



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOFÍSICA

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

Trabajo de Titulación

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para obtener al grado académico de:

BIOFÍSICA

AUTORA: CAROLINA ESTEFANIA UREÑA BRAVO

DIRECTORA: Biof. ROSA MARICELA ORMAZA HUGO, MsC

Riobamba – Ecuador

2020

© 2020, Ureña Bravo Carolina Estefania

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, Ureña Bravo Carolina Estefania, 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, 03 de agosto del 2020

Carolina Estefania Ureña Bravo

C.I: 0603929282

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, “ANÁLISIS DE LA TASA DE DOSIS AMBIENTAL EN INSTALACIONES HOSPITALARIAS EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, QUE BRINDAN SERVICIO DE RAYOS X Y TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA”, realizado por la señorita **CAROLINA ESTEFANIA UREÑA BRAVO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales en tal virtud el tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Richard Williams Pachacama Choca PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 <p>RICHARD WILLIAMS PACHACAMA CHOCA</p> <p>Firmado digitalmente por RICHARD WILLIAMS PACHACAMA CHOCA Fecha: 2020.11.11 06:47:36 -05'00'</p>	2020-08-03
Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo MsC. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 <p>ROSA MARICELA ORMAZA HUGO</p> <p>Digitally signed by ROSA MARICELA ORMAZA HUGO Date: 2020.11.19 10:33:35 -05'00'</p>	2020-08-03
Biof. Vilma Nohemi Yanchapanta Bastidas MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 <p>VILMA NOHEMI YANCHAPANTA BASTIDAS</p> <p>Firmado digitalmente por VILMA NOHEMI YANCHAPANTA BASTIDAS Fecha: 2020.11.17 14:21:00 -05'00'</p>	2020-08-03

DEDICATORIA

A Dios por ser el motor de mi vida, brindándome siempre la sabiduría y la inteligencia para culminar con éxito esta carrera, a mis padres por ser el pilar fundamental en mi vida ya que con su ejemplo y amor he llegado a ser la persona que soy, y a mi Ñaña Yola por ser el ejemplo de lucha y perseverancia constante, sé que desde el cielo se alegra por esta meta alcanzada en mi vida.

Carolina

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar cada uno de mis pasos, colocarme en el momento y lugar adecuado a lo largo de mi vida y principalmente en mis estudios; a mis padres, Marco y Magdalena, por su amor y ayuda incondicional, motivándome a seguir adelante, sin ellos no hubiera sido posible culminar mis estudios. A Eric por ser mi apoyo incondicional en cada momento.

A todos los docentes de la carrera de Biofísica, de manera especial a la Biof. Rosa Ormaza por la paciencia y tiempo invertido para la realización de este presente trabajo.

Carolina

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	8
1.1. Física de los rayos X.....	8
1.1.1. <i>Los rayos X</i>	8
1.1.3. <i>Equipos generadores de radiación ionizante en diagnóstico</i>	10
1.1.3.1. <i>Equipo de RX convencional</i>	10
1.1.3.2. <i>Tomografía Computarizada</i>	11
1.2. Dosimetría	12
1.2.1. <i>Magnitudes Radiológicas</i>	13
1.2.1.1. <i>Magnitudes Radiométricas</i>	13
1.2.1.2. <i>Magnitudes Dosimétricas</i>	14
1.2.1.3. <i>Magnitudes de Radioprotección</i>	15
1.3. Protección Radiológica	17
1.3.1. <i>Tipos de exposición</i>	17
1.3.2. <i>Principios de la Protección Radiológica</i>	18
1.3.3. <i>Efectos de la Radiación Ionizante</i>	20
1.3.4. <i>Factores Básicos de Protección Radiológica</i>	21
1.3.5. <i>Parámetros para el cálculo de la tasa de dosis ambiental</i>	22

1.3.5.1.	<i>Parámetros para el cálculo de la tasa de dosis ambiental según el ARCAL XLIX para equipos de RX y TC</i>	22
1.3.5.2.	<i>Parámetros para el cálculo de la tasa de dosis ambiental según el NCRP 147 para equipos de RX y TC</i>	23
1.4.	Detectores de radiación ionizante	25
1.4.1.	<i>Detector Geiger Müller</i>	25

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLOGÍCO	27
2.1.	Tipo y diseño de Investigación	27
2.2.	Equipos e instrumentos utilizados para el desarrollo de la investigación	27
2.2.1.	<i>Equipos de RX</i>	27
2.2.2.	<i>Equipos de TC</i>	28
2.2.3.	<i>Instrumentos</i>	29
2.2.3.1.	<i>Detector Geiger Müller</i>	29
2.2.4.	<i>Identificación de área controlada y libre</i>	30
2.2.5.	<i>Determinación de los puntos críticos</i>	30
2.2.6.	<i>Planos de las instalaciones</i>	31
2.2.6.1.	<i>Planos de las instalaciones de RX</i>	31
2.2.6.2.	<i>Planos de las instalaciones de TC</i>	35
2.2.7.	<i>Medición de la tasa de dosis</i>	39
2.2.7.1.	<i>Ubicación del detector en los puntos críticos.</i>	39
2.2.7.2.	<i>Cálculo de la tasa de dosis ambiental</i>	39
2.2.7.3.	<i>Parámetros utilizados por el ARCAL XLIX</i>	40
2.2.7.4.	<i>Parámetros utilizados por el NCRP 147</i>	40
2.2.7.5.	<i>Límite de dosis establecidas por el ARCAL XLIX y NCRP 147</i>	41
2.2.7.6.	<i>Parámetros de operación de los equipos de R X y TC</i>	42

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	43
3.1.	Análisis de la tasa de dosis ambiental en las instalaciones de RX	43
3.2.	Análisis de la tasa de dosis ambiental en las instalaciones de TC.....	53

CONCLUSIONES.....	61
--------------------------	-----------

RECOMENDACIONES	62
------------------------------	-----------

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Magnitudes Radiométricas.....	14
Tabla 2-1:	Magnitudes Dosimétricas.....	14
Tabla 3-1:	Límite de Dosis en situaciones de exposición planificadas	19
Tabla 4-1:	Factor de uso acorde a la barrera primaria	22
Tabla 5-1:	Factor de uso acorde la barrera secundaria.....	22
Tabla 6-1:	Factor de ocupación	23
Tabla 7-1:	Carga semanal de trabajo	23
Tabla 8-1:	Factor de uso acorde a la barrera primaria	23
Tabla 9-1:	Factor de uso acorde a la barrera secundaria	24
Tabla 10-1:	Factor de ocupación	24
Tabla 11-1:	Carga de trabajo	25
Tabla 1-2:	Características de los equipos de RX.....	27
Tabla 2-2:	Características de los equipos de TC.....	28
Tabla 3-2:	Límite de dosis establecido por el ARCAL XLIX	41
Tabla 4-2:	Límite de dosis establecidos por el NCRP 147	41
Tabla 5-2:	Parámetros técnicos para instalación de RX	42
Tabla 6-2:	Parámetros técnicos para instalación de TC	42
Tabla 1-3:	Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 1 de RX.....	43
Tabla 2-3:	Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 1 de RX	44
Tabla 3-3:	Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 2 de RX.....	45
Tabla 4-3:	Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 2 de RX	46
Tabla 5-3:	Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 3 de RX.....	46
Tabla 6-3:	Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 3 de RX	48
Tabla 7-3:	Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 4 de RX.....	49
Tabla 8-3:	Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 4 de RX	50
Tabla 9-3:	Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 5 de RX.....	51
Tabla 10-3:	Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 5 de RX	52
Tabla 11-3:	Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 1 de TC	53
Tabla 12-3:	Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 1 de TC	54
Tabla 13-3:	Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 2 de TC	54
Tabla 14-3:	Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 2 de TC	55

Tabla 15-3:	Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 3 de TC	56
Tabla 16-3:	Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 3 de TC	57
Tabla 17-3:	Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 4 de TC	58
Tabla 18-3:	Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 4 de TC	58
Tabla 19-3:	Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 5 de TC	59
Tabla 20-3:	Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 5 de TC	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	RX de frenado	9
Figura 2-1:	RX de características	10
Figura 1-2:	Plano de la instalación 1 de RX	31
Figura 2-2:	Plano de la instalación 2 de RX.....	32
Figura 3-2:	Plano de la instalación 3 de RX.....	33
Figura 4-2:	Plano de la instalación 4 de RX.....	34
Figura 5-2:	Plano de la instalación 5 de RX.....	35
Figura 6-2:	Plano de la instalación 1 de TC	36
Figura 7-2:	Plano de la instalación 2 de TC	36
Figura 8-2:	Plano de la instalación 3 de TC	37
Figura 9-2:	Plano de la instalación 4 de TC	38
Figura 10-2:	Plano de la instalación 5 de TC	38

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en cinco instituciones hospitalarias de la ciudad de Riobamba, con el objetivo de analizar la tasa de dosis ambiental en instalaciones de Rayos X (RX) y Tomografía Computarizada (TC). Se consideró, el procedimiento propuesto en el reporte 147 del Consejo Nacional de Protección y Mediciones de Radiación (NCRP) y el protocolo XLIX del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nuclear en América Latina y el Caribe (ARCAL). En cada una de las instituciones, se consideró las áreas de interés, en las cuales; se eligieron los puntos críticos acorde a la barrera primaria y secundaria en el caso de RX y la barrera secundaria en TC. Mediante un detector Geiger Müller de marca Gamma Scout Online, se midió la tasa de dosis cuando los equipos de RX y TC realizaban un disparo con los parámetros más altos que se utilizan en un estudio, tomando cuatro datos del valor más alto que mide el detector. Con el análisis de los resultados obtenidos se evidencia que las cinco instalaciones hospitalarias, tanto RX como TC se encuentran dentro de los límites de dosis por el ARCAL XLIX y el NCRP. Además, se recomienda incluir un oficial de protección radiológica en la instalación 4.

Palabras clave: <RADIOLOGÍA>, <RADIODIAGNÓSTICO>, <TASA DE DOSIS AMBIENTAL>, <LEVANTAMIENTO RADIOMÉTRICO>, <RAYOS X>, <TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA>, <MEDIDOR DE RADIATIVIDAD>, <INSTALACIONES DE RADIODIAGNÓSTICO >



Firmado electrónicamente por:
**RAFAEL INTY
SALTO**



0432-DBRAI-UPT-2020

ABSTRACT

This research was developed in five hospital institutions in the city of Riobamba, with the aim of analyzing the environmental dose rate in X-ray facilities (RX) and Computed Tomography (CT). The procedure proposed in report 147 of the National Council for Radiation Protection and Measurements (NCRP) and protocol XLIX of the Regional Cooperation Agreement for the Promotion of Nuclear Science and Technology in Latin America and the Caribbean (ARCAL) were considered. In each of the institutions, the areas of interest were considered, in which; The critical points were chosen according to the primary and secondary barrier in the case of RX and the secondary barrier in CT. Using a brand-name Geiger Müller detector Gamma Scout Online, the dose rate was measured when the X-ray and CT equipment performed a shot with the highest parameters used in a study, taking four data from the value higher than the detector measures. With the analysis of the results obtained, it is evident that the five hospital facilities, both XR and CT, are within the dose limits by the ARCAL XLIX and the NCRP. In addition, it is recommended to include a radiation protection officer in the facility 4.

Keywords: <RADIOLOGY>, <RADIODIAGNOSIS>, <ENVIRONMENTAL DOSE RATE>, <RADIOMETRIC SURVEY>, <X-RAYS>, <COMPUTED TOMOGRAPHY>, <RADIOACTIVITY METER>, <RADIODIAGNOSIS FACILITIES>.

INTRODUCCIÓN

Con el origen de los RX, que son un tipo de radiación ionizante debido a su pequeña longitud de onda, alta energía y poder de penetración, son capaces de interactuar con la materia e ionizarlo. Por estas características, fue el pilar fundamental para un nuevo auge en la medicina para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Motivando así la creación del equipo de TC y RX convencional, los mismos que ayudan al diagnóstico y detección temprana de enfermedades de una forma precisa (Raduales, 2014 pág. 36a).

Una de las propiedades de la radiación ionizante es poseer la energía suficiente para ionizar el medio que atraviesa, y ser capaz de romper la energía de ligadura de las moléculas y, afectar a las células en nuestro organismo causando efectos negativos para la salud, es decir un efecto indirecto en las diferentes moléculas generando radicales libres, los cuales pueden causar daños en las funciones celulares y producir muerte celular, generando así una alteración en la información genética, es por ello que se creó la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), para establecer límites, medidas y protocolos que asegura la protección al personal ocupacionalmente expuesto (POE), pacientes y público frente a estas exposiciones (Vásquez, y otros, 2019 págs. 1-2).

Para el uso de radiaciones ionizantes es necesario seguir las normas de seguridad y protección radiológica por la entidad reguladora, la cual es encargada de las reglas y protocolos necesarios para las instalaciones y equipos generadores de radiaciones ionizantes. Todas las normas asociadas a la protección radiológica son aplicables en función de las instalaciones, los equipos de radiodiagnóstico, POE, pacientes, público y medio ambiente según el riesgo asociado (Leyton , y otros, 2007 pág. 213).

