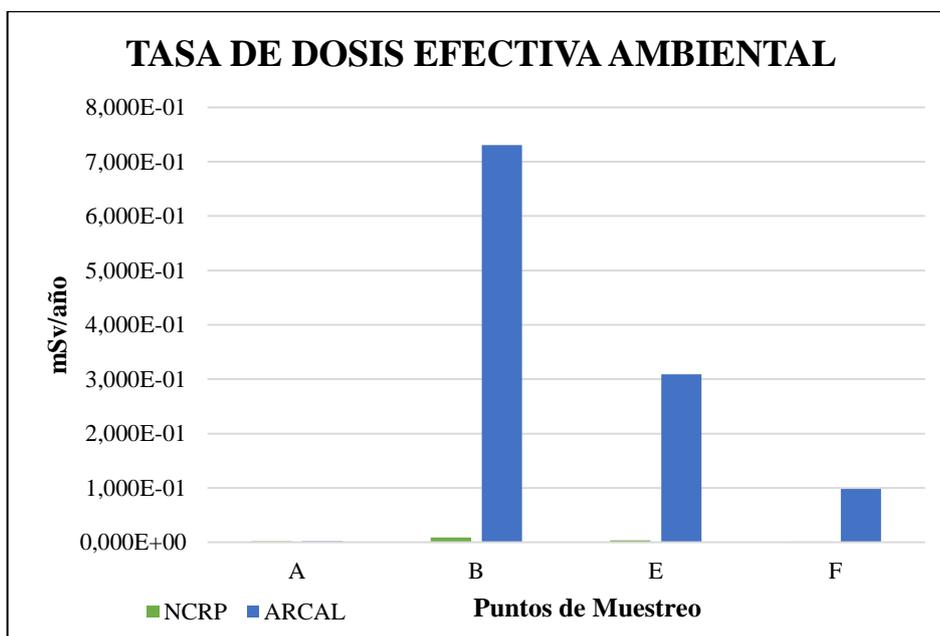


Gráfico 14-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 4

Realizado por: Chisag E, 2019

Los valores de tasas de dosis efectiva ambiental encontrados en la sala de RX de la instalación 4 se presentan en el Gráfico 13-4, en la cual se puede observar que con relación al NCRP, el punto B tuvo una medida de $1.757E-04$ *mSv/semana* siendo la mayor tasa de dosis efectiva ambiental y, el punto F tuvo una medida de $2.362E-05$ *mSv/semana*, siendo el más bajo; estos dos puntos son áreas controladas que al compararlos con los valores referenciales se verifica que están dentro de los límites permisibles. Por otro lado, respecto al ARCAL el punto con mayor tasa de dosis efectiva es el punto B con $1.405E-02$ *mSv/semana* que está dentro de 0.10 *mSv/semana* y, el punto A el más bajo, con $3.549E-05$ *mSv/semana*, valor que está dentro del 0.01 *mSv/semana* que son los límites permitidos.

En el Gráfico 14-4, se puede observar los valores de tasa de dosis efectiva en *mSv/año* encontrados en la sala de RX, mediante la cual se determina que respecto a las dos organizaciones internacionales el punto con mayor tasa de dosis efectiva ambiental es el punto B, con un valor de $9.135E-03$ *mSv/año* en relación al NCRP y con un valor de $7.308E-01$ *mSv/año* en relación al ARCAL, valores que se encuentran dentro de los límites permisibles.

Tabla 15-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 4

Punto	\dot{D} medida [μ Sv/h]	Radiación de fondo [μ Sv/h]	\dot{D} medida corregida [μ Sv/h]	Factor de calibración	\dot{D} medida corregida [μ Sv/h]	Media	Desviación estándar
A	1.248	0.180	1.068	1.060	1.132	1.393	0.467
	1.715		1.535		1.627		
	1.157		0.977		1.035		
	2.170		1.990		2.110		
	1.183		1.003		1.063		
B	0.960	0.180	0.780	1.060	0.827	1.028	0.360
	1.320		1.140		1.208		
	0.890		0.710		0.753		
	1.670		1.490		1.579		
	0.910		0.730		0.774		
C	1.180	0.180	1.000	1.060	1.060	0.971	0.154
	1.270		1.090		1.155		
	0.990		0.810		0.859		
	0.910		0.730		0.774		
	1.130		0.950		1.007		
E	7.010	0.180	6.830	1.060	7.240	6.667	0.663
	6.290		6.110		6.477		

	7.050		6.870		7.282		
	5.520		5.340		5.660		
	6.480		6.300		6.678		
	0.690		0.510		0.541		
	0.540		0.360		0.382		
F	0.410	0.180	0.230	1.060	0.244	0.369	0.109
	0.520		0.340		0.360		
	0.480		0.300		0.318		

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 16-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 4

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ $\left[\frac{mSv}{mA * min} \right]$	U	T	W $\left[\frac{mA * min}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{sem} \right]$	\ddot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{año} \right]$	P
NCRP.147	A	NC	1.435E-07		1		6.705E-06	3.486E-04	Ok
	B	C	1.074E-07		1		5.020E-06	2.610E-04	Ok
	C	C	7.860E-08	0.02	1	2336	3.672E-06	1.910E-04	Ok
	E	NC	4.954E-07		1/5		4.629E-06	2.407E-04	Ok
	F	C	3.678E-08		1		1.718E-06	8.934E-05	Ok
ARCAL XLIX	A	NC	1.435E-07		1		7.175E-04	3.731E-02	Ok
	B	C	1.074E-07		1		5.372E-04	2.793E-02	Ok
	C	C	7.860E-08	1	1	5000	3.930E-04	2.044E-02	Ok
	E	NC	4.954E-07		1/4		6.192E-04	3.220E-02	Ok
	F	C	3.678E-08		1		1.839E-04	9.562E-03	Ok

Realizado por: Chisag E, 2019

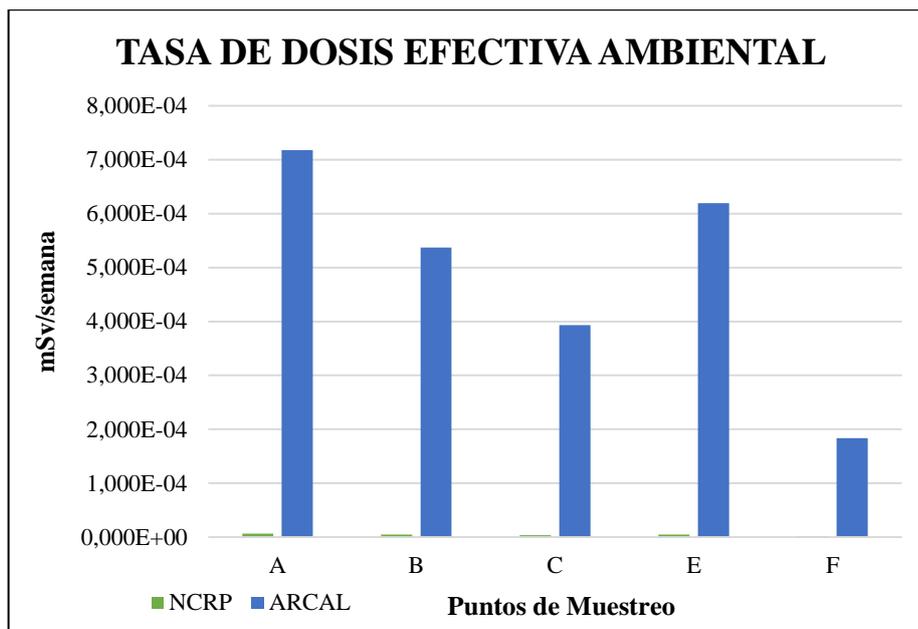


Gráfico 15-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 4

Realizado por: Chisag E, 2019

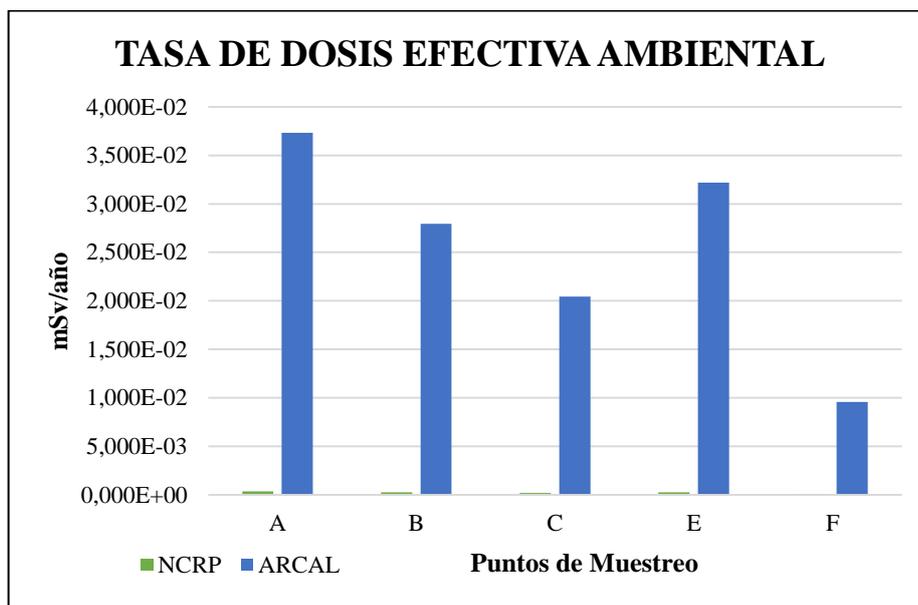


Gráfico 16-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 4

Realizado por: Chisag E, 2019

Tomando como base la Tabla 16-4, en el Gráfico 15-4 se puede observar que respecto al NCRP el punto A, presenta la mayor tasa de dosis efectiva ambiental con el valor de 6.705E-06

mSv/semana, y el punto F el más bajo y corresponde al valor de 1.718E-06 mSv/semana. Por otro lado, respecto al ARCAL el punto con mayor tasa de dosis efectiva es el punto A con 7.175E-04 mSv/semana y, el punto F el más bajo con 1.839E-04 mSv/semana, los cuales están dentro de los límites permitidos.

El Gráfico 16-4 representa los valores de tasa de dosis efectiva en mSv/año encontrados en los puntos críticos de la sala de TC mediante los valores propuestos por el NCRP y ARCAL. El punto con mayor tasa de dosis efectiva ambiental es el A. Respecto al NCRP el valor es de 3.486E-04 mSv/año y 3.731E-02 mSv/año respecto al ARCAL. Por consiguiente, se concluye que en relación a las dos organizaciones los valores presentados están dentro de los límites permisibles.

4.1.5 Instalación 5

En la Tabla 17-4 se puede observar que no se obtuvieron datos del punto A y B y que el punto F contiene 10 datos que corresponden a la chapa y mitad de la puerta de ingreso. Mientras que, en la Tabla 19-4 no existen los datos del punto E, esto se debe a la falta de acceso a estos puntos, debido a que pertenecían al vecindario.

Tabla 17-4: Tasas de dosis en los puntos de críticos de la sala de RX de la Instalación 5

Punto	\dot{D} medida [μ Sv/h]	Radiación de fondo [μ Sv/h]	\dot{D} medida corregida [μ Sv/h]	Factor de calibración	\dot{D} medida corregida [μ Sv/h]	Media	Desviación Estándar
C	0.290	0.180	0.290	1.06	0.307	5.709	5.222
	2.240		2.240		2.374		
	3.680		3.680		3.901		
	8.260		8.260		8.756		
	12.460		12.460		13.208		
D	0.490	0.180	0.310	1.06	0.329	0.693	0.447
	1.460		1.280		1.357		
	0.560		0.380		0.403		
	0.580		0.400		0.424		
	1.080		0.900		0.954		

	71.890		71.710		76.013		
	63.040		62.860		66.632		
E	375.100	0.180	374.920	1.06	397.415	244.381	238.138
	86.110		85.930		91.086		
	557.500		557.320		590.759		
	17.250		17.070		18.094		
	13.430		13.250		14.045		
	8.260		8.080		8.565		
	14.020		13.840		14.670		
F	33.490	0.180	33.310	1.06	35.309	55.940	59.655
	39.350		39.170		41.520		
	132.300		132.120		140.047		
	7.240		7.060		7.484		
	113.700		113.520		120.331		
	150.500		150.320		159.339		

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 18-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 5

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ $\left[\frac{mSv}{mA * min} \right]$	U	T	W $\left[\frac{mA * min}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{año} \right]$	P
NCRP.147	C	C	1.468E-06		1	320	9.392E-06	4.884E-04	Ok
	D	NC	1.508E-07	0.02	1/2		4.824E-07	2.509E-05	Ok
	E	NC	6.564E-05		1		4.201E-04	2.184E-02	Ok
	F	NC	1.770E-05		1/2		5.665E-05	2.946E-03	Ok
ARCAL XLIX	C	C	1.468E-06		1	160	2.348E-04	1.221E-02	Ok
	D	NC	1.508E-07	1	1/4		6.030E-06	3.136E-04	Ok
	E	NC	6.564E-05		1		1.050E-02	5.461E-01	X
	F	NC	1.770E-05		1/4		7.082E-04	3.683E-02	Ok