Una de las herramientas fundamentales para proteger la salud en relación con los posibles efectos biológicos frente a la presencia de la radiación ionizante, es la cuantificación de la dosis, con el fin de lograr una máxima seguridad durante el empleo de este tipo de radiación. La exposición son producto de las diversas actividades llevadas a cabo por el ser humano, principalmente generadas por los equipos de radiodiagnóstico, como es el caso de los RX y TC (Rühm, y otros, 2018 pág. 3) (Gastelo, 2015 pág. 1a).

Para proteger de esta radiación es necesario evaluar los niveles de radiación ionizantes a los cuales son expuestos los trabajadores, pacientes y público, durante la adquisición de imágenes en radiodiagnóstico. Por ello es esencial el análisis de la dosis ambiental en los lugares que se brindan este servicio (Gastelo, 2015 pág. 1b).

Antiguamente para calcular la dosis ambiental en las instalaciones de radiodiagnóstico, se utilizaba el kerma en aire; hoy en día, esta magnitud se ha restringido para protección radiológica y para el cálculo de blindajes. Esto llevó a introducir una nueva magnitud conveniente para medir el campo de radiación ambiental en un área, siendo esta, la dosis ambiental que presenta ventajas prácticas sobre el kerma en el aire (Brosed, y otros, 2015 pág. 39a)

La dosis ambiental por ser una magnitud de operación en el campo de la radioprotección, presenta ventajas frente a otro tipo de magnitudes, ya que existen detectores calibrados en unidades de esta magnitud (Brosed, y otros, 2015 pág. 39b).

Con el fin de obtener la tasa de dosis ambiental se utiliza la metodología establecida para un levantamiento radiométrico, el cual es ideal para la estimación de dosis y la evaluación del riesgo al que está asociado el POE, también ayuda a detectar si los equipos presentan algún daño o si es necesario el mantenimiento de los mismos, la prueba de levantamiento radiométrico se aplicó según el protocolo XLIX del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nuclear en América Latina y el Caribe (ARCAL) y según el reporte 147 del Consejo Nacional de Protección y Mediciones de Radiación (NCRP), que brindan todas las pautas necesarias para realizar este tipo de prueba con el fin de obtener un resultado favorable respecto a la protección radiológica (Leyton , y otros, 2007 pág. 217).

Antecedentes de la Investigación

El descubrimiento de los RX en 1896 por el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen, causó una revolución, ya que fue un gran acontecimiento para la ciencia y en especial para la medicina, registrando así bases para futuros desarrollos. En la actualidad se ha generado múltiples aplicaciones en el campo de la medicina, que permiten realizar estudios y detectar enfermedades en el sistema óseo, cardiovascular, gastrointestinal y respiratorio. Pero existen ciertos inconvenientes con su uso ya que existe la probabilidad de causar efectos negativos para la persona que esté en contacto (Raduales, 2014 pág. 36b).

Con este descubrimiento se empezaron a realizar exámenes radiográficos con fines médicos, pero únicamente se podía observar los huesos; con la evolución de los equipos, se pudo empezar a realizar estudios de otras estructuras internas, incluso se utilizó medios de contraste para obtener mejores resultados. Además, con el progreso de la informática en 1972, el británico Hounfield introdujo una nueva modalidad para radiodiagnóstico, que era una técnica basada en RX, denominada tomografía computarizada (TC), capaz de irradiar y atravesar por distintos ángulos de una sección del cuerpo, y con los datos obtenidos en el computador reconstruye la imagen (Brazzini, y otros, 1996).

Con aumento del uso de la radiación ionizante con fines médicos, se observó que esta radiación generaba ciertos efectos a corto y largo plazo al estar expuesto a ella, por este motivo la ICRP se encarga de proveer guías y recomendaciones contra los riesgos asociados de la radiación ionizante, generando así la debida protección al personal expuesto, paciente y público (Sociedad Argentina de Radioprotección, 2015 pág. 11).

Faggioni y sus colaboradores en 2006, comentan que la reciente evolución y el mayor uso de modalidades de diagnóstico basados en radiación ionizante, como TC y RX, ha llevado a la multiplicación del número de exámenes, y por lo tanto, al incremento de la exposición general a la radiación de la población. Actualmente, estos estudios en Estados Unidos representan alrededor del 50% de la carga total de radiación para fines médicos, preocupando así, a la comunidad científica acerca de los posibles efectos secundarios en los pacientes, con especial referencia al cáncer y la muerte relacionados con la radiación. Además, varios estudios han demostrado recientemente, un pequeño pero significativo aumento de riesgo de cáncer en niños y pacientes jóvenes con exposición previa a TC (Faggioni, y otros, 2017 pág. 138).

En el año 2007, Leyton y sus colaboradores, mencionaron que realizar el levantamiento radiométrico en las áreas de radiodiagnóstico como medida de protección radiológica es esencial para estimar el nivel de dosis y evaluar el potencial de riesgo al que está expuesto el personal, el paciente y el público dentro del área. También, realizaron el levantamiento radiométrico en siete instalaciones de RX, recomendando que se realice de forma periódica para detectar condiciones de funcionamiento anormales que afectará a la protección y la seguridad (Leyton , y otros, 2007 pág. 216).

En el tratado de EURATOM (2014), varias recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y los informes del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), subrayan la importancia de un monitoreo apropiado de la radiación ambiental. Los datos radiológicos proporcionados por las redes de monitoreo, son una entrada clave para las medidas de respuesta en caso de emergencias radiológicas. También durante la operación de rutina de las instalaciones, son indispensables para proporcionar datos confiables sobre los valores de tasa de dosis (Novel spectrometers for environmental dose rate monitoring, 2018 pág. 1).

En el 2016, Faggioni y sus colaboradores, mencionaron que es crucial para las instituciones médicas monitorear la cantidad de dosis de exposición a la radiación de los procedimientos radiológicos. Actualmente, las organizaciones internacionales y cada país están ejecutando o preparando varios programas para la reducción de la dosis de exposición a la radiación, como el proyecto de tarjeta inteligente del OIEA, el registro de imágenes médicas de My Child en el American College of Radiology o la tarjeta Wallet en el Hospital Beaumont en Pennsylvania (Faggioni, y otros, 2017 pág. 138).

En un estudio de Mora & Mora Rodríguez en el 2006, sobre monitoreo ambiental, afirman que la tasa de dosis debe medirse para proveer un medio que verifique el cumplimiento legal de las instituciones que utilizan radiación ionizante y además, sirva para calcular las dosis que reciben las personas expuestas que trabajan en instalaciones de radiodiagnóstico (Mora Rodríguez , y otros, 2009 pág. 22).

En Ecuador, Montenegro en el 2014, midió la dosis ambiental en puntos específicos a nivel las paredes de un bunker de irradiación con una fuente de Cobalto-60 de la Escuela Politécnica Nacional, y obtuvo que la tasa de dosis ambiental promedio para la pared norte y sur del irradiador es de 6 $\mu\text{Sv/h}$, y para las paredes este y oeste la tasa de dosis ambiental es mayor a 6 $\mu\text{Sv/h}$, debido a que los puntos específicos coincidían con lugares en los que se encontraba puntos de fuga en las paredes señaladas del irradiador (Montenegro, 2014 pág. 135).

Chisga en el año 2019, realizó la determinación de tasa de la dosis ambiental de seis instalaciones de RX y TC de la ciudad de Ambato, utilizando el protocolo del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nuclear en América Latina y el Caribe (ARCAL) XLIX, concluyendo que en las instalaciones de RX se encuentra dentro del límite, mientras que las instalaciones de TC dos de ellas se encuentran fuera del límite de dosis, recomendando la implementación de un oficial de protección radiológica para la corroboración de los datos obtenidos (Chisga, 2019 págs. 109-110).

Planteamiento del problema

Con el avance de la tecnología y el mejoramiento de los equipos generadores de radiación ionizante, se ha incrementado la utilización de este tipo de radiación con fines médicos, ayudando así a la detección temprana y tratamiento adecuado de enfermedades. Por ser estas técnicas cada vez más utilizadas, tienen una variedad de ventajas y desventajas, una desventaja significativa es que la constante exposición de radiación ionizante produce efectos determinísticos y estocásticos, este último tiene un riesgo elevado ya que, por no tener un umbral de dosis, puede provocar cáncer o mutaciones genéticas. Por lo que, se necesita la debida protección radiológica, los protocolos y la cuantificación de la dosis ambiental y personal en el lugar donde se utilice este tipo de radiación, de esta forma se evitará la aparición de estos efectos.

En ciertas instituciones hospitalarias que tienen equipos de RX y TC, no siguen adecuadamente los protocolos de protección radiológicas, ya que al no delimitar las zonas y no realizar el análisis de la tasa de dosis ambiental de manera periódica o al adquirir un equipo, genera que no exista una garantía de la calidad de la instalación de radiodiagnóstico, lo que conlleva a que el POE, paciente y público reciban dosis mayores de lo permisible, causando así efectos para la salud.

Justificación del problema

El aumento de la utilización de radiación ionizante en prácticas de diagnóstico médico en el país, especialmente en equipos RX y TC, los mismos que utilizados a diariamente, ha generado que se tome las debidas precauciones y se establezca protocolos, normas y controles necesarios para la protección radiológica de las personas expuestas a corto y largo plazo. Dentro los protocolos necesarios para un funcionamiento adecuado y permitido de las instalaciones con equipos generadores de radiación ionizante, es la cuantificación, evaluación y control dosimétrico personal, mismo que ayuda a medir las dosis recibidas del POE dentro de la instalación, también es fundamental realizar un levantamiento radiométrico en las instalaciones donde se encuentre estos equipos, lo cual ayuda a cuantificar la dosis ambiental.

Es primordial el monitoreo constante, lo cual genera el cálculo de la tasa de dosis ambiental en las instalaciones de radiodiagnóstico, logrando asegurar que cada uno de los procedimientos que se realicen no afecte al POE, público ni a los pacientes. Además, la dosis ambiental debe medirse de forma constante ya que promueve que las instalaciones de radiodiagnóstico verifiquen el impacto que genera a instalaciones aledañas.

La bibliografía revisada evidencia que en el Ecuador el monitoreo ambiental y el cálculo de tasa de dosis ambiental, no se realiza con frecuencia en instalaciones hospitalarias que brinden el servicio de radioterapia, medicina nuclear y radiodiagnóstico, por ello se considera importante realizar el levantamiento de la información necesaria en centros médicos de radiodiagnóstico de la ciudad de Riobamba, esperando que en un futuro esta práctica se considere en otras ciudades del país de manera periódica.

Este análisis en áreas hospitalarias que brinden servicio de RX y TC, permitirá verificar el cumplimiento del nivel de blindajes de las instalaciones, la correcta posición de los equipos y corroborar que la dosis que recibe el POE y el público, se encuentren dentro de los niveles de dosis permisibles por la Autoridad Reguladora, en el caso del Ecuador, la Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN); a fin de evitar riesgos radiológicos a futuro.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la tasa de dosis ambiental en instalaciones hospitalarias en la ciudad de Riobamba, que brindan servicio de rayos X y tomografía computarizada.

Objetivos Específicos

- Identificar los puntos críticos de las áreas de RX y TC de las instituciones hospitalarias seleccionadas.
- Generar el monitoreo radiológico en función de los puntos críticos de los diferentes centros médicos.
- Comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos por la Autoridad Reguladora.
- Generar recomendaciones que minimicen el riesgo radiológico en las áreas de RX y TC, en el caso de se determinen valores fuera de los límites permisibles.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Física de los rayos X

1.1.1. *Los rayos X*

El 8 de diciembre 1895 el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen descubrió las RX, cuando experimentaba en una sala oscura con un tubo de rayos catódicos que estaba cubierto con papel negro, observó que un papel que se encontraba cerca de platinocianuro de bario se iluminó, después del descubrimiento se dedicó a investigar cuidadosamente las propiedades de los rayos ya que una de las características fundamentales era que estos rayos podían penetrar casi todo, de esta forma lo denominó a este tipo de radiación RX (Raduales, 2014 pág. 35).

Los RX son un tipo de radiación electromagnética ionizante, que dan forma al espectro electromagnético, se encuentran por encima de la radiación ultravioleta, ya que por tener una longitud de onda pequeña interactúa de mejor forma con la materia. Al tener menor longitud de onda los rayos, será mayor su energía y poder de penetración (Raduales, 2014 pág. 36c).

1.1.2. *Producción de RX*

Los RX se obtienen al frenar un haz de electrones que se han acelerado, generalmente contra de un blanco metálico de Wolframio que es el más utilizado en radiología convencional. En los aparatos de radiodiagnóstico existe un cátodo emisor de electrones y un ánodo conectado a un potencial positivo, el cual atrae a los electrones sirviendo así de blanco para que estos choquen. Los electrones se aceleran al aplicar una diferencia de potencial eléctrico, y después van a perder energía cinética acorde se producen colisiones inelásticas radiactivas con los átomos de Wolframio. Las mayores pérdidas de energía se producen a ionizaciones depositadas en el ánodo, y generando así calor, lo cual el 99% de la energía será calor y el 1% restante será RX (Alcaraz, 2017 pág. 6).