Realizado por: Chisag E, 2019

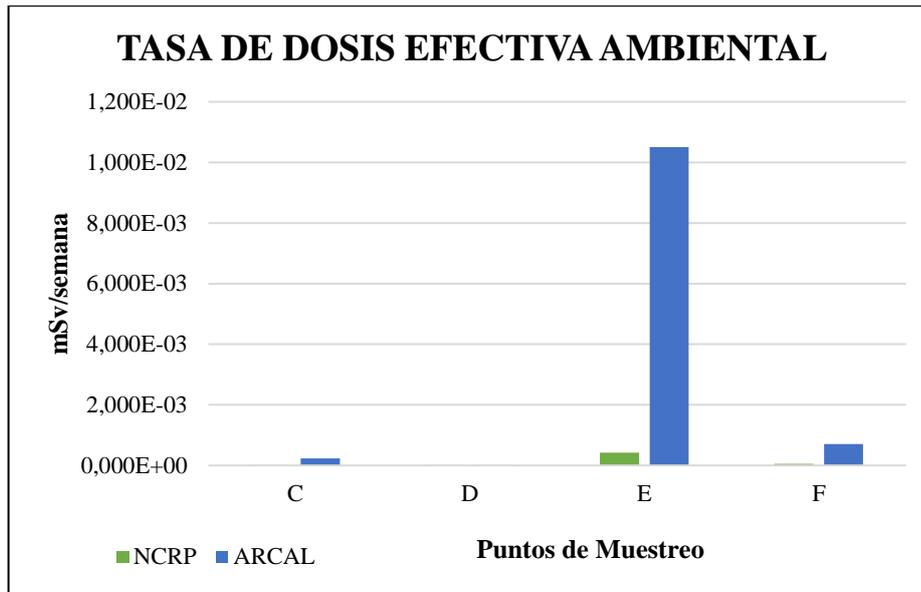


Gráfico 17-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 5

Realizado por: Chisag E, 2019

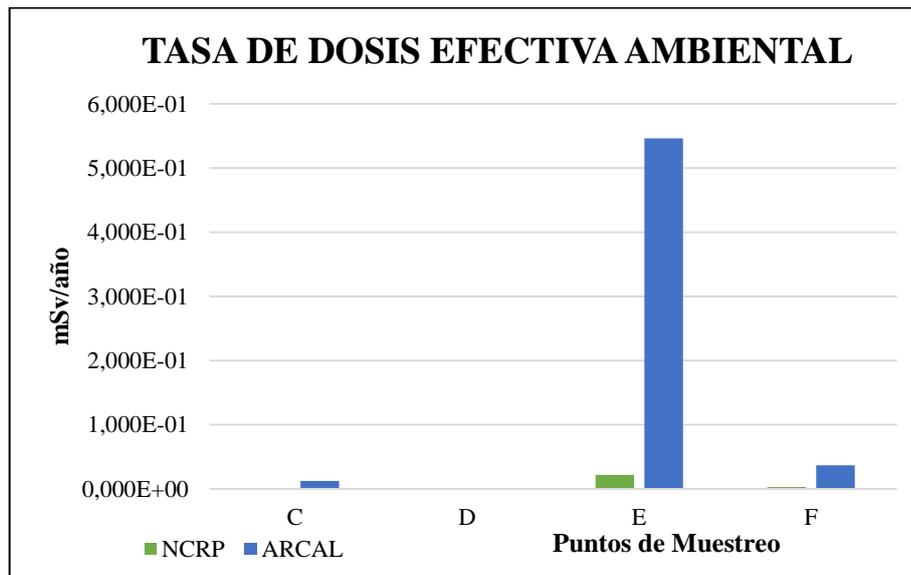


Gráfico 18-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 5

Realizado por: Chisag E, 2019

En el Gráfico 17-4, se observa las tasas de dosis efectiva ambiental en cada punto. En lo que se refiere al NCRP el punto E presenta la mayor tasa de dosis efectiva ambiental con el valor de $4.201E-04$ mSv/semana, y el punto D el más bajo y corresponde al valor de $4.824E-07$

mSv/semana. Por otro parte, respecto al ARCAL el punto con mayor tasa de dosis efectiva es el punto E con 1.050E-02 *mSv/semana* y el punto D el más bajo con 3.136E-04 *mSv/semana*, mismos que están dentro de los límites permitidos de 0.01 *mSv/semana*.

En el Gráfico 18-4 corresponde a la tasa de dosis efectiva ambiental en *mSv/año*, donde se observa que el punto E es el que presenta mayor tasa de dosis efectiva ambiental, en la cual el valor de 2.184E-02 *mSv/año* se refiere al NCRP y el 5.461E-01 *mSv/año* al ARCAL.

Al analizar estos gráficos se encontró que respecto al NCRP, todos los puntos se encuentran dentro de los límites permisibles; al contrario con el ARCAL se encontró que el punto E, que corresponde al baño del personal que se encuentra dentro de la sala de procedimientos, está fuera de los límites permisibles con el 9.2%.

Tabla 19-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 5

Punto	\dot{D} medida [$\mu\text{Sv/h}$]	Radiación de fondo [$\mu\text{Sv/h}$]	\dot{D} medida corregida [$\mu\text{Sv/h}$]	Factor de calibración	\dot{D} medida corregida [$\mu\text{Sv/h}$]	Media	Desviación Estándar
A	1.450	0.230	1.220	1.06	1.293	1.100	0.146
	1.370		1.140		1.208		
	1.230		1.000		1.060		
	1.160		0.930		0.986		
	1.130		0.900		0.954		
B	0.340	0.230	0.110	1.06	0.117	0.129	0.043
	0.310		0.080		0.085		
	0.400		0.170		0.180		
	0.320		0.090		0.095		
C	0.390	0.230	0.160	1.06	0.170	1.177	0.242
	1.140		0.910		0.965		
	1.070		0.840		0.890		
	1.600		1.370		1.452		
	1.500		1.270		1.346		
D	1.390	0.230	1.160	1.06	1.230	1.721	0.697
	1.090		0.860		0.912		
	2.770		2.540		2.692		
	1.410		1.180		1.251		
	2.180		1.950		2.067		

	1.820		1.590		1.685		
	0.510		0.280		0.297		
	0.500		0.270		0.286		
F	0.530	0.230	0.300	1.06	0.318	0.273	0.039
	0.460		0.230		0.244		
	0.440		0.210		0.223		
	25.240		25.010		26.511		
	13.660		13.430		14.236		
G	18.110	0.230	17.880	1.06	18.953	17.091	5.928
	10.930		10.700		11.342		
	13.830		13.600		14.416		

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 20-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 5

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ $\left[\frac{mSv}{mA * min} \right]$	U	T	W $\left[\frac{mA * min}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{año} \right]$	P	
NCRP.147	A	NC	2.155E-07		1/40	380	4.095E-08	2.129E-06	Ok	
	B	NC	3.003E-08		1/40		5.706E-09	2.967E-07	Ok	
	C	NC	2.420E-07	0.02	1/5		3.679E-07	1.913E-05	Ok	
	D	C	4.487E-07		1		3.410E-06	1.773E-04	Ok	
	F	NC	5.300E-08		1/40		1.007E-08	5.236E-07	Ok	
	G	NC	4.418E-06		1/5		6.716E-06	3.492E-04	Ok	
ARCAL XLIX	A	NC	2.155E-07			1/16	5000	6.735E-05	3.502E-03	Ok
	B	NC	3.003E-08			1/16		9.385E-06	4.880E-04	Ok
	C	NC	2.420E-07	1	¼	3.025E-04		1.573E-02	Ok	
	D	C	4.487E-07		1	2.244E-03		1.167E-01	Ok	
	F	NC	5.300E-08		1/32	8.281E-06		4.306E-04	Ok	
	G	NC	4.418E-06		¼	5.523E-03		2.872E-01	Ok	

Realizado por: Chisag E, 2019

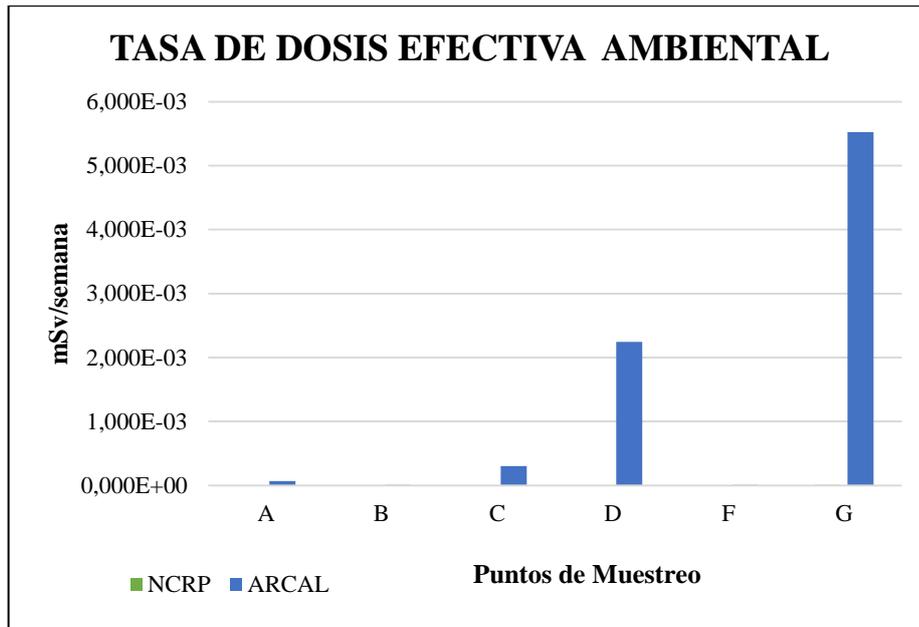


Gráfico 19-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 5

Realizado por: Chisag E, 2019

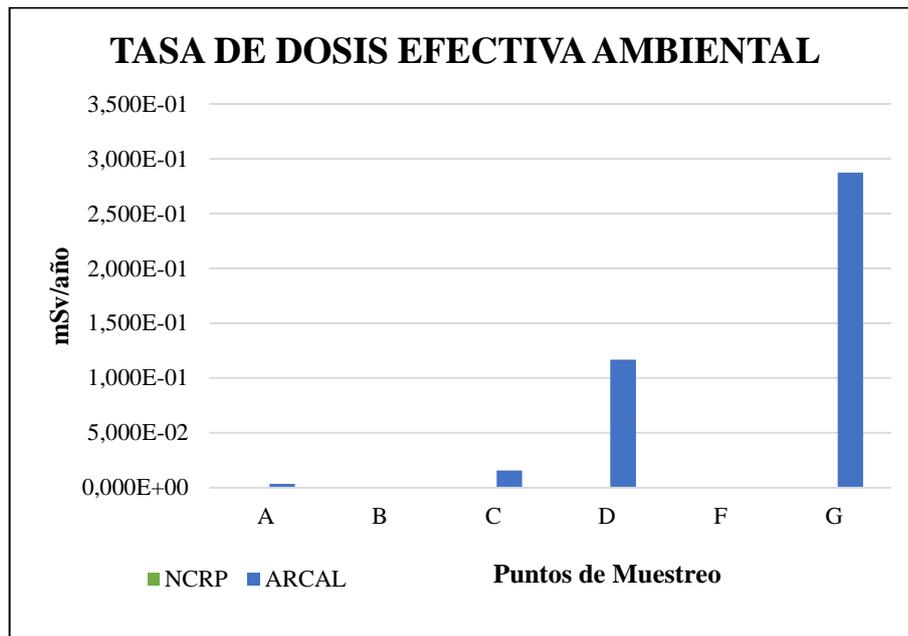


Gráfico 20-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 5

Realizado por: Chisag E, 2019

Tomando como base la Tabla 19-4, en el Gráfico 19-4 se puede observar que respecto al NCRP el punto G presenta la mayor tasa de dosis efectiva ambiental, con el valor de 6.716E-06 mSv/semana, y el punto B el más bajo y corresponde al valor de 5.706E-09 mSv/semana; estos dos puntos son áreas no controladas que al compararlos con los valores referenciales se verifica que están dentro de los límites permisibles. Respecto al ARCAL, el punto con mayor tasa de dosis efectiva es el punto G, con 5.523E-03 mSv/semana y, el punto F el más bajo con 8.281E-06 mSv/semana, mismos que están dentro de los límites permitidos.

Al observar el Gráfico 20-4 se encontró que respecto a las dos organizaciones el punto con mayor tasa de dosis efectiva ambiental es el G. Con referencia al NCRP el valor es de 3.492E-06 mSv/año y 2.872 mSv/año respecto al ARCAL, mismos que se encuentran dentro de los límites permisibles.

4.1.6 Instalación 6

Tabla 21-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 6

Punto	\dot{D} medida [μ Sv/h]	Radiación de fondo [μ Sv/h]	\dot{D} medida corregida [μ Sv/h]	Factor de calibración	\dot{D} medida corregida [μ Sv/h]	Media	Desviación estándar
A	0.230	0.180	0.050	1.060	0.053	0.089	0.050
	0.270		0.090		0.095		
	0.260		0.080		0.085		
	0.340		0.160		0.170		
	0.220		0.040		0.042		
B	0.280	0.180	0.100	1.060	0.106	0.076	0.048
	0.300		0.120		0.127		
	0.270		0.090		0.095		
	0.220		0.040		0.042		
	0.190		0.010		0.011		
C	0.310	0.180	0.130	1.060	0.138	0.114	0.033
	0.320		0.140		0.148		
	0.250		0.070		0.074		
	0.300		0.120		0.127		
	0.260		0.080		0.085		
D	0.270	0.180	0.090	1.060	0.095	0.076	0.043
	0.210		0.030		0.032		
	0.220		0.040		0.042		
	0.310		0.130		0.138		

	0.250		0.070		0.074		
	0.200		0.020		0.021		
	0.270		0.090		0.095		
E	0.320	0.180	0.140	1.060	0.148	3.941	8.617
	18.44		18.260		19.356		
	0.260		0.080		0.085		
	0.240		0.060		0.064		
	0.340		0.160		0.170		
F	0.230	0.180	0.050	1.060	0.053	0.072	0.059
	0.240		0.060		0.064		
	0.190		0.010		0.011		

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 22-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de RX de la Instalación 6

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ $\left[\frac{mSv}{mA * min} \right]$	U	T	W $\left[\frac{mA * min}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{sem} \right]$	\bar{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{año} \right]$	P
NCRP.147	A	NC	1.615E-08	1	1/5	100	3.230E-07	1.680E-05	Ok
	B	C	1.211E-08		1		2.423E-08	1.260E-06	Ok
	C	NC	1.413E-08		1/5		5.653E-09	2.940E-07	Ok
	D	NC	1.312E-08	0.02	1/5		5.250E-09	2.730E-07	Ok
	E	NC	1.413E-08		1/5		5.653E-09	2.940E-07	Ok
	F	C	1.615E-08		1		3.230E-08	1.680E-06	Ok
ARCAL XLIX	A	NC	1.615E-08	0.3	1/4	80	9.691E-08	5.040E-06	Ok
	B	C	1.211E-08		1		9.691E-07	5.040E-05	Ok
	C	NC	1.413E-08		1/4		2.827E-07	1.470E-05	Ok
	D	NC	1.312E-08	1	1/16		6.562E-08	3.412E-06	Ok
	E	NC	1.615E-08		1/4		3.230E-07	1.680E-05	Ok
	F	C	1.413E-08		1		1.131E-06	5.879E-05	Ok