- RX de Frenado

Se genera cuando se acelera un haz de electrones y golpea contra un objeto metálico, este objeto debe tener un alto número atómico (Z), el cual convierte una fracción de la energía en RX de frenado. Cuando el electrón proyectil tenga mayor proximidad del núcleo mayor también será la influencia sobre el campo electrostático del núcleo. Cuando pasa por el núcleo el electrón proyectil reduce su velocidad y cambia de sentido, de esta forma la energía cinética va a disminuir y cambiar de dirección, la energía cinética perdida permanece en forma de fotón de RX. Un electrón con energía cinética puede perder toda, parte o nada de la energía por una interacción de frenado. Los RX de frenado son emitidos desde el blanco de forma aleatoria (Alcaraz, 2017 pág. 7).

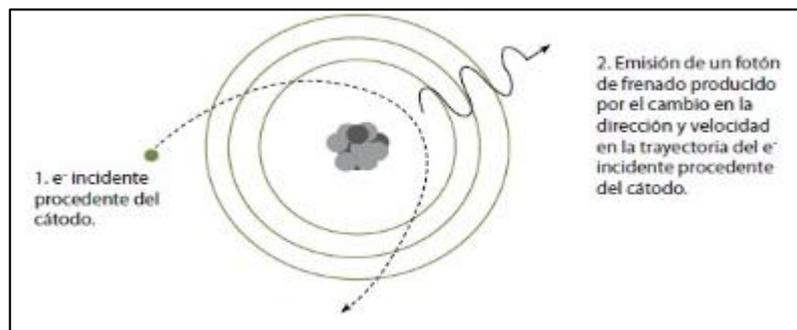


Figura 1-1: RX de frenado

Fuente: Dávila, 2017

- RX Característicos

Cuando la energía cinética de un electrón es bastante alta para ionizar o excitar a los electrones corticales de los átomos del ánodo. Al generar el choque se produce un hueco en una órbita interna del átomo, este hueco podrá ser ocupado por un electrón de una órbita cercana, la misma que emitirá una diferencia de energía en forma de fotón. La radiación emitida tiene un valor propio para cada número atómico del material que se utilice, por ello se denomina RX característicos. La radiación característica de mayor importancia en radiología es la que proviene de la capa K del átomo de Wolframio o Molibdeno, y para que se origine estos RX la energía del electrón incidente debe ser mayor a la energía de enlace de la capa K (Alcaraz, 2016 pág. 4).

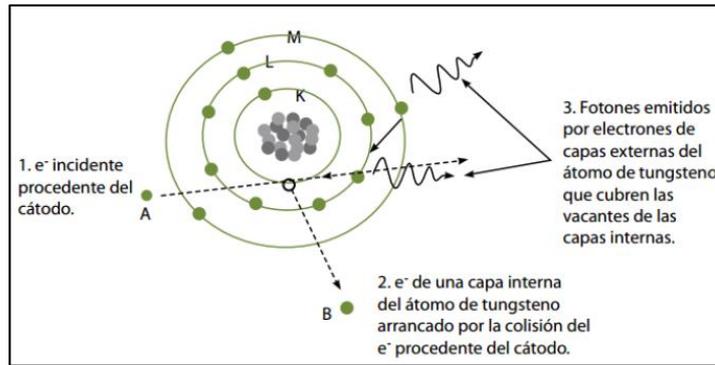


Figura 2-1: RX de característicos

Fuente: Dávila, 2017

1.1.3. Equipos generadores de radiación ionizante en diagnóstico

1.1.3.1. Equipo de RX convencional

Los RX se generan al recibir electricidad al equipo, esta corriente es de 220 volts, el cual es recogida por un transformador de baja tensión, mismo que disminuye el voltaje a 5 o 10 volts; y que produce el calentamiento del filamento generalmente de tungsteno, dentro del tubo de RX; al polarizarse el filamento que se halla en proximidades del cátodo, se forma, debido al alto vacío, una nube de electrones alrededor del filamento. Al cerrarse el circuito en el momento del disparo, se polariza el ánodo, estableciéndose un campo eléctrico entre ánodo (positivo) y cátodo (negativo), y debido a este campo eléctrico todos los electrones de la nube serán acelerados hacia el ánodo. Todos los electrones acelerados adquieren la misma energía, esto depende exclusivamente del potencial (kV) aplicado, estos electrones procederán a frenarse e interactuar con los átomos del blanco entregando su energía de un modo diferente, siguiendo cada uno su propia trayectoria. Cada electrón tiene la probabilidad de generar un fotón de una energía que podrá variar entre cero y el máximo de su energía cinética, conforme sea su trayectoria en el blanco. Aquellos fotones de muy baja energía, interaccionarán casi en un 95% con el vidrio del tubo por efecto fotoeléctrico y por esta razón no pasarán a formar parte del haz útil. El vidrio y el aceite de aislamiento constituyen el primer filtrado del haz, denominado filtración propia o inherente del tubo, la cual resulta insuficiente para limitar los fotones de muy baja energía y de poco valor diagnóstico. Es por esta razón se agregan filtros adicionales de aluminio después de la ventana del tubo, cuya función es atenuar aún más estos fotones denominados "blandos" y evitar que la piel del paciente sea el filtro (García, 2009).

- Partes de un equipo de RX

Tubo de RX: Es donde se producen los RX, está compuesta por una ampolla de vidrio que contiene en el interior un filamento con potencial negativo denominado cátodo y un blanco con potencial positivo denominado ánodo. Tanto el ánodo como el cátodo son electrodos y la composición de estos dos electrodos recibe el nombre diodo (SACYL, 2016 pág. 192).

El cátodo es un filamento caliente de tungsteno el ánodo es un bloque de cobre cual está inmerso al blanco. Los electrones se generan desde el cátodo, chocando al blanco y producto de esta colisión se origina los RX, estos rayos salen del tubo por una ventana que es transparente a este tipo de radiación. Durante la generación de RX se produce gran cantidad de calor que se disipan hacia un blindaje metálico y finalmente hacia el aire (Mora, 2008 pág. 19).

Generador de alta tensión: Es el encargado de convertir la baja tensión del suministro eléctrico a la tensión adecuada para el funcionamiento del equipo y con la forma de onda apropiada. El generador consta de tres partes que son: transformador de filamento, transformador elevador de alta tensión y rectificadores, que son los encargados de transformar la corriente, ya que el suministro de energía es de corriente alterna y el tubo de RX necesitan corriente continua, dado que el flujo de electrones debe conducirse de cátodo – ánodo, se hace necesario rectificar la tensión una vez elevada el transformador de alta tensión (Mora, 2008 pág. 21).

Consola de Control: La consola es donde se encuentra el teclado para ingresar al técnico radiólogo todas las variables posibles, que ofrece la máquina para obtener una mejor visualización del objeto a analizar. La mayoría de los equipos actuales tiene la ventaja de no tener que ajustar los parámetros de tensión, corriente y corte de explosión ya que son automáticos (Mora, 2008 pág. 20).

1.1.3.2. Tomografía Computarizada

Es un procedimiento que a diferencia de los RX convencionales utiliza una fuente motorizada de RX, que gira alrededor de una abertura circular de una estructura en forma de dona llamada gantry. Durante el estudio el paciente permanece recostado sin moverse en una cama que se desplaza lentamente a través del gantry, mientras que el tubo de RX, gira alrededor del paciente, disparando haces angostos de a través del cuerpo. Los tomógrafos utilizan detectores digitales especiales, cuando los rayos salen del paciente, son captados por los detectores y transmitidos por una computadora para generar imágenes transversales o cortes de la parte de interés del cuerpo. Una

imagen en tomografía muestra la sección transversal de un objeto y permite examinar el interior del mismo, además muestra un mapa de la densidad del objeto en el plano de corte. La imagen se crea midiendo la atenuación de un haz de RX que atraviesa el objeto (Garcia, 2009).

- Partes de un Tomógrafo Computarizado

Gantry: Es un armazón mecánico que rodea al paciente en el plano vertical, contiene una armadura rotativa en él se encuentra los detectores, el tubo de RX y la electrónica del detector. Las características importantes del gantry son la apertura y la inclinación, donde la apertura es parte vacía del gantry donde permite el posicionamiento del paciente, mientras que la inclinación se refiere al giro que con respecto a la vertical permite realizar los estudios al paciente (Llangari, 2001 pág. 41a).

Mesa: Es el soporte del paciente durante el estudio debe ser fuerte y rígida, normalmente está elaborada de fibra de carbono que absorbe poca radiación. El movimiento de la mesa es de forma vertical que permite el acceso de la mesa al gantry para que realice el estudio deseado (Llangari, 2001 pág. 50).

Sistema de Computación: Es el encargado de reconstruir la imagen, además de permitir manipular, mejorando el contraste y tener una mejor calidad de la imagen (Llangari, 2001 pág. 41b).

Consola de control: Sirve para controlar el procesamiento de la imagen y el manejo de otros subsistemas, como mover la mesa, inclinar y detener la exposición (Llangari, 2001 pág. 45).

1.2. Dosimetría

Es la rama de la ciencia que se ocupa de la medida de la dosis absorbida por un material o tejido como consecuencia de la exposición a las radiaciones ionizantes presentes en un campo de radiación, previene o limita la aparición de efectos nocivos por la radiación (Licenciatura en Física, 2017).

- Dosimetría ambiental

Determinación de la dosis equivalente ambiental, $H^*(10)$, en las zonas accesibles para el público. Este tipo de dosimetría se realiza para las medidas de dosis de radiación dentro de planes de vigilancia radiológica ambiental establecidos alrededor de centrales nucleares o instalaciones de alto impacto (Consejo de Seguridad Nuclear, 2009 pág. 7a).

- Dosimetría de área

Determinación de la dosis equivalente ambiental, $H^*(10)$, en las zonas vigiladas y controladas, es decir en zonas de trabajo ocupadas por trabajadores expuestos. Se emplea para la clasificación y control de las zonas radiológicas y para la vigilancia dosimétrica de trabajadores de categoría B (Consejo de Seguridad Nuclear, 2009 pág. 7b).

1.2.1. Magnitudes Radiológicas

Evaluación de la dosis de exposición, para medir la energía depositada en órganos y tejidos del cuerpo humano, para relacionar la dosis de radiación al riesgo de la misma (el detrimento), teniendo en cuenta las variaciones en la eficacia biológica de la radiación de diferente calidad, así como la diferencia en la sensibilidad de órganos y tejidos a la radiación ionizante (SEPR; APCNEAN, 2007 pág. 39).

1.2.1.1. Magnitudes Radiométricas

Son magnitudes que tratan con dimensiones asociadas a un campo de radiación. Tales son, cantidad (fluencia de partículas) y calidad (distribución espectral) de un haz de radiación (Consejo de Seguridad Nuclear, 2009 pág. 4).

Tabla 1-1: Magnitudes Radiométricas

MAGNITUD	DEFINICIÓN	FÓRMULA	UNIDAD (SI)
Flujo de partículas	Incremento del número de partículas en un intervalo de tiempo.	$\dot{N} = \frac{dN}{dt}$	s ⁻¹
Fluencia de partículas	Son el número de partículas incidentes sobre una esfera de sección recta.	$\Phi = \frac{dN}{da}$	m ⁻²
Flujo de energía	Incremento de energía radiante en un intervalo de tiempo	$\dot{R} = \frac{dR}{dt}$	J.s ⁻¹
Fluencia de energía	Energía radiante sobre una esfera de sección recta	$\Psi = \frac{dR}{da}$	J.m ⁻²

Fuente: Consejo de Seguridad Nuclear, 2012

1.2.1.2. Magnitudes Dosimétricas

Magnitudes relacionadas con la medida de la energía absorbida y su distribución. Se conciben como una medida física que se correlaciona con los efectos reales o potenciales de la radiación (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012 pág. 7).

Tabla 2-1: Magnitudes Dosimétricas

MAGNITUD	DEFINICIÓN	FÓRMULA	UNIDAD (SI)
Exposición	Cantidad de carga generada en una determinada masa.	$X = \frac{dQ}{dm}$	C.kg ⁻¹
Kerma	La suma de todas las energías cinéticas iniciales de todas las partículas ionizantes cargadas, liberadas por partículas ionizantes no cargadas, en un material de masa.	$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$	Gy
Dosis absorbida	Energía absorbida por unidad de masa ponderada para un tejido u órgano.	$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$	Gy
Tasa de dosis absorbida	Incremento de dosis absorbida durante el intervalo de tiempo	$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$	Gy.h ⁻¹

Fuente: Consejo de Seguridad Nuclear, 2009

1.2.1.3. Magnitudes de Radioprotección

Magnitudes están relacionadas con el efecto biológico de las magnitudes dosimétricas, y que atienden tanto al tipo de radiación como a la naturaleza del medio irradiado (Consejo Nacional de Seguridad Nuclear, 2012 pág. 13).

- **Magnitudes Limitadoras**

Se utiliza para establecer límites máximos con objeto de proteger a los seres humanos de los posibles efectos nocivos de las radiaciones ionizantes. Estas magnitudes son valores medios, promediados sobre masa extensa, como puede ser un órgano o un tejido humano (Consejo Nacional de Seguridad Nuclear, 2012 pág. 14).

Dosis equivalente en un órgano (H_T): La probabilidad de efectos estocásticos sobre la salud, debido a radiaciones ionizantes que depende no solo de la dosis absorbida sino también del tipo y energía de la radiación considerada. Para considerar dicho efecto la ICRP introdujo el denominado factor de peso de radiación (Consejo Nacional de Seguridad Nuclear, 2012 pág. 14).