Realizado por: Chisag E, 2019

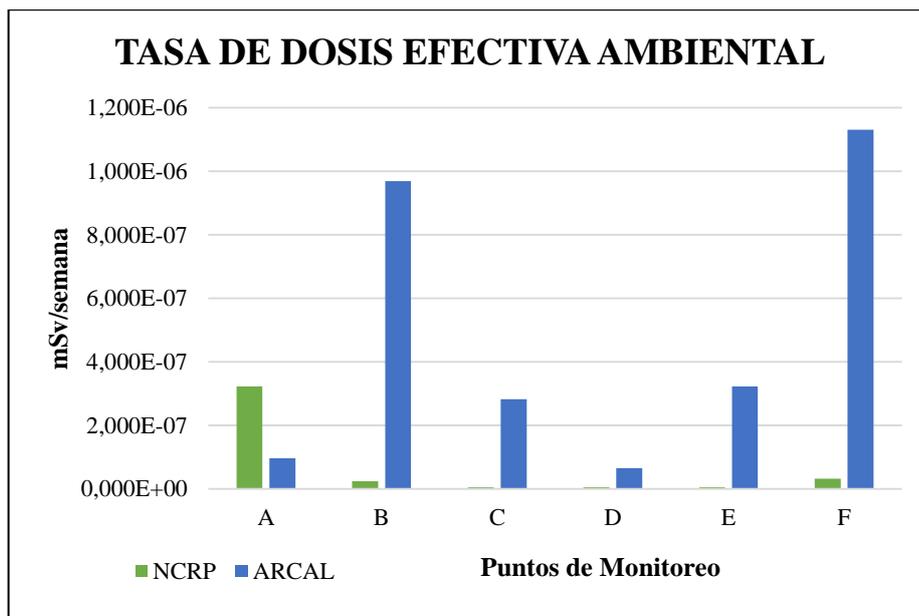


Gráfico 21-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 6

Realizado por: Chisag E, 2019

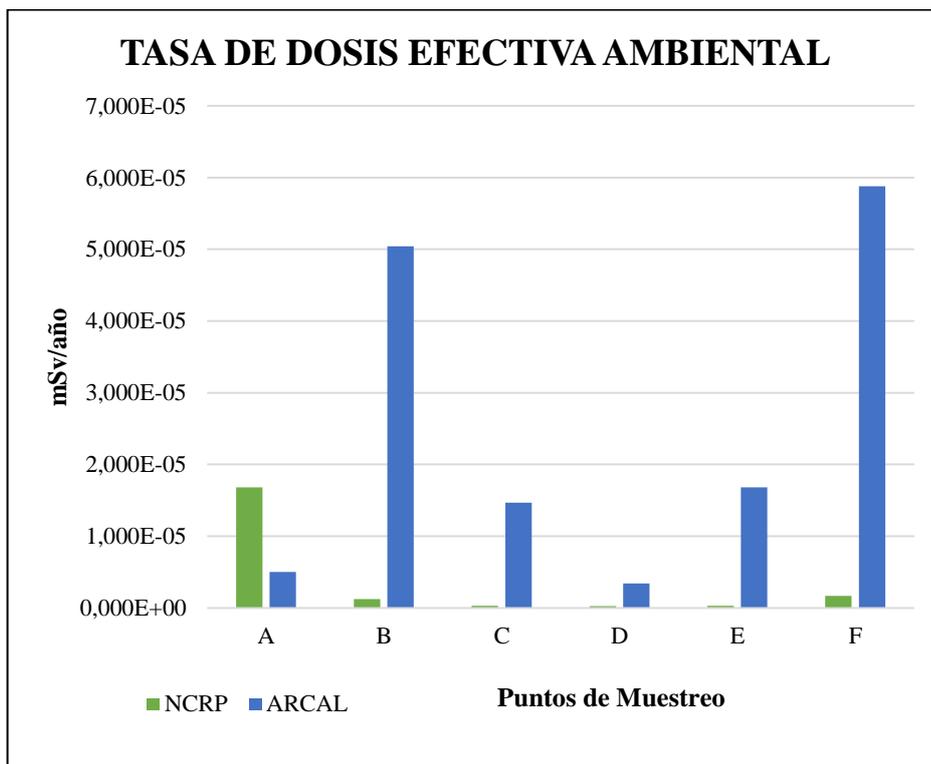


Gráfico 22-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de RX de la Instalación 6

Realizado por: Chisag E, 2019

El Gráfico 21-4 corresponde a la tasa de dosis efectiva ambiental en *mSv/semana* de sala de RX, usando los parámetros de la NCRP y el ARCAL, en la cual se puede observar que respecto al NCRP el punto A presenta la mayor tasa de dosis efectiva ambiental con el valor de $3.230E-07$ *mSv/semana*, y el punto D el más bajo que corresponde al valor de $5.250E-09$ *mSv/semana*. Por otro lado, respecto al ARCAL el punto con menor tasa de dosis efectiva es el punto D con $6.562E-08$ *mSv/semana* y, el punto F el más alto con $1.131E-06$ *mSv/semana*, mismos que están dentro de los límites permitidos.

El Gráfico 22-4 corresponde a la tasa de dosis efectiva ambiental en *mSv/año*, en la cual el punto A presenta mayor tasa de dosis efectiva ambiental con un valor de $1.680E-05$ *mSv/año* respecto al NCRP y un valor de $5.879E-05$ *mSv/año* en el punto F respecto al ARCAL. Por lo tanto, al comparar estos valores con los límites permisibles, todos los puntos de la sala de RX de la instalación 6 cumplen con las recomendaciones.

Tabla 23-4: Tasas de dosis en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 6

Punto	\dot{D} medida [μ Sv/h]	Radiación de fondo [μ Sv/h]	\dot{D} medida corregida [μ Sv/h]	Factor de calibración	\dot{D} medida corregida [μ Sv/h]	Media	Desviación estándar
A	0.870	0.180	0.690	1.060	0.7314	0.873	0.212
	0.910		0.730		0.7738		
	1.310		1.130		1.1978		
	0.830		0.650		0.689		
	1.100		0.920		0.9752		
	4.210		4.030		4.2718		
B	3.350	0.180	3.170	1.060	3.3602	2.150	1.557
	1.070		0.890		0.9434		
	1.280		1.100		1.166		
	1.130		0.950		1.007		
	0.270		0.090		0.0954		
C	0.320	0.180	0.140	1.060	0.1484	0.117	0.054
	0.270		0.090		0.0954		
	0.230		0.050		0.053		
	0.360		0.180		0.1908		
	2.840		2.660		2.8196		
D	2.690	0.180	2.510	1.060	2.6606	2.285	0.551
	1.550		1.370		1.4522		

	2.500		2.320		2.4592		
	2.100		1.920		2.0352		
	3.580		3.400		3.604		
	5.330		5.150		5.459		
E	2.140	0.180	1.960	1.060	2.0776	4.049	1.288
	4.630		4.450		4.717		
	4.320		4.140		4.3884		
	206.900		206.720		219.1232		
	205.600		205.420		217.7452		
F	43.780	0.180	43.600	1.060	46.216	119.975	90.020
	54.940		54.760		58.0456		
	55.600		55.420		58.7452		
	18.860		18.660		19.7796		
	17.440		17.240		18.2744		
G	35.870	0.200	35.670	1.060	37.8102	30.458	16.613
	53.480		53.280		56.4768		
	19.020		18.820		19.9492		

Realizado por: Chisag E, 2019

Tabla 24-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en los puntos críticos de la sala de TC de la Instalación 6

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{D}{I} * 60$ $\left[\frac{mSv}{mA * min} \right]$	U	T	W $\left[\frac{mA * min}{sem} \right]$	\dot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{sem} \right]$	\ddot{E} ambiental $\left[\frac{mSv}{año} \right]$	P
NCRP.147	A	NC	6.492E-06		1/5		1.298E-06	6.752E-05	Ok
	B	C	2.315E-05		1		2.315E-05	1.204E-03	Ok
	C	NC	1.034E-06		1/5		2.068E-07	1.076E-05	Ok
	D	NC	1.528E-05	0.02	1/8	50	1.910E-06	9.933E-05	Ok
	E	NC	2.959E-05		1/5		5.918E-06	3.077E-04	Ok
	F	C	1.188E-03		1		1.188E-03	6.176E-02	Ok
	G	NC	3.061E-04		1/5		6.122E-05	3.183E-03	Ok
ARCAL XLIX	A	NC	6.492E-06		1/4		8.115E-03	4.220E-01	Ok
	B	C	2.315E-05		1		1.158E-01	6.020E+00	X
	C	NC	1.034E-06		1/16		3.232E-04	1.680E-02	Ok
	D	NC	1.528E-05	1	1/4	5000	1.910E-02	9.933E-01	X
	E	NC	2.959E-05		1/4		3.698E-02	1.923E+00	X
	F	C	1.188E-03		1		5.938E+00	3.088E+02	X
	G	NC	3.061E-04		1/4		3.826E-01	1.990E+01	X

Realizado por: Chisag E, 2019

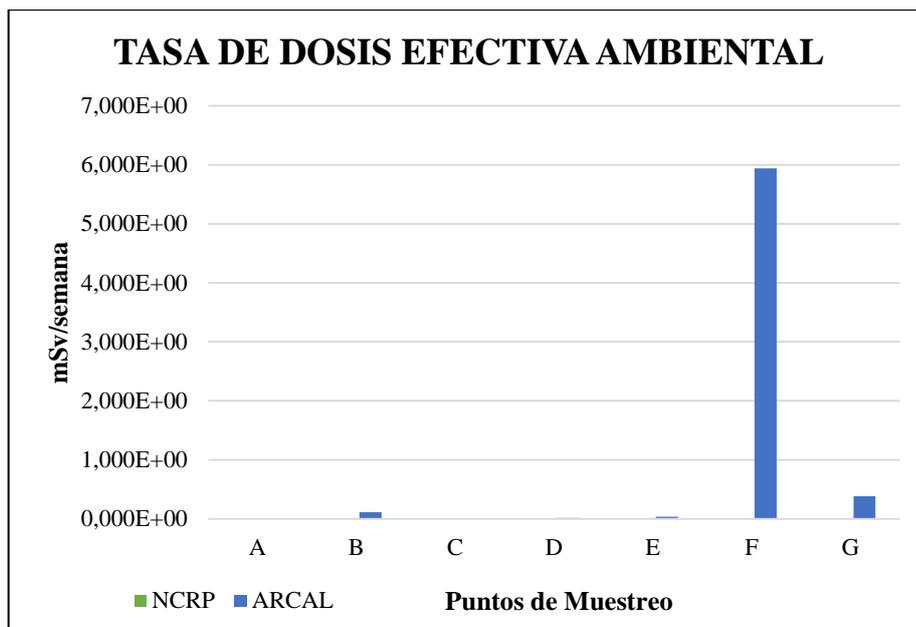


Gráfico 23-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/semana respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 6