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R} \quad (1)$$

donde $D_{T,R}$ es la dosis absorbida media para la radiación R en el órgano o tejido T y W_R es el factor de ponderación para la radiación R. La unidad para la dosis equivalente en un órgano o tejido es la misma que para la dosis absorbida, es decir, $J.kg^{-1}$. Sin embargo, se utiliza el nombre especial Sievert (Sv) para distinguir cuando se está hablando de esta magnitud (Consejo Nacional de Seguridad Nuclear, 2012).

Dosis efectiva (E): La probabilidad de aparición de efectos estocásticos depende no solo del tipo de radiación sino también del órgano considerado. Es decir, no todos los órganos y tejidos del cuerpo humano son igualmente radiosensibles. A partir de la dosis equivalente, que tuviese en cuenta la combinación de diferentes dosis en diferentes órganos como consecuencia de una irradiación de cuerpo entero (Consejo Nacional de Seguridad Nuclear, 2012 pág. 16).

$$E = \sum_T W_T H_T \quad (2)$$

Donde W_T es el factor de ponderación para el tejido, y H_T es la dosis equivalente en un tejido u órgano (T). Su unidad especial es el Sievert (Sv) (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012 pág. 16).

- Magnitudes Operacionales

Se originaron ya que las magnitudes limitadoras son imposibles de medir directamente. Las magnitudes operacionales están relacionadas con la protección del cuerpo, que promueve una estimación conservadora del valor de las magnitudes de la protección relacionadas a una exposición, o exposición potencial, de personas en la mayoría de las condiciones de irradiación. Se puede utilizar en las regulaciones prácticas o de orientación (SEPR; APCENEAN, 2007 pág. 63a).

Dosis Personal ($H_p(d)$): Es el equivalente de dosis en tejido blando, por debajo de un punto especificado del cuerpo y a una profundidad apropiada (d). Se denota de la unidad en el Sistema Internacional es el $J.kg^{-1}$ y su nombre especial es el Sievert (Sv). Para radiación fuertemente penetrante, se recomienda una profundidad de 10mm, y para la débilmente penetrante se emplean 0,07mm para la piel y 3mm para el cristalino. Esta magnitud se define sobre el cuerpo humano y no sobre la esfera ICRU, como en el equivalente de dosis ambiental y direccional (SEPR; APCENEAN, 2007 pág. 63b).

Dosis ambiental ($H^*(d)$): En un punto de un campo de radiación, es el equivalente de dosis que se produciría por el correspondiente campo alineado en la esfera a una profundidad (d) sobre el radio opuesto a la dirección del campo alineado. Se denota con la unidad en el Sistema Internacional es el $J.kg^{-1}$ y su nombre especial es el Sievert (Sv). Para radiación energéticamente penetrante, es aconsejable una profundidad de 10mm, lo cual se expresa como $H^*(10)$, mientras que para la radiación débilmente penetrante se emplean 0,07mm para la piel y 3mm para el cristalino. La medida de $H^*(10)$ requiere generalmente que el campo de radiación sea uniforme sobre las dimensiones del instrumento y que tenga una respuesta isótropa (SEPR; APCENEAN, 2007 pág. 63c).

- Tasa de dosis ambiental

Expresa la velocidad a la que se entrega la dosis ambiental. Se expresa en mSv/h . Frecuentemente se incorpora la distancia al foco emisor en la tasa de dosis (Alcaraz, 2008 pág. 11).

$$\dot{H}(d) = \frac{H(d)}{d(t)} \quad (3)$$

Donde $H(d)$ es la dosis ambiental y $d(t)$ un tiempo determinado.

1.3. Protección Radiológica

1.3.1. Tipos de exposición

- Exposición ocupacional

En este tipo de exposición se incluyen el POE, como consecuencia de su trabajo con fuentes de radiación ionizante artificial o natural insertadas por acción humana, con excepción de las excluidas y de las causadas por fuentes o prácticas exentas (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012 pág. 12). Para tener un adecuado control en cuanto a la protección del personal expuesto es indispensable clasificar las zonas de trabajo en dos tipos: zonas controladas y zonas supervisadas. En zonas donde no exista ningún riesgo radiológico por contaminación de materiales radiactivos no sellados, las zonas en algunos casos se delimitan en función de la tasa de dosis. También es importante que el personal expuesto tenga la vigilancia radiológica individual, ya debe ser de uso obligatorio en las instalaciones que usan radiaciones ionizantes, con el fin de evaluar la dosis y verificar el cumplimiento de los límites establecidos por la entidad reguladora, el cumplimiento de los límites dependerá del uso correcto del dosímetro. En el caso de una mujer expuesta embarazada el límite de dosis equivalente de embrión/feto debe ser menor a 1 mSv durante el resto del embarazo y debe usar la protección adecuada al exponerse a los procedimientos de radiación ionizante (Sociedad Argentina de Radioprotección, 2011 pág. 47).

- Exposición médica

En este tipo de exposición se incluyen a los individuos expuestos como consecuencia de diagnóstico o tratamientos médicos. También comprende a las personas que conscientemente ayudan al paciente y a los voluntarios de investigaciones biomédicas (Guerrero, 2012). Para este tipo de exposición no es adecuado aplicar límites de dosis ya que se puede perjudicar al paciente en vez de beneficiar (Sociedad Argentina de Radioprotección, 2011 pág. 36).

- Exposición del público

Exposiciones recibidas por miembros del público a causa de fuentes de radiación ionizantes bien sea de origen natural o artificial, excluyendo a la exposición ocupacional, médica y de fondo natural normal en la zona de exposición, así como las derivadas de fuentes naturales que produzcan una irradiación significativa (Guerrero, 2012). En instalaciones hospitalarias el acceso al público debería ser restringido, aunque no existen los fundamentos de protección radiológica para aplicar esta restricción en zonas sin clasificar. Por ser limitada la duración del público en áreas

radiológicas hospitalarias se debe tener una política de acceso a las zonas supervisadas si es beneficio para el paciente (Sociedad Argentina de Radioprotección, 2011 pág. 48).

1.3.2. Principios de la Protección Radiológica

La protección radiológica tiene por finalidad la protección de los individuos, sus descendientes y de la humanidad en conjunto, de los riesgos derivados de aquellas actividades que debido a los equipos o materiales utilizados se exponen a radiación ionizante (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012 pág. 14a) .

- **Justificación**

Ninguna práctica con exposición a la radiación ionizante debe realizarse si su introducción no produce un beneficio neto positivo para los individuos o para la sociedad. Se debe considerar los efectos negativos y las alternativas posibles (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012 pág. 14b).

Si existe la decisión de introducir una nueva fuente de radiación, se reduzca una exposición existente, o se reduzca el riesgo potencial de exposición, debería producir beneficio individual o social como para compensar el detrimento que causa dicha decisión (SEPR; APCNEAN, 2007 pág. 78).

Existen tres niveles de justificación en la práctica radiológica:

- El primer nivel, menciona que el uso adecuado de la radiación ya sea para tratamiento o diagnóstico de enfermedades es aceptado ya que el beneficio es más que el daño que producirá a la sociedad.
- En el segundo nivel, cuando un procedimiento a realizarse con un objetivo definido, se juzgará si el procedimiento radiológico proporcionará la información necesaria acerca del individuo expuesto.
- En el tercer nivel, antes de realizarse el procedimiento deberá analizarse si la aplicación particular es más beneficiosa que dañina, es decir que todo estudio o procedimiento que implique radiación ionizante deberá ser previamente justificada (Sociedad Argentina de Radioprotección, 2011 pág. 27a).

- **Optimización**

Denominado principio ALARA debido a las siglas inglesas de la expresión “Tan bajo como sea razonablemente posible”. Todas las exposiciones a la radiación ionizante deben ser mantenidas a niveles tan bajos como sea posible, teniendo en cuenta factores sociales y económicos. Toda dosis de radiación implica algún tipo de riesgo, por ello no es suficiente cumplir con los límites de dosis

que este fijado en la normativa vigente (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012 pág. 14c). La probabilidad de recibir exposiciones, la magnitud de las dosis individuales y el número de personas expuestas, debe mantenerse lo más bajo posible. Esto significa que el nivel de protección radiológica debería ser el mejor, maximizando el margen de beneficio en relación al daño (SEPR; APCNEAN, 2007 pág. 79).

La optimización de la protección radiológica de personas expuestas médicas se aplica en dos niveles: en el primer nivel se encuentra la instalación, diseño, construcción de equipamientos y blindajes, mientras que el segundo nivel son los métodos cotidianos que utiliza el trabajador expuesto (Sociedad Argentina de Radioprotección, 2011 pág. 27b).

- Límite de dosis

En situaciones de exposición planificada para fuentes reguladas, que no sea exposiciones médicas de pacientes, la dosis total de cualquier individuo no debe exceder los límites establecidos en la normativa vigente. Estos límites son decididos por la Autoridad Reguladora teniendo en cuenta las recomendaciones internacionales, aplicando al POE y miembros del público (SEPR; APCNEAN, 2007 pág. 81).

Tabla 3-1: Límite de Dosis en situaciones de exposición planificadas

Tipo de Límite	Ocupacional	Público
Dosis efectiva:	20 mSv por año promediada en periodos definidos de 5 años	1 mSv en un año
Dosis equivalente en:		
Cristalino	150 mSv	15 mSv
Piel	500 mSv	50 mSv
Manos y pies	500 mSv	-----

Fuente: SEPR & APCNEAN,2007 (ICRP 103)

En el caso de que el límite de dosis sobrepase los valores establecidos, se debe realizar una revisión del equipo, blindaje y procedimientos con el fin de comprobar la optimización de la protección, caso contrario las medidas destinadas a la reducción de dosis deberán ser ejecutadas (Sociedad Argentina de Radioprotección, 2011 pág. 36).

1.3.3. Efectos de la Radiación Ionizante

El sistema de protección radiológica se basa en la suposición de que por más pequeña que sea la exposición de dosis de radiación, siempre hay algún riesgo (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012 pág. 11a). Dependiendo de algunos parámetros de la radiación ionizante al transferirse energía al organismo, originará uno o varios resultados en el mismo, el resultado final está relacionado con la dosis absorbida por el personal expuesto, paciente o público (Nuñez, 2008 pág. 1a).

- **Efectos determinísticos**

Efecto que únicamente aparece cuando muere un considerable número de células en un órgano o tejido, este efecto es visible cuando la dosis de radiación está por encima de un valor umbral. El umbral dependerá de magnitudes dosimétricas como es la tasa de dosis y la transferencia lineal de energía de la radiación (Sociedad Argentina de Radioprotección, 2011 pág. 21a). Ciertos individuos presentan mayor radiosensibilidad por lo que se puede presentar este efecto con dosis menores que el umbral de radiación. Los primeros efectos se presentan en tejidos de renovación rápida, tales como la médula ósea y la epidermis manifiesta el daño a corto plazo, mientras que los tejidos de renovación lenta reflejan el efecto de forma tardía (Estévez, 2018 pág. 59).

La mayoría de estos efectos se manifiesta en la aplicación de radiación ionizante en radioterapia e intervencionismo, lo más común es cuando se utiliza el fluoroscopio en procedimientos complejos y en tiempos prolongados (Sociedad Argentina de Radioprotección, 2011 pág. 21b).

Los efectos determinísticos se pueden clasificar en:

Efectos determinísticos tempranos: Estos efectos se dan dentro del primer año a la exposición de radiación ionizante, y está estrechamente concernientes con el daño producido en el organismo y el número de células muertas. Se puede alterar estos efectos si se fracciona la dosis que se administra al paciente, ya que si se fracciona la dosis los tejidos pueden soportar una dosis más elevada al valor umbral. Dentro de estos efectos en el organismo se encuentra la caída del cabello, eritemas y la enfermedad de la radiación (Nuñez, 2008 pág. 1b).

Efectos determinísticos tardíos: Después de un año de recibir la dosis están se relaciona con el daño inicial que produjo la radiación en alguna parte del organismo, estos efectos están menos influenciados si en caso una persona recibe la dosis en fracción, ya que son proporcionales al total de dosis. Algunas enfermedades ligadas a estos efectos son: cataratas, fibrosis pulmonar y queratosis (Nuñez, 2008 pág. 1c).

- Efecto estocástico

Al someterse el cuerpo a baja dosis de radiación o a una dosis mayor, pero que es recibida a lo largo de un tiempo, no se presenciara efectos deterministas apreciables, pero se puede evidenciar una posible existencia de efectos estocásticos, por ser el daño estadístico, ya es posible predecir la cantidad de la población que puede ser afectada, pero es imposible predecir la persona que será directamente afectada. Tales efectos pueden ser cáncer o la aparición de enfermedades congénitas (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012 pág. 11b).

La probabilidad de un efecto estocástico atribuible a la radiación aumenta con la dosis y probablemente, a dosis bajas. A dosis y tasas de dosis más altas, frecuentemente la probabilidad aumenta con la dosis más abruptamente que con una proporcionalidad simple (Sociedad Argentina de Radioprotección, 2011 pág. 21c).

1.3.4. Factores Básicos de Protección Radiológica

- Tiempo

Es un método práctico de radioprotección, ya que la dosis de la persona expuesta está estrechamente ligada con el tiempo, es decir cuanto más se exponga una persona mayor es la exposición total. En sentido más práctico el tiempo es utilizado como control de la exposición a la radiación (Saravia, 2013 pág. 110a).

- Distancia

La cantidad de dosis está presidida por la ley del inverso al cuadrado, la cual establece que la cantidad de radiación recibida es inversamente proporcional al cuadrado de las distancias desde la fuente de radiación, al duplicar la distancia entre una persona y la fuente reduce la dosis a la cuarta parte, por ello es recomendable mantenerse tan alejado como sea posible de la fuente (Saravia, 2013 pág. 110b).

$$\frac{D_1}{D_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \quad (4)$$

Donde D_1 y D_2 son los valores de las dosis a las distancias d_1 y d_2 .

- Blindaje

Es el material utilizado para reducir y absorber la radiación, mientras más grueso sea, menor será el paso de la radiación al otro lado del mismo. Los materiales más utilizados para blindaje en instalaciones de RX son el plomo y hormigón, por tener un alto coeficiente de atenuación. Además, para protección del personal expuesto, paciente y público en ciertos procedimientos en el interior de la sala de radiodiagnóstico, se utiliza delantales, protector de tiroides plomados (Saravia, 2013 pág. 110c).

1.3.5. Parámetros para el cálculo de la tasa de dosis ambiental

1.3.5.1. Parámetros para el cálculo de la tasa de dosis ambiental según el ARCAL XLIX para equipos de RX y TC

- Factor de uso (U)

Es la fracción de carga de trabajo durante la cual el espacio donde se realiza la medida es alcanzado por el haz primario (IAEA/ARCAL XLIX, 2001 pág. 9a).

Tabla 4-1: Factor de uso acorde a la barrera primaria

Tipo de Barrera	Factor de uso (U)
Piso	0.7
Pared	0.3

Fuente: IAEA/ARCAL XLIX, 2001

Tabla 5-1: Factor de uso acorde la barrera secundaria

Tipo de Barrera	Factor de uso (U)
Barrera Secundaria	1

Fuente: IAEA/ARCAL XLIX, 2001

- Factor de ocupación (T)

Se define como la estimación realista de la ocupación de los individuos más expuestos en el área, durante un periodo de uso de la instalación (IAEA/ARCAL XLIX, 2001 pág. 9b).

Tabla 6-1: Factor de ocupación

Ocupación	Local	Factor de ocupación (T)
Integral	Consultorio, recepción	1
Parcial	Espera, vestidor, Circulación Interna.	1/4
Eventual	Circulación externa, baños y escaleras.	1/16
Esporádico	Jardines cercados, casa de maquinas	1/32

Fuente: IAEA/ARCAL XLIX,2001

- Carga de trabajo semanal (W)

Depende de varios factores tales como la distancia foco-película, la tensión del tubo y la combinación de película pantalla (IAEA/ARCAL XLIX, 2001 pág. 10).

Tabla 7-1: Carga semanal de trabajo

Equipo	Número de pacientes	W (mA.min/sem)		
		100 kVp	125 kVp	150 kVp
Radiografía General	24	320	160	80
Radiografía de Tórax	60	160	80	-
Tomografía computarizada	-	5000		

Fuente: IAEA/ARCAL XLXI, 2001

1.3.5.2. Parámetros para el cálculo de la tasa de dosis ambiental según el NCRP 147 para equipos de RX y TC.

- Factor de uso (U)

Es la fracción de carga de trabajo durante la cual el haz primario se dirige hacia una barrera primaria. Depende del tipo de la instalación y la barrera de concentración (NCRP 147, 2005 pág. 39).

Tabla 8-1: Factor de uso acorde a la barrera primaria

Tipo de Barrera	Factor de Uso (U)
Receptor de Imagen	1.00
Piso	0.89
Pared de la mesa Transversal	0.09

Fuente: NCRP 147, 2005

Tabla 9-1: Factor de uso acorde a la barrera secundaria

Tipo de Barrera	Factor de Uso (U)
Pared diferente al Bucky tórax o mesa transversal	0.02

Fuente: NCRP 147, 2005

- Factor de ocupación (T)

Es el promedio de la fracción de tiempo que la persona está expuesto al haz de RX (NCRP 147, 2005 pág. 31).

Tabla 10-1: Factor de ocupación

Ocupación	Local	Factor de ocupación (T)
Total	Oficinas administrativas, laboratorios, farmacias, áreas de recepcionista, sala de espera, área de juegos, salas de RX adyacentes, estaciones de enfermería, salas de control de RX y otras áreas de trabajo totalmente ocupadas.	1
Fraccional	Salas utilizadas para exámenes y tratamientos de pacientes.	1/2
	Pasillos, habitaciones de pacientes, sala de empleados, baños para el personal.	1/5
	Puertas del pasillo	1/8
	Baños públicos, áreas de venta desatendidas, salas de almacenamiento, áreas al aire libre con asientos, área de espera para paciente, áreas desatendidas.	1/20
	Área libre con peatones o tráfico vehicular, áticos, escaleras, ascensor, armarios.	1/40

Fuente: NCRP 147, 2005

- Carga de trabajo (W)

Es la corriente del tubo de RX durante un periodo específico de tiempo dado en *mA.min*. El periodo de tiempo más común es de una semana (NCRP 147, 2005 pág. 32).

Tabla 11-1: Carga de trabajo

Equipo	Tipo de sala	Carga de trabajo (W) <i>mA * min/semana</i>
Radiografía general	Sala de radiación (Bucky tórax)	100
	Sala de radiación (piso u otras barreras)	320
Tomografía computarizada	Cabeza	40
	Cuerpo	60

Fuente: NCRP 147, 2005

1.4. Detectores de radiación ionizante

Aparatos que son diseñados principalmente para medición de un determinado tipo de radiación, tales como: RX, rayos gamma, electrones y neutrones (Pérez, 2013 pág. 13).

Los métodos de medición de los detectores radiaciones ionizantes se caracterizan por la detección de los efectos de las partículas secundarias surgidas durante el proceso de ionización del medio al paso de las radiaciones. El detector propiamente dicho forma la señal de energía y la transforma de tal manera que sea entendible para la lectura del observador. Existe diferentes tipos de detectores, los más utilizados para RX, son los de tipo gaseoso los cuales están constituidos esencialmente por gas, constituido en un recipiente de paredes tan delgada que nos interfiera con la radiación que llega (Alcaraz, 2008 pág. 4).

1.4.1. Detector Geiger Müller

Estos detectores se utilizan para la detección de radiación beta o fotónica. Para que el detector resulte sensible a este tipo de partículas, es necesario que disponga de una ventana fina que permita ingresar a las partículas beta, y para detección de un fotón X y gamma, por lo menos debe liberarse un electrón secundario, lo cual puede realizarse por interacción tanto con el gas de llenado como con el material de las paredes. El electrón liberado debe a su vez, alcanzar el volumen sensible del contador (volumen delimitado por el campo eléctrico, donde tiene lugar la multiplicación de iones) e iniciar una avalancha (Facultad de Ingeniería, UNER, 2010). Al elevar la tensión de polarización por encima de la zona de proporcionalidad limitada, los impulsos resultantes alcanzan toda la misma amplitud, independientemente de la ionización primaria debida a la partícula detectada. Se dice entonces que la modalidad de funcionamiento del contador corresponde a la zona Geiger. En esta zona se presenta un fenómeno peculiar consistente en la

propagación de la descarga lo largo del hilo. Este fenómeno se debe a que en los procesos atómicos de desexcitación se emiten fotones ultravioletas, que, por efecto fotoeléctrico, liberan en zonas vecinas nuevos electrones, capaces de cebar avalanchas adicionales. Una vez finalizada la descarga, los electrones liberados son capturados, en un tiempo corto, por el hilo central (Alcaraz, 2008 pág. 5a).

Los iones, que son mucho más lentos por su mayor masa, quedan momentáneamente formando una vaina positiva alrededor del hilo, lo cual hace disminuir el campo eléctrico en la vecindad del ánodo. El gas de llenado de un Geiger suele estar constituido por una mezcla de argón y otro gas, llamado extintor, que suele ser cloro o bromo. La necesidad de incorporar un gas extintor se debe, a que los iones de argón, al llegar al cátodo y neutralizarse, quedan en estado excitado (Alcaraz, 2008 pág. 5b).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLOGÍCO

2.1. Tipo y diseño de Investigación

El estudio desarrollado es de carácter experimental, ya que se basa en el tratamiento estadístico de tipo descriptivo de los datos obtenidos de la tasa de dosis de cinco instalaciones hospitalarias de la ciudad de Riobamba que brindan servicio de RX y TC. En cada una de las instalaciones seleccionadas para el estudio, se determinó como mínimo seis puntos críticos, en los cuales se tomó cuatro medidas de tasa de dosis en cada punto mediante un detector Gamma Scout Online, las medidas se realizaron en función de los protocolos establecidos por el NCRP publicación 147 y el ARCAL XLIX.

2.2. Equipos e instrumentos utilizados para el desarrollo de la investigación

2.2.1. Equipos de RX

Los equipos utilizados para la presente investigación son equipos de RX convencional cuya base se encuentra fija al piso y se puede realizar diferentes estudios, tanto simples como contrastados.

Tabla 1-2: Características de los equipos de RX

Instalaciones	Características
Instalación 1	Marca del Equipo: Control X Marca del Tubo: Toshiba Modelo del Equipo: Stylix Modelo del Tubo: E7239FX
Instalación 2	Marca del Equipo: Philips Marca del Tubo: Philips Modelo del Equipo: Rolatix Modelo del Tubo: RO 30 50 RE
Instalación 3	Marca del Equipo: Siemens Marca del Tubo: Siemens Modelo del Tubo: 50171506

Instalación 4	Marca del Equipo: ECORAY Marca del Tubo: Toshiba Modelo del Equipo: ECOVIEW 9 PLUS Modelo del Tubo: E7252X
Instalación 5	Marca del Equipo: Quantum Medical Imaging Marca del Tubo: Toshiba Rotanode Modelo del Equipo: E7239X Modelo del Tubo: E7239

Realizado por: Ureña C, 2020

2.2.2. Equipos de TC

Los equipos utilizados en su mayoría cuentan con dos detectores en el gantry, estos equipos pueden realizar diferentes estudios simples y contrastados.

Tabla 2-2: Características de los equipos de TC

Instalaciones	Características
Instalación 1	Marca del Equipo: Siemens Marca del Tubo: Siemens Modelo del Equipo: SOMATON SCOPE Modelo del tubo: 10967666
Instalación 2	Marca del Equipo: General Electric Marca del Tubo: General Electric Modelo del Equipo: PROSPEED Modelo del Tubo: 22327853
Instalación 3	Marca del Equipo: General Electric Modelo del Equipo: Revolution ACTs
Instalación 4	Marca del Equipo: General Electric Marca del Tubo: General Electric
Instalación 5	Marca del Equipo: Siemens Healthineer Marca del Tubo: Siemens Modelo del Equipo: SOMATON go now Modelo del Tubo: 11171900

Realizado por: Ureña C, 2020

2.2.3. Instrumentos

2.2.3.1. Detector Geiger Müller

El detector utilizado en la presente investigación es un detector Geiger Müller de marca Gamma Scout Online de serie 073748, el cual tiene la opción de visualizar los valores medidos en tiempo real, es ideal para detectar rayos alfa, beta, gamma y RX, ya que puede determinar perfectamente una radiación muy baja de hasta $0,01 \text{ pSv/h}$ como una radiación relativamente fuerte de $1.000,00 \text{ pSv/h}$. Tiene un funcionamiento estándar que de manera rápida y segura da la carga radiactiva en la pantalla del detector en la unidad de $\mu\text{Sv/h}$, no solo como valor numérico sino también en forma de diagrama de barras (PCE Ibérica S.L, 2003 pág. 6a).

El detector posee un selector de diafragma para limitar el tipo de radiación que se desea medir; si se coloca el selector del diafragma en el centro se determinara únicamente los rayos gamma(γ), ya que una hoja de aluminio protegerá la abertura del tubo contador de los rayos alfa(α) y rayos beta (β), mientras que si se coloca el selector de diafragma en la parte izquierda medirá únicamente los rayos γ y β , y al colocar el selector de diafragma en la parte derecha medirá los diferentes tipos de rayos (PCE Ibérica S.L, 2003 pág. 6a).

Además, cuenta con un puerto USB que sirve para enviar los datos al computador que debe estar previamente instalado el software Gamma Toolbox que sirve para leer los datos acumulados en la memoria del equipo.

El detector Gamma Scout Online cuenta con un certificado de calibración en cual especifica que el detector se utilizó para medir la radiación ambiental durante tres días, y los resultados fueron comparados con dispositivos de referencia encontrando que se desvía $\pm 5\%$. Los dispositivos de referencia se midieron en el Instituto de Física, Química y Radioquímica de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Mannheim y se obtuvieron que la tasa de dosis equivalente que alcanza hasta $1,000 \mu\text{Sv/h}$, y se considera adecuados y listos para el uso.

El factor de calibración que no se tomó el valor, ya que el equipo por estar calibrado por fuentes de ^{133}Ba , ^{137}Cs y ^{60}Co durante la fabricación en cual son una serie de pasos que no son publicados, no requiere que se recalibrarse.



Figura 1-2: Detector Gamma Scout Online
Realizado por: Ureña C, 2020

2.2.4. Identificación de área controlada y libre

Es fundamental realizar la identificación de las áreas en cada instalación donde está expuesto el POE y el público, ya que de esto depende el reconocimiento de los puntos críticos para la medición de la tasa de dosis.