Realizado por: Chisag E, 2019

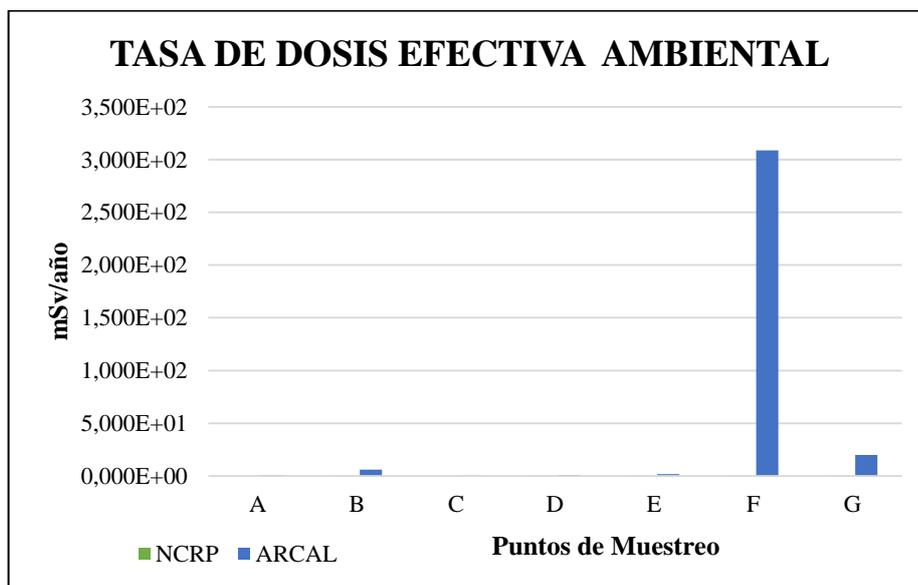


Gráfico 24-4: Tasas de dosis efectiva ambiental en mSv/año respecto al NCRP y ARCAL en la sala de TC de la Instalación 6

Realizado por: Chisag E, 2019

Analizando los gráficos de las tasas de dosis efectivas ambientales en los diferentes puntos de la sala de TC, se encontraron en el Gráfico 23-4 que respecto al NCRP que el punto F presenta la

mayor tasa de dosis ambiental con el valor de $1.188\text{E-}03$ *mSv/semana*, y el punto C el más bajo que corresponde al valor de $2.068\text{E-}07$ *mSv/semana*. Mientras que, respecto al ARCAL el punto con mayor tasa de dosis efectiva es el punto F con $5.938\text{E+}00$ *mSv/semana* y, el punto C el más bajo con $3.232\text{E-}04$ *mSv/semana*. Mientras que en el Gráfico 24-4 respecto al NCRP el valor con mayor tasa de dosis efectiva es $6.176\text{E-}02$ *mSv/año* del punto F y respecto al ARCAL $3.088\text{E+}02$ *mSv/año* que corresponde al punto F, además cabe recalcar que también se observa que los puntos B, D, E, F y G se encuentran dentro de los valores con mayor tasa de dosis efectiva. Por consiguiente, se concluye que con los puntos B, D, E, F, G de la sala de TC presentan valores que superan los límites permisibles respecto al ARCAL.

CONCLUSIONES

- Mediante el análisis de la infraestructura de las instalaciones hospitalarias y sus áreas adyacentes, se identificaron los puntos críticos que presentaban las salas de RX y TC, determinando que algunos de los puntos fueron inaccesibles debido a que pertenecían a zonas aledañas a las edificaciones, además se determinó el factor de ocupación e interacción con la RI; estos factores se utilizaron para realizar el cálculo de la tasa de dosis efectiva ambiental.
- Con el uso de un contador Geiger Müller, se realizaron mediciones de tasa de dosis en los puntos críticos de las salas de RX y TC, para ello se tomó varias medidas en los puntos para tener una mejor lectura y, se trabajó con el valor más alto en el proceso del cálculo de la tasa de dosis efectiva ambiental.
- Las zonas que sobrepasan los límites de dosis ambiental permisible, se establecieron comparando el valor de la tasa de dosis efectiva ambiental más alto de cada punto, con los niveles de restricción de dosis permitidos por las recomendaciones del NCRP 147 y por el protocolo del ARCAL XLIX, tanto para áreas controladas y no controladas.
- Al analizar los datos obtenidos en las 6 instalaciones hospitalarias, las salas de Rayos X y sus áreas adyacentes se encuentran dentro de los límites permisibles, con excepción del punto E de la instalación 5, que corresponde a un baño que no se usa durante los procesos de exposición, sobrepasa el límite permisible con el 9.2% según lo presentado en el ARCAL XLIX.
- En las salas de Tomografía Computarizada; el punto G de la instalación 3, que corresponde a la chapa de la puerta que colinda con la sala de comando, sobrepasa el límite permisible para áreas controladas con un valor de 0.918 mSv/año que corresponde al 18.36%, además en la instalación 6, se obtienen resultados importantes, como en el punto B que corresponde al vidrio plomado y el punto F, que colinda con la sala de comando sin barrera, sobrepasan el límite permisible para áreas controladas con una

tasa de dosis de $6.020\text{E}+00$ *mSv/año* y $3.088\text{E}+02$ *mSv/año*, respectivamente; mientras que el punto D, que corresponde a la sala de almacenamientos de contraste, el punto E, que corresponde a la puerta con identificación numérica 6 y, el punto G, que corresponde a la puerta 4, sobrepasan el límite permisible para áreas no controladas con el $9.933\text{E}-01$ *mSv/año*, $1.923\text{E}+00$ *mSv/año* y $1.990\text{E}+01$ *mSv/año* respectivamente, siendo ésta la instalación que mayor variación presenta en los niveles comparados con los establecidos por el ARCAL XLIX.

- Una vez obtenidos los resultados de las tasas de dosis efectiva ambiental de las diferentes instalaciones hospitalarias de la ciudad de Ambato, se procedió a generar informes individuales que incluyen los resultados, observaciones, conclusiones y recomendaciones, tomando en cuenta las particularidades de cada caso, esto con el fin de contribuir con la protección radiológica.

RECOMENDACIONES

- Las instalaciones hospitalarias deben incluir un Oficial de protección radiológica, que contribuya con el adecuado manejo y monitoreo de las diferentes áreas de radiodiagnóstico.
- En la sala de Tomografía Computarizada de la instalación 3, se recomienda que la chapa de la puerta número 6 que colinda la sala de comando se blinde, ya que el valor de la tasa de dosis efectiva ambiental sobrepasa el límite establecido, según el ARCAL XLIX.
- La instalación 6, debe considerar un mejoramiento en el blindaje de la sala de tomografía computarizada y sus áreas colindantes, sobre todo la sala de comando, debido a que el POE se encontraría expuesto a valores de dosis que generan tasas de dosis efectivas que sobrepasan los límites establecidos por el ARCAL XLIX.
- Para realizar este tipo de mediciones se debe contar con detectores de radiación que cuenten con su respectivo certificado de calibración, ya que esto permite que los datos sean válidos.