Un área controlada es el lugar donde se encuentra el POE operando la consola de control mientras se realiza los estudios de RX y TC. En tanto que el área libre son los lugares colindantes a la sala donde se realiza los estudios, generalmente es donde se encuentra el público. En el presente trabajo se denota al área controlada con la letra C y al área libre con la letra L.

2.2.5. Determinación de los puntos críticos

Para la determinación de los puntos críticos se utilizó el protocolo de ARCAL XLXI y las normas del NCRP 147, los cuales contienen la información necesaria sobre las barreras primarias y secundarias que servirán para la identificación de los puntos críticos. En el caso de las instalaciones donde se encuentran los equipos de RX, la barrera primaria es pared, techo, piso u otra estructura que interceptará la radiación emitida directamente desde el tubo de RX, mientras que la barrera secundaria es una estructura que intercepta o atenúa radiación de fuga y dispersa. En el caso de las instalaciones de TC únicamente cuentan con barrera secundaria.

Después de determinar las barreras en las instalaciones se determinó alrededor de seis puntos críticos para cada instalación, de los cuales los principales son cuatro puntos críticos que se identifica por la dirección del haz de radiación, los puntos restantes se identifica si existen barreras secundarias adicionales que interactúen con el haz de radiación.

2.2.6. Planos de las instalaciones

Para una mejor identificación de los puntos críticos y así obtener mejor los datos de la tasa de dosis se realizaron los planos de las instalaciones hospitalarias mediante al programa AUTOCAD 2019, a una escala de 1:1. En los planos además de identifican los puntos críticos, las áreas adyacentes, las puertas y ventanas. Los puntos críticos están denotados con letras mayúsculas.

2.2.6.1. Planos de las instalaciones de RX

En todos los planos de la cada instalación, los elementos del equipo esta denotado por números de la siguiente manera:

- 1 Tubo de RX
- 2 Bucky de pared
- 3 Mesa
- 4 Consola de control

- Instalación 1

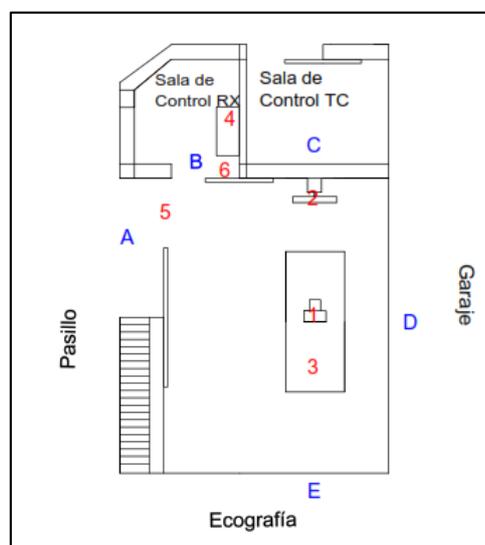


Figura 1-2: Plano de la instalación 1 de RX
Realizado por: Ureña C, 2020

En la presente instalación se identifica 5 puntos críticos de los cuales, el punto A se encuentra en la puerta número 5 entre la puerta y pasillo lo cual es una área libre, el punto B se encuentra en la puerta número 6 de la sala de consola de control de RX siendo considerada una área controlada, el punto C pertenece a la sala de control de TC que es una zona controlada, el punto D pertenece al garaje y el punto D se encuentra en la sala de ecografía.

- Instalación 2

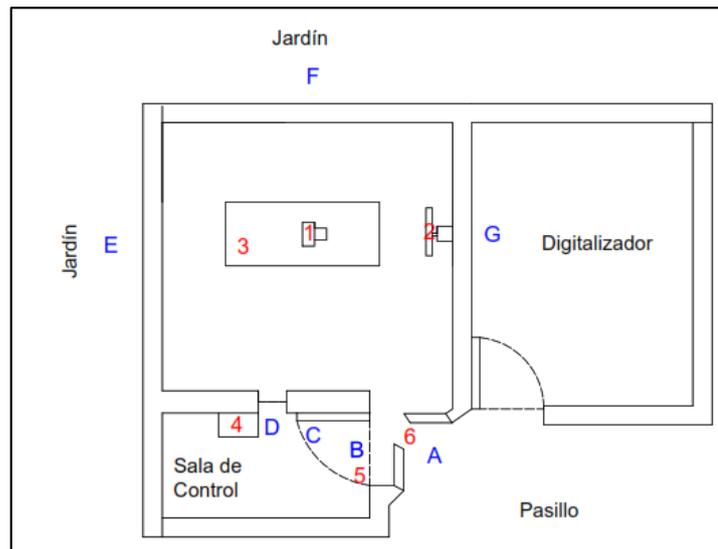


Figura 2-2: Plano de la instalación 2 de RX
Realizado por: Ureña C, 2020

En la presente instalación se identifica 7 puntos críticos de los cuales; el punto A es una área libre y se encuentra en la puerta número 6 da al pasillo, el punto B se encuentra en la puerta 5 y los puntos C y D pared y ventada respectivamente de la sala de la consola de control por lo tanto pertenecen a una área controlada, el punto E y F está en el jardín por lo que se encuentra en una área libre, el punto G está en digitalizador considerándose un área controlada.

- Instalación 3

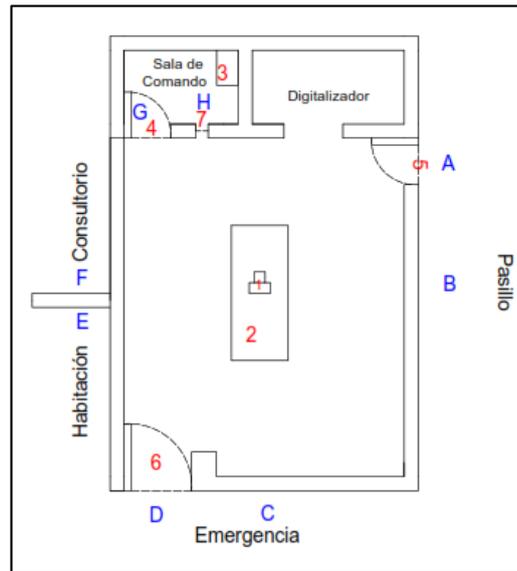


Figura 3-2: Plano de la instalación 3 de RX
Realizado por: Ureña C, 2020

En la instalación 3 se puede evidenciar que hay 8 puntos críticos de los cuales; el punto A se encuentra en la puerta número 5 y el punto B están en el pasillo por lo que se considera que se encuentra en una área libre, el punto C y el punto D que se encuentra en la puerta 6, los mismos que se encuentran en la sala de emergencia y se considera área libre, el punto E está en una habitación por lo que de igual forma se considera una zona libre, el punto F está en un consultorio y es considerada una área libre, mientras que los puntos G está ubicado en la puerta número 4 y el punto H es una ventana número 7, los dos puntos antes mencionados están en la sala de control por lo que se considera una área controlada.

- Instalación 4

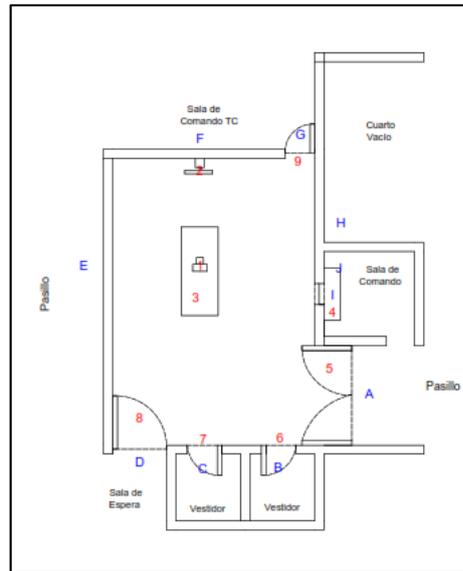


Figura 4-2: Plano de la instalación 4 de RX
Realizado por: Ureña C, 2020

En la figura 5-2 se observa el plano de la instalación 4 en el cual se determinó 10 puntos críticos de los cuales; el punto A se encuentra en la puerta número 5 ubicada en el pasillo por lo cual pertenece a una área libre, los puntos B y C se encuentran en las puertas 6 y 7 respectivamente ubicadas en los vestidores por lo cual es una zona libre, el punto D se encuentra en la puerta número 8 está en una sala de espera por lo tanto es una área libre, al igual que el punto E que se encuentra en el pasillo, mientras que el punto F se encuentra la consola de control de TC considerándose área controlada, el punto G ubicado en la puerta número 9, el punto H está en un cuarto vacío considerándose área libre, mientras que los puntos I ubicados en la ventana y J están en la consola de mando porque se considera área controlada.

- Instalación 5

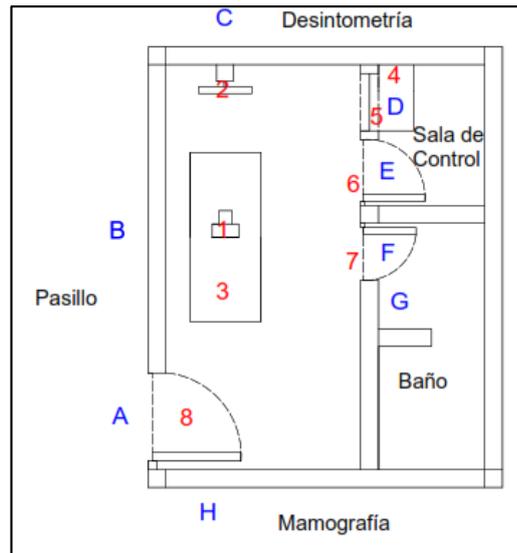


Figura 5-2: Plano de la instalación 5 de RX
Realizado por: Ureña C, 2020

En la figura 6-2 se observa que existe 8 puntos críticos, de los cuales C colinda a una pared de Densitometría, el punto D que se encuentra en una ventana señalada con el número 4 en el plano, el punto E que es una puerta denota con el número 6 y el punto H colinda con la pared de mamografía, los cuatro puntos antes mencionados pertenecen a una zona controlada, mientras que los puntos restantes que son los puntos A,B,F y G pertenecen a una zona libre.

2.2.6.2. Planos de las instalaciones de TC

En los planos de cada instalación, los elementos del equipo están denotados por números de la siguiente manera:

- 1 Gantry
- 2 Mesa
- 3 Consola de control

- Instalación 1

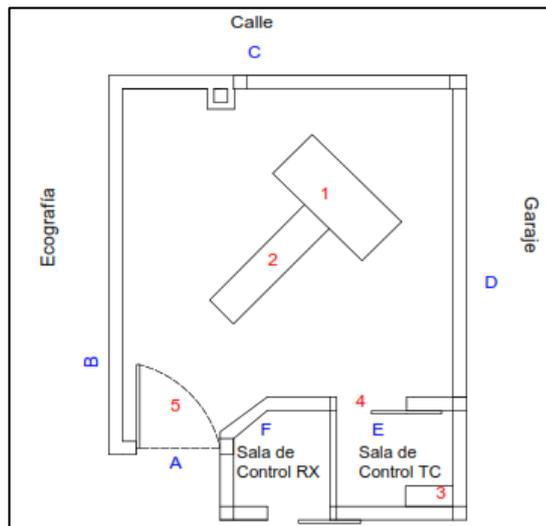


Figura 6-2: Plano de la instalación 1 de TC
 Realizado por: Ureña C, 2020

En la figura 7-2 se muestra el plano de la instalación 1 de TC en cual se observa que el punto A pertenece a la puerta número 5 que da al pasillo considerándose área libre, el punto B está en la sala de Ecografía por lo que se considera área libre, los puntos C y D se encuentran en la calle y garaje respectivamente por lo tanto se considera área libre, mientras que los puntos E que se encuentra en la puerta 4 y F están en las salas de la consola de control de TC y RX, estos puntos por encontrarse en estos lugares se considera área controlada.

- Instalación 2

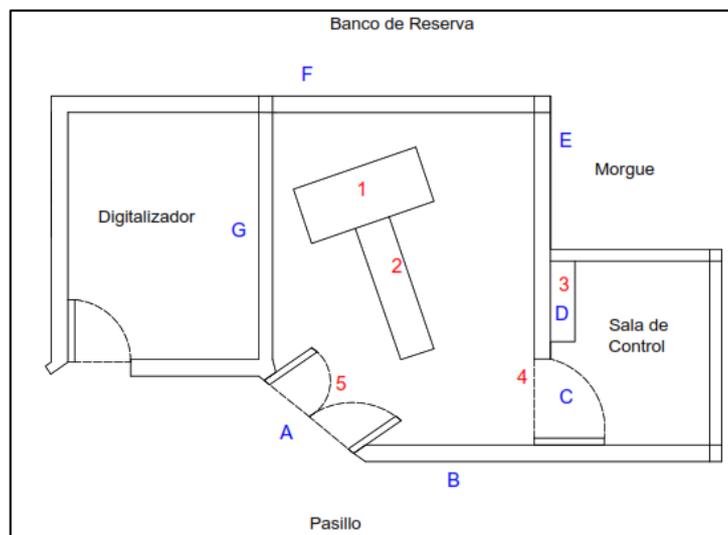


Figura 7-2: Plano de la instalación 2 de TC
 Realizado por: Ureña C, 2020

En la figura 8-2 se observa que los puntos A que se encuentra en la puerta número 5 y el punto B se ubican en el pasillo por lo que se considera área libre, mientras que los puntos C ubicados en la puerta número 4 y el punto D están dentro de la sala de control de comando y se considera área controlada, los puntos E y F por encontrarse en el exterior se considera zona libre, mientras que el punto G que se encuentra en digitalizador es área controlada.

- Instalación 3

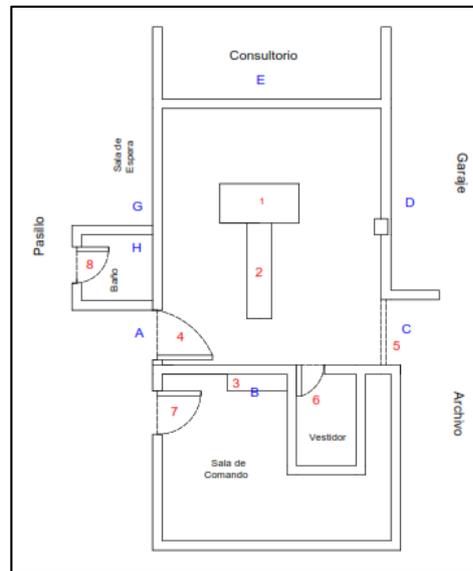


Figura 8-2: Plano de la instalación 3 de TC
Realizado por: Ureña C., 2020

En la Figura 9-2, se observa que en la instalación 3, tiene 7 puntos críticos de los cuales; el punto A se encuentra en la puerta número 4 el cual está en la sala de espera lo que se considera zona libre, el punto B que corresponde a la sala de control de comandos considerándose zona controlada, el punto C es una puerta número 5 que da al archivo por lo que se considera zona libre, el punto D por encontrarse en el garage y ser un lugar poco concurrido se considera área libre al igual que los puntos E,F y G.

- Instalación 4

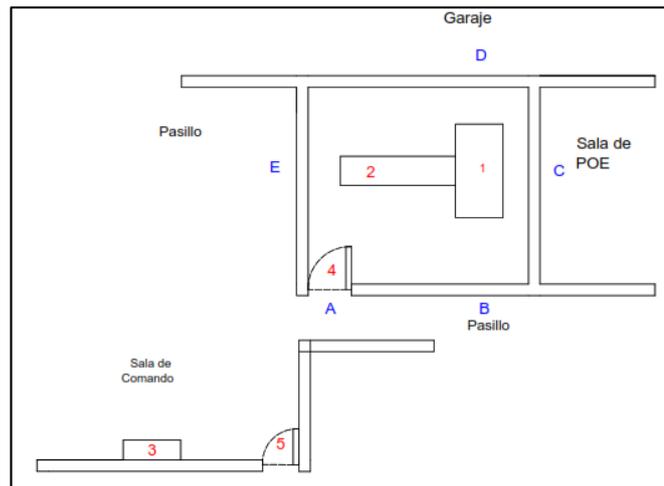


Figura 9-2: Plano de la instalación 4 de TC
Realizado por: Ureña C, 2020

En la figura 10-2, se observa que en la instalación 4 existe 5 puntos críticos de los cuales todos pertenece a una zona libre ya que los puntos A, B y E se encuentran en el pasillo, el punto C es un salón donde se reúne el POE y el punto D es un garaje.

- Instalación 5

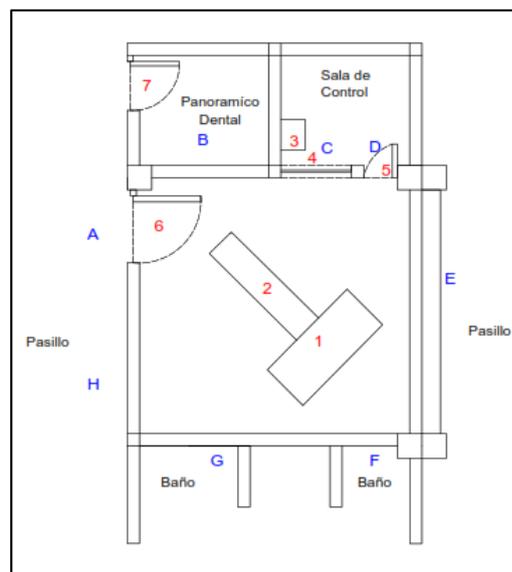


Figura 10-2: Plano de la instalación 5 de TC
Realizado por: Ureña C, 2020

En la figura 11-2 se puede visualizar existe 8 puntos críticos de los cuales, los punto B, C y D pertenecen a una zona controlada por ser donde se encuentra la sala de comandos y existe presencia de POE, el resto de puntos críticos pertenecen a una zona libre.

2.2.7. Medición de la tasa de dosis

Los datos de cada punto se obtuvieron mediante los disparos de los equipos de RX y TC, de los cuales se seleccionó el valor más alto que marcaba el detector, además, en algunos casos, se utilizó un botellón de agua para simular la superficie torácica por lo que se aplicó los parámetros de operación más altos que se utiliza, que es para un estudio de columna vertebral.

Los parámetros utilizados dependen de la marca del equipo y la consideración de los técnicos en imagen.

Se obtuvieron cuatro datos por cada punto, en ciertas instalaciones no fue posible obtener datos de los puntos críticos ya que por la ubicación tenía áreas adyacentes a las cuales no fue posible entrar.

2.2.7.1. Ubicación del detector en los puntos críticos.

El detector utilizado para la medición es el detector Gamma Scout Online, el mismo que se colocó a 30 cm de distancia de cada barrera identificada y a una altura de 110 cm que es la altura promedio de una mesa de RX y TC, se coloca a las distancias mencionadas con la finalidad de obtener la mayor cantidad de radiación incidente en la cada barrera.

2.2.7.2. Cálculo de la tasa de dosis ambiental

Para el cálculo de la tasa de dosis ambiental se utiliza las normas del NCRP 147 y el protocolo del ARCAL XLXI, los cuales especifican los pasos y lineamientos que se deben utilizar para obtener un valor preciso.

Para ello se selecciona el dato de la dosis con mayor valor y se multiplica por el factor de calibración del detector, que en este caso el detector ya está calibrado desde la fábrica por lo cual no se considera este valor, además de multiplica por el factor de conversión de la magnitud de interés. Al obtener estos valores se transforma en $mSv/mA * min$ y el resultado obtenido se multiplica por la carga de trabajo (W), por el factor de uso (U) y por el factor de ocupación (T), estos parámetros antes mencionados se encuentran en el NCRP 147 y en el ARCAL XLXI.

En la siguiente ecuación se indica la tasa de dosis ambiental en la cual esta denotada por la letra \dot{H} :

$$\dot{H} = \dot{D}_{medida} [mSv/mA * min] x W \left[mA \cdot \frac{min}{sem} \right] x U x T \quad (16)$$

Para expresar el valor obtenido en $mSv/año$ se multiplica por 50 semanas/ año.

2.2.7.3. *Parámetros utilizados por el ARCAL XLXI*

- Factor de ocupación (T)

Para las 5 instalaciones se selecciona a partir de la estimación realista de los individuos expuesto en cada instalación y los lugares adyacentes, se ocupa el valor de 1 para consultorios, salas de comandos y recepción, para sala de espera, vestidor, pasillo se utiliza el valor de 1/4, para escaleras, baños se utiliza el valor de 1/16 y para jardines cercados y casa de maquina el valor de 1/32.

- Factor de uso (U)

En las 5 instalaciones el valor de acuerdo a la fracción de carga de trabajo donde se realiza la medida alcanzada por el haz primario es el valor de 0.3 y para el piso es de 0.7.

- Carga de trabajo (W)

Para las instalaciones 1 y 4 se considera que la carga de trabajo es igual a 80 *mA.mim/sem* ya que el *kVp* es de 125, mientras que en las instalaciones 2, 3 y 5 la carga de trabajo es de 160 *mA.mim/sem* por tener un *kVp* de 100.

2.2.7.4. *Parámetros utilizados por el NCRP 147*

- Factor de ocupación (T)

Para las 5 instalaciones se selecciona los valores correspondientes de acuerdo al tiempo de exposición de los individuos en cada instalación y los lugares adyacentes, se ocupa el valor de 1 para consultorios, oficinas, salas de comandos, instalaciones radiográficas adyacentes, para exámenes y tratamiento de pacientes se utiliza el valor 1/2, para pasillo habitaciones de pacientes y baños personales se utiliza el valor de 1/5 ,para puertas de pasillos se utiliza el valor de 1/8, para baños públicos, cuartos de almacenamiento, área de espera para pacientes se utiliza el valor de 1/20 y para área de peatones o tráfico vehicular, escaleras, áticos el valor de 1/40.

- Factor de uso (U)

Para las 5 instalaciones el valor de acuerdo a la carga de trabajo donde se realiza la medida es una barrera primaria, si es un bucky de pared es igual a 1, si es piso es 0.89, y si es la pared de la mesa transversal es igual a 0.09, mientras que si es una barrera secundaria en pared es 0.02.

- Carga de trabajo (W)

En las 5 instalaciones se considera una carga de trabajo de $320 \text{ mSv/}mA * \text{min}$, ya que la dirección del tubo es hacia el piso por lo que utiliza bucky de mesa.

2.2.7.5. Límite de dosis establecidas por el ARCAL XLIX y NCRP 147

- ARCAL XLIX

Tabla 3-2: Límite de dosis establecido por el ARCAL XLIX

Tipo de Área	Límite de dosis en una semana	Límite de dosis en un año
Área Controlada	0.10	5
Área Libre	0.01	0.5

Fuente: IAEA/ARCAL XLIX, 2001

- NCRP 147

Tabla 4-2: Límite de dosis establecidos por el NCRP 147

Tipo de Área	Límite de dosis en una semana	Límite de dosis en un año
Área Controlada	0.10	5
Área Libre	0.02	1

Fuente: NCRP 147, 2005

2.2.7.6. *Parámetros de operación de los equipos de RX y TC.*

Tabla 5-2: Parámetros técnicos para instalación de RX

Instalación	Distancia foco-película cm	Kv	mA	mAs	Tiempo (s)
1	100	120	200	400	2
2	100	90	160	368	2.3
3	100	90	160	320	2
4	100	102	300	480	1.6
5	100	90	160	200	1.25

Realizado por: Ureña C, 2020

Tabla 6-2: Parámetros técnicos para instalación de TC

Instalación	Distancia cm	kV	mA	mAs	Tiempo (s)
1	Isocentro	130	120	400	10
2	Isocentro	120	130	368	11
3	Isocentro	120	140	320	20
4	Isocentro	130	120	480	10
5	Isocentro	130	130	340	8

Realizado por: Ureña C, 2020

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los datos obtenidos en las instalaciones de RX y TC de las instalaciones hospitalarias de la ciudad de Riobamba, además se realizará una comparación con la normativa NCRP 147, el protocolo XLXI del ARCAL para saber si los datos en cada punto se encuentran dentro de los límites establecidos por cada una de las normativa antes mencionada.

3.1. Análisis de la tasa de dosis ambiental en las instalaciones de RX

- Instalación 1

Tabla 1-3: Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 1 de RX

Punto	D̄ medida $\frac{\mu Sv}{h}$	D̄ Media $\frac{\mu Sv}{h}$	Desviación Estándar
A	135.26	181.34	26.70
	193.70		
	200.10		
	196.30		
B	240.20	250.25	6.21
	254.31		
	256.3		
	250.2		
C	10.45	10.70	1.02
	9.214		
	12.00		
	11.12		

D	4.824	5.10	0.31
	5.041		
	5.620		
	4.921		
E	48.91	45.46	2.50
	46.45		
	44.34		
	42.17		

Realizado por: Ureña C, 2020

Tabla 2-3: Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 1 de RX

Organismo Internacional	Punto	Tipo de Área	$\frac{D}{T} * 60$ mSv/mA $* min$	U	T	W $mA \cdot \frac{min}{sem}$	H $\frac{mSv}{sem}$	H $\frac{mSv}{año}$	Dentro del límite
ARCAL XLXI	A	L	1.67E-5	1	1/4	80	3.34E-04	1.67E-02	SI
	B	C	2.12E-5	1	1	80	1.70E-03	8.48E-02	SI
	C	C	8.71E-7	1	1	80	6.97E-05	3.48E-03	SI
	D	L	9.27E-7	1	1/16	80	4.63E-06	2.32E-04	SI
	E	L	4.02E-7	1	1	80	3.22E-05	1.61E-03	SI
NCRP-147	A	L	1.67E-5	0.02	1/5	320	2.13E-05	1.07E-03	SI
	B	C	2.12E-5	0.02	1	320	1.36E-04	6.78E-03	SI
	C	C	8.71E-7	0.02	1	320	5.57E-06	2.79E-04	SI
	D	L	9.27E-7	0.02	1/40	320	1.48E-07	7.41E-06	SI
	E	L	4.02E-7	0.02	1	320	2.57E-06	1.29E-04	SI

Realizado por: Ureña C, 2020

En la tabla 2-3 se puede visualizar que los valores de la tasa de dosis ambiental están dentro del límite permisible tanto del protocolo del ARCAL XLXI como la normativa de NCRP 147. Utilizando el protocolo del ARCAL XLXI, el punto crítico con mayor tasa de dosis ambiental es el punto A con un valor de $3.34E - 04 mSv/sem$ que pertenecen a un tipo de área libre, mientras que utilizando para el tratamiento de datos con la normativa del NCRP 147 se obtiene que el punto crítico con mayor tasa de dosis ambiental es el punto B el cual pertenece a un área controlada. A pesar de esto, los dos puntos antes mencionados se encuentran dentro del límite de dosis.