GLOSARIO

ALARA	As Low As Reasonable Achievable (Tan bajo como sea razonablemente posible)
ARCAL	Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe
d	Distancia
d_F	Distancia fuente RX-receptor de imagen
d_L	Distancia carcasa tubo RX-área protegida
d_S	Distancia paciente-área protegida
D	Dosis absorbida
\dot{D}	Tasa de dosis absorbida
E	Dosis efectiva
\dot{E}	Tasa de dosis efectiva ambiental
GM	Geiger Müller
Gy	Gray
H_T	Dosis equivalente
ICRP	Comisión Internacional de Protección Radiológica (International Commission on Radiological Protection)
ICRU	Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación (International Commission on Radiation Units and Measurements)
kV	Kilovoltio
kVp	Kilovoltio pico- potencial máximo del tubo de RX
LET	Transferencia Lineal de energía (Linear Energy Transfer)
mA	Miliamperio
Mas	Miliamperios segundo

NCRP	Consejo Nacional de Protección Radiológica y Mediciones (National Council on Radiation Protection and Measurements)
OIEA/IAEA	Organismo Internacional de Energía Atómica (International Atomic Energy Agency)
<i>P</i>	Tasa de dosis equivalente máxima permisible
POE	Personal Ocupacionalmente Expuesto
<i>R</i>	Roentgen
RI	Radiaciones Ionizantes
RX	Rayos X
SCAN	Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares
SI	Sistema Internacional
<i>Sv</i>	Sievert
T	Factor de ocupación
TC	Tomografía Computarizada
U	Factor de Uso
W	Carga de Trabajo
w_R	Factor de Ponderación de la Radiación
w_T	Factor de Ponderación para el Tejido
Z	Número atómico

BIBLIOGRAFIA

ARIAS, C. *La regulación de la protección radiológica y la función de las autoridades de salud.* Argentina: Revista Panamericana de Salud Pública [en línea], 2006. Vol. 20, n. 2,3. págs. 188-197. [Consulta: 12 junio 2019]. Disponible en: https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/rpsp/v20n2-3/15.pdf

ATTIX, F. *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry.* 1ª ed. New York - Estados Unidos: John Wiley & Sons, 1986. págs. 1-587

BADEL, A, et. al. *Radiación ionizante: revisión de tema y recomendaciones para la práctica.* Colombia: Cardiología Intervencionista y Hemodinamia [en línea], 2018. Vol. 25, n. 3. págs. 222-229. [Consulta: 13 junio 2019]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-cardiologia-203-pdf-S0120563318300275>

BAÑOS, M. *Bases Físicas y Biológicas del Radiodiagnóstico Médico.* 2ª ed. Murcia: F.G. GRAF S.L, 2003. págs. 11-62

BAQUERO, H, et.al. *Aberraciones cromosómicas en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.* Colombia: Revista de Ciencias de la Salud de Bogotá [en línea], 2004. Vol. 2, n. 1. págs. 8-14. [Consulta: 18 junio 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/recis/v2n1/v2n1a2.pdf>

BURCHAM, W. *Física Nuclear.* España-Barcelona: Reverté, S.A, 2003. págs. 159-197

BUSHONG, S. *Manual de Radiología para Técnicos.* 8ª ed. Madrid-Espa: Elsevier, 2005. págs. 4-66

CANCIO, D. *Impacto radiológico de las fuentes naturales y artificiales de radiación. El informe UNSCEAR 2008. Nucleus*[en línea], 2010. n. 48. págs. 3-9. [Consulta: 18 junio 2019]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/nuc/n48/nuc024810.pdf>

CHERRY, R. *Radiaciones Ionizantes- Riesgos generales.* Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. págs. 1-46.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR (CSN). *La Protección Radiológica en el medio sanitario.* Madrid: CSN, 2012.págs. 5-60

ESCOBAR, L, et.al. *Evaluación sobre aspectos de protección radiológica de salas de radiodiagnóstico en el área metropolitana de la Ciudad de México.* México: Departamento de Protección Radiológica, 1996. págs. 266- 270. [Consulta: 20 junio 2019]. Disponible en: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/033/28033980.pdf

FEDERACIÓN DE RADIOPROTECCIÓN DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (FRALC). *La Protección Radiológica en América Latina.* Revista Latinoamericana de Protección Radiológica [en línea], 2019. Vol 1, n. 1. págs. 1-44. [Consulta: 18 junio 2019]. Disponible en: <http://www.fralc.org/attachments/Revista-FRALC-EDICION-1.pdf>

GONZÁLES, G. & RABIN, C. *Para entender las radiaciones.* Montevideo, Uruguay: DIRAC- Facultad de Ciencias, 2011.págs. 15-76

HERNÁNDEZ, A. & PERNALETE, M. *Leucemia Ocupacional: Importancia de la Prevención.* Carabobo: Comunidad y Salud [en línea], 2017. Vol. 15, n. 1. págs. 86-90. [Consulta: 20 junio 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/pdf/cs/v15n1/art10.pdf>

INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY / ACUERDO REGIONAL DE COOPERACIÓN PARA LA PROMOCIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA NUCLEARES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (IAEA/ARCAL) XLIX. *Protocolos de control de calidad en Radiodiagnóstico,* 2001.págs. 6-100

INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *Diagnostic Radiology Physics A Handbook for Teachers and Students.* Viena, Austria: IAEA. 2014. pág. 24

INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *Occupational Radiation Protection.* No. GSG-7 ed. Vienna, Austria: IAEA, 2018.págs. 1-238.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). *Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica.* Publicación 103. Madrid: Sociedad Española de Protección Radiológica, 2007.págs. 33-116

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). *Protección Radiológica en Medicina.* Publicación 105. Buenos Aires, Argentina: Sociedad Argentina de Radioprotección, 2011.págs. 19-60

ITURBE, J. *Fundamentos de Radioquímica.* México- Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México, 2001.págs. 117-123

KHAN, F. *The Physics of Radiation Therapy.* Third Edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2003. págs. 3-106

LEYTON, F, et.al. *Aplicación de un Protocolo de Levantamiento Radiométrico en Instalaciones de Radio-Diagnóstico.* Chile: Revista chilena de radiología [en línea], 2007. Vol. 13, n. 4. págs. 213-217. [Consulta: 20 junio 2019]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-93082007000400007

MARTIN, A, et.al. *An Introduction to Radiation Protection.* Seventh ed. London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2019.págs. 1-213

MÉNDEZ, A. & MALDONADO, J. *Trastornos hematopoyéticos en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.* España: Medicina y Seguridad del Trabajo [en línea], 2014. Vol. 60, n. 234. págs. 143-160. [Consulta: 19 junio 2019]. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v60n234/revision1.pdf>

MORERA, M. Evaluación de la exposición laboral a radiaciones ionizantes en el área de radiología del centro de atención ambulatoria central Quito (CAACQ) y propuesta de medidas de prevención y control (tesis pregrado). Universidad Internacional SEK, Ciencias del Trabajo y Comportamiento Humano. Quito-Ecuador. 2015. págs.1-65. [Consulta: 24 junio 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1355/1/Evaluaci%20de%20la%20exposici%20laboral%20a%20radiaciones%20ionizantes%20en%20el%20c%20a%20rea%20de%20radiolog%20del%20centro%20de%20atenci%20ambulatoria%20central%20Quito%20CAACQ%20y%20propuesta%20de%20medidas%20de%20prevenci%20y%20control.pdf>

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation* [en línea]. Beir VII Phase 2 ed. Washington,DC: The National Academies, 2006.[Consulta: 12 junio 2019]. Disponible en: <https://www.nap.edu/read/11340/chapter/1>

NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS (NCRP). *Structural Shielding design for Medical X-Ray Imaging Facilities.* Report 147. Washinton : NCRP, 2004. págs. 1-184

NÚÑEZ, L. *Elementos de radiofísica para técnicos superiores en radioterapia y dosimetría.* Barcelona-España: DRK, 2016.

OFICINA SANITARIA PANAMERICANA. *Las Radiaciones Ionizantes y sus Efectos en la Población.* 43 ed. Washington: Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, 1959. págs. 1-62

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (OIEA). *Normas básicas Internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación.* 115 ed. Viena, Austria: OIEA, 1997. págs. 11-303

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (OIEA). *ARCAL Perfil Estratégico Regional para América Latina y el Caribe (PER) 2016-2021.* TECDOC-1763. Viena, Austria: OIEA, 2015.