- Instalación 2

Tabla 3-3: Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 2 de RX

Punto	Đ medida $\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$	Đ Media $\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$	Desviación Estándar
A	204.2	199.15	3.45
	197.4		
	200.1		
	194.9		
B	101.6	103.25	1.30
	105.2		
	102.8		
	103.4		
C	63.04	63.34	0.74
	64.56		
	63.23		
	62.56		
D	36.81	35.57	2.24
	37.23		
	31.72		
	36.52		
E	0.197	0.199	0.003
	0.204		
	0.199		
	0.197		
F	0.457	0.416	0.03
	0.431		
	0.411		
	0.365		
G	0.566	0.952	0.30
	0.867		
	1.409		
	0.969		

Realizado por: Ureña C, 2020

Tabla 4-3: Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 2 de RX

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ <i>mSv/MA</i> <i>* min</i>	U	T	W <i>MA. $\frac{min}{sem}$</i>	\dot{H} <i>$\frac{mSv}{sem}$</i>	\dot{H} <i>$\frac{mSv}{año}$</i>	Dentro del límite
ARCAL XLXI	A	L	2.13E-5	1	1/4	160	8,51E-04	4,25E-02	SI
	B	C	1.10E-5	1	1	160	1,75E-03	8,77E-02	SI
	C	C	6.73E-6	1	1	160	1,08E-03	5,38E-02	SI
	D	C	2.03E-5	1	1	160	3,25E-03	1,62E-01	SI
	E	L	2.13E-8	1	1/40	160	1,06E-07	5,31E-06	SI
	F	L	4.76E-8	1	1/40	160	2,38E-07	1,19E-05	SI
	G	C	1.47E-7	0.3	1	160	7,05E-06	3,52E-04	SI
NCRP-147	A	L	2.13E-5	0.02	1/5	320	2.72E-05	1.36E-03	SI
	B	C	1.10E-5	0.02	1	320	7.01E-05	3.51E-03	SI
	C	C	6.73E-6	0.02	1	320	4.30E-05	2.15E-03	SI
	D	C	2.03E-5	0.02	1	320	1.30E-04	6.50E-03	SI
	E	L	2.13E-8	0.02	1/2	320	6.80E-09	3.40E-07	SI
	F	L	4.76E-8	0.02	1/2	320	1.52E-08	7.62E-07	SI
	G	C	1.47E-7	1	1	320	4.70E-05	2.35E-03	SI

Realizado por: Ureña C, 2020

Se evidencia en la tabla 4-3 usando los lineamientos del protocolo del ARCAL el punto B registra un valor de $1.75E - 03 \text{ mSv/sem}$, que pertenece a una área controlada, el valor antes mencionado es el mayor valor de tasa de dosis ambiental a diferencia del resto de los puntos, mientras que el punto con mayor valor de tasa de dosis ambiental utilizando los lineamientos del NCRP 147 es el punto D con un valor de $1.30E - 04 \text{ mSv/sem}$ el cual pertenece a una área libre. Ambos puntos con mayor valor se encuentran dentro del límite de dosis.

- Instalación 3

Tabla 5-3: Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 3 de RX

Punto	\dot{D} Medida $\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$	\dot{D} Media $\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$	Desviación Estándar
A	1.029	0.58	0.26
	0.378		
	0.404		
	0.506		

B	0.147	0.14	0.01
	0.153		
	0.122		
	0.132		
C	0.160	0.15	0.007
	0.141		
	0.153		
	0.147		
D	7.078	6.47	0.54
	6.016		
	5.869		
	6.932		
E	0.166	0.16	0.008
	0.153		
	0.169		
	0.150		
F	0.150	0.15	0.004
	0.145		
	0.150		
	0.141		
G	3.436	3.19	0.28
	3.504		
	2.932		
	2.896		
H	2.118	2.49	0.31
	2.963		
	2.385		
	2.499		

Realizado por: Ureña C, 2020

Tabla 6-3: Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 3 de RX

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ <i>mSv/mA</i> <i>* min</i>	U	T	W <i>mA.</i> <i>min</i> <i>sem</i>	\dot{H} <i>mSv</i> <i>sem</i>	\dot{H} <i>mSv</i> <i>año</i>	Dentro del límite
ARCAL XLXI	A	L	1.07E-7	1	1/4	160	4.29E-06	2.14E-04	SI
	B	L	1.59E-8	1	1/4	160	6.38E-07	3.19E-05	SI
	C	L	1.67E-8	1	1	160	2.67E-06	1.33E-04	SI
	D	L	7.37E-7	1	1	160	118E-04	5.90E-03	SI
	E	L	1.76E-8	1	1	160	2.82E-06	1.41E-04	SI
	F	L	1.56E-8	1	1	160	2.50E-06	1.25E-04	SI
	G	C	3.65E-7	1	1	160	5.84E-05	2.92E-03	SI
	H	C	3.09E-7	0.3	1	160	1.48E-05	7.41E-04	SI
NCRP-147	A	L	1.07E-7	0.02	1/5	320	1.37E-07	6.86E-06	SI
	B	L	1.59E-8	0.02	1/5	320	2.04E-08	1.02E-06	SI
	C	L	1.67E-8	0.02	1	320	1.07E-07	5.33E-06	SI
	D	L	7.37E-7	0.02	1	320	4.72E-06	2.36E-04	SI
	E	L	1.76E-8	0.02	1	320	1.13E-07	5.63E-06	SI
	F	L	1.56E-8	0.02	1	320	1.00E-07	5.00E-06	SI
	G	C	3.65E-7	0.02	1	320	2.34E-06	1.17E-04	SI
	H	C	3.09E-7	1.00	1	320	9.88E-05	4.94E-03	SI

Realizado por: Ureña C, 2020

En la tabla 6-3 se visualiza que el punto D perteneciente a una área libre tiene el mayor valor de tasa de dosis ambiental que es de $118E - 04 \text{ mSv/sem}$ utilizando el ARCAL, mientras que utilizando el NCRP el mayor valor de tasa de dosis ambiental es del punto H que es de $9.88E - 05 \text{ mSv/sem}$ el cual pertenece a una área controlada, se evidencia que los dos mayores valores registrados se encuentra dentro del límite de dosis.

- Instalación 4

Tabla 7-3: Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 4 de RX

Punto	\dot{D} medida $\frac{\mu Sv}{h}$	\dot{D} Media $\frac{\mu Sv}{h}$	Desviación Estándar
A	14.12	13.13	0.67
	12.85		
	12.28		
	13.28		
B	3.989	3.89	0.51
	3.446		
	4.686		
	3.451		
C	10.38	9.23	2.41
	12.35		
	8.341		
	5.845		
D	5.254	5.55	0.34
	5.184		
	5.863		
	5.914		
E	16.25	13.31	1.89
	11.22		
	12.21		
	13.56		
F	3.378	3.07	0.24
	3.045		
	3.145		
	2.717		
G	2.311	2.61	0.35
	3.045		
	2.234		
	2.867		

I	3.921	3.64	0.91
	4.756		
	3.648		
	2.234		
J	2.789	2.91	0.15
	2.745		
	3.112		
	2.979		

Realizado por: Ureña C, 2020

Tabla 8-3: Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 4 de RX

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ mSv/mA $* min$	U	T	W $mA. \frac{min}{sem}$	\dot{H} $\frac{mSv}{sem}$	\dot{H} $\frac{mSv}{año}$	Dentro del límite
ARCAL XLXI	A	L	7.84E-07	1	1/4	80	1.57E-05	7.84E-04	SI
	B	L	2.60E-07	1	1/4	80	5.21E-06	2.60E-04	SI
	C	L	6.86E-07	1	1/4	80	1.37E-05	6.86E-04	SI
	D	L	3.29E-07	1	1/4	80	6.57E-06	3.29E-04	SI
	E	L	9.03E-07	1	1/4	80	1.81E-05	9.03E-04	SI
	F	C	1.88E-07	0.3	1/4	80	1.13E-06	5.63E-05	SI
	G	L	1.69E-07	1	1/4	80	3.38E-06	1.69E-04	SI
	I	C	2.64E-07	1	1	80	2.11E-05	1.06E-03	SI
NCRP-147	J	C	1.73E-07	1	1	80	1.38E-05	6.92E-04	SI
	A	L	7.84E-07	0.02	1/5	320	1.00E-06	5.02E-05	SI
	B	L	2.60E-07	0.02	1/5	320	3.33E-07	1.67E-05	SI
	C	L	6.86E-07	0.02	1/5	320	8.78E-07	4.39E-05	SI
	D	L	3.29E-07	0.02	1/5	320	4.21E-07	2.10E-05	SI
	E	L	9.03E-07	0.02	1/5	320	1.16E-06	5.78E-05	SI
	F	C	1.88E-07	1	1/5	320	1.20E-05	6.01E-04	SI
	G	L	1.69E-07	0.02	1/5	320	4.21E-07	2.10E-05	SI
	I	C	2.64E-07	0.02	1	320	1.69E-06	8.46E-05	SI
J	C	1.73E-07	0.02	1	320	1.11E-06	5.53E-05	SI	

Realizado por: Ureña C, 2020

Se observa en la tabla 8-3 que el valor de la tasa de dosis ambiental en el punto I es de $2.11E - 05 mSv/sem$ y el cual pertenece a una zona controlada, representa el mayor valor de tasa de dosis ambiental, pero se evidencia que no supera el límite de dosis permisible por el protocolo del ARCAL. Mientras que en el punto F utilizando el NRCP se puede observar que es el punto F con mayor valor de tasa de dosis ambiental, se encuentra dentro del límite de dosis.

- Instalación 5

Tabla 9-3: Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 5 de RX

Punto	\dot{D} medida $\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$	\dot{D} Media $\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$	Desviación Estándar
A	0.129	0.130	0.003
	0.126		
	0.135		
	0.129		
B	0.134	0.128	0.004
	0.126		
	0.122		
	0.130		
C	0.131	0.123	0.006
	0.125		
	0.118		
	0.117		
D	0.294	0.269	0.024
	0.282		
	0.269		
	0.231		
E	0.450	0.411	0.043
	0.346		
	0.397		
	0.450		
F	0.132	0.122	0.006
	0.123		
	0.116		
	0.118		
G	0.134	0.126	0.006
	0.129		
	0.121		
	0.119		

H	0.131	0.124	0.006
	0.126		
	0.114		
	0.123		

Realizado por: Ureña C, 2020

Tabla 10-3: Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 5 de RX

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{D}{I} * 60$ mSv/mA $* min$	U	T	W $mA \cdot \frac{min}{sem}$	\dot{H} $\frac{mSv}{sem}$	\dot{H} $\frac{mSv}{año}$	Dentro del límite
ARCAL XLXI	A	L	1.41E-08	1	1/4	160	5.63E-07	2.81E-05	SI
	B	L	1.40E-08	1	1/5	160	5.58E-07	2.79E-05	SI
	C	C	1.136E-08	1	1	160	2.18E-06	1.09E-04	SI
	D	C	3.06E-08	1	1	160	4.90E-06	2.45E-04	SI
	E	C	4.69E-08	1	1	160	7.50E-06	3.75E-04	SI
	F	L	1.38E-08	1	1/16	160	1.38E-07	6.88E-06	SI
	G	L	1.40E-08	1	1/16	160	1.40E-07	6.98E-06	SI
	H	C	1.36E-08	1	1	160	2.18E-06	1.09E-04	SI
NCRP-147	A	L	4.30E-06	0.02	1/5	320	1.80E-08	9.00E-07	SI
	B	L	1.19E-06	0.02	1/5	320	1.79E-08	8.93E-07	SI
	C	C	2.00E-08	0.02	1	320	8.73E-08	4.37E-06	SI
	D	C	8.63E-08	0.02	1	320	1.96E-08	9.80E-06	SI
	E	C	1.00E-05	0.02	1	320	3.00E-07	1.50E-05	SI
	F	L	2.21E-06	0.02	1	320	1.76E-08	8.80E-07	SI
	G	L	1.40E-08	0.02	1/5	320	1.79E-08	8.93E-07	SI
	H	C	1.36E-08	0.02	1	320	8.73E-08	4.37E-06	SI

Realizado por: Ureña C, 2020

Se puede visualizar en la Tabla 10-3 que en el punto E se tiene una tasa de dosis de $7.50E - 06 mSv/sem$ correspondiente a la puerta de ingreso de la sala de control, representando el mayor valor, pero se encuentra dentro el límite de dosis según el protocolo del ARCAL XLIX. De igual forma utilizando los requerimientos del NCRP 147 se evidencia que el punto con mayor valor de tasa de dosis ambiental es el punto E con un valor de $3.00E - 07 mSv/sem$, valores que se encuentran dentro de los límites establecidos.

3.2. Análisis de la tasa de dosis ambiental en las instalaciones de TC

- Instalación 1

Tabla 11-3: Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 1 de TC