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (OIEA). *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad.* GSR PARTE 3. Viena: OIEA, 2016.

PEDROSO, L. & VÁSQUEZ, B. *Imagenología.* La Habana: Ciencias Médicas, 2005. págs. 1-197

RAMÍREZ, J, et.al. *Tomografía computarizada por rayos X: Fundamentos y actualidad.* Colombia: Revista Ingeniería Biomédica [en línea], 2008. Vol. 2, n. 4. págs. 13- 31. [Consulta: 15 junio 2019]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-97622008000200008

RAMOS, O. & VILLARREAL, M. "Disminución de la dosis de radiación en el radiodiagnóstico". *Revista Chilena de Radiología* [en línea], 2013 (Chile) 19(1), pp. 05-11. [Consulta: 12 junio 2019]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-93082013000100003

REHANI, M. & BERRY, M. Radiation doses in computed tomography. India: *BMJ* [en línea], 2000. Vol. 320, n. 7235. págs. 593-594. [Consulta: 12 junio 2019]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1117635/pdf/593.pdf>

SALAS, J. El Nivel de Exposición a Radiaciones Ionizantes en la prevalencia de Cáncer Tiroideo del Personal del servicio de Rayos X y de sus áreas adyacentes, del IESS- Hospital General Ambato (Maestría). Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. 2016.

SCAN. Reglamento de Seguridad Radiológica. *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.* [En línea], 1979. [Consulta: 12 junio 2019]. Disponible en: <http://historico.energia.gob.ec/wp-content/uploads/2016/06/REGLAMENTO-DE-SEGURIDAD-RADIOLOGICA.pdf>

SECRETARÍA REGIONAL MINISTERIAL DE SALUD. *Curso de Protección Radiológica.* Chile.,2006.

SERVENTE, L, et.al. *Dosis acumulada en tomografía computada 2014-2017: análisis descriptivo de una población del Hospital de Clínicas.* Uruguay: Revista Médica Uruguay [en línea], 2018. Vol 34, n.3. págs. 139-148. Disponible en: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/rmu/v34n3/1688-0390-rmu-34-03-19.pdf>

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA MÉDICA. *Fundamentos de Física Médica.* 1ª ed. Madrid- España:ADI, 2011, págs. 21-380

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA MÉDICA. *Fundamentos de Física Médica.* 2ª ed. Madrid: ADI, 2012, págs. 23-334

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA MÉDICA. *Fundamentos de Física Médica.* 7ª ed. Madrid: ADI, 2016, págs. 25-306

TORRES, L. *Las radiaciones en la vida cotidiana.* 1ª ed. Bariloche: CAB-IB, S.C, 2019. [Consulta: 20 junio 2019]. Disponible en: http://ricabib.cab.cnea.gov.ar/793/?fbclid=IwAR27cbjGPpKRmdRh673nLu1KmilWHE2dZUzo5BVaXRBhjNVPT_9v4MaQy54

TUCCI, A. *Radiodiagnóstico y Radioterapia.* 1ª ed. Lulu Com, 2012. págs 17-43

UBEDA, C, et.al. *Magnitudes y Unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo.* Chile: Revista Chilena de Radiología [en línea], 2018. Vol. 24, n. 1. págs. 05-11. [Consulta: 15 junio 2019]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchradiol/v24n1/0717-9308-rchradiol-24-01-00005.pdf>

YANCHAPANTA, V. Calculo de blindaje para el acelerador lineal monoenergético del Instituto de cáncer SOLCA- NÚCLEO DE LOJA (tesis pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Física y Matemática. Riobamba-Ecuador. 2013.pp. 1-100. [Consulta: 17 junio 2019]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3090/1/86T00015.pdf>

ZANZZI, F. *Riesgo Laboral ¿ Abuso o Descuido?: Evidencias desde la Ausencia de control estatal en el Diagnóstico Médico Complementado con Rayos X.* Ecuador: Revista Ciencia Unemi [en línea], 2012. Vol. 5, n. 8. págs. 09-20. [Consulta: 14 junio 2019]. Disponible en: <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/45>

ZUBELDIA, F. *Potención en Radiología Odontológica.* Barcelona: Universidad de Barcelona, 2005. pág.23

ANEXOS

Anexo A: Certificado de calibración del detector Geiger Müller

 <p>MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES</p>	<p>SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES</p>	
---	--	---

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE DETECTORES DE RADIACIÓN

MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES
LABORATORIO SECUNDARIO DE CALIBRACIONES DOSIMÉTRICAS

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No.: **CAL 1435 - 2018**

SOLICITANTE:	CHISAG CHISAG ERIKA FERNANDA	FECHA DE CALIBRACIÓN:	2018-11-09				
DIRECCIÓN:	Panamericana Sur Km 1 ½						
INSTRUMENTO:	EQUIPO DIGITAL	Marca:	S.E. INTERNATIONAL	Modelo:	RANGER EXP	Serie:	4003
DETECTOR:	GEIGER MÜLLER						

Condiciones ambientales durante la calibración:

Temperatura (°C): **22,2** Presión (mbar): **710,3** Humedad rel. (%): **57%**

Instrumentos de Referencia:

Cámara de Ionización Marca - Modelo: **PTW - PTW-32002** Serie No: **576**
 Electrómetro Marca - Modelo: **PTW - UNIDOS Webline** Serie No: **533**

Revisión de Características del instrumento:	Condiciones de pruebas realizadas al instrumento:
Chequeo Mecánico: OK	Substracción de Background: SI
Chequeo Audio y/o Alarma: OK	Se determinó Linealidad: SI
Dispositivo de Calibración: DISPONIBLE	Fuentes de Calibración: OB6
	Atenuadores (mm): 22.0
	Rango en Escala Normal (X1): (0 - 1000) (uSv/h)

DATOS DE CALIBRACIÓN PARA TASAS DE DOSIS EQUIVALENTE POR RADIACIÓN GAMA CON CESIO 137					
ESCALA	FUENTE DE CALIBRACION	TASA DE DOSIS EQUIVALENTE DE REFERENCIA	LECTURA PROMEDIO DEL INSTRUMENTO	FACTOR DEL INSTRUMENTO <i>Para incertidumbre k = 2</i>	
(0 - 1000) uSv/h sin protector beta	OB6	417,12 uSv/h	392,70 uSv/h	1,06	± 0,03
(0 - 1000) uSv/h con protector beta	OB6	417,12 uSv/h	412,84 uSv/h	1,01	± 0,03

NOTA 1: LAS MEDICIONES REALIZADAS CON EL EQUIPO DEBEN SER MULTIPLICADAS POR EL FACTOR INDICADO PARA TENER UN VALOR MÁS EXACTO

NOTA 2: NO MOVER O MANIPULAR EL DISPOSITIVO DE CALIBRACIÓN

El Laboratorio de Calibraciones Dosimétricas (LCD) del Ecuador, certifica que el instrumento ha sido calibrado bajo las normas y procedimientos establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), tomando como referencia el Reporte de Seguridad Serie 16: Calibración de Instrumentos para Monitoreo de Protección Radiológica.

Este certificado no puede ser reproducido sin la aprobación escrita del laboratorio.

Calibrado por: E. Arévalo/Y. Pástor Responsable del L.P.S.: Ing. Enrique Arévalo

Fecha de Emisión: 12/11/2018



Firma de Responsabilidad

Dirección: José Tamayo N10-25 y Lizardo García, Quito - Ecuador
 Casilla: 170517, Telf: 3976000 ext 1021 - 1130
 Email: enrique.arevalo@meer.gob.ec.

pag 1 de 1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA
INVESTIGACIÓN**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 09/01/2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres y Apellidos: Erika Fernanda Chisag Chisag
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Biofísica
Título a optar: Biofísica
f. Analista de biblioteca responsable: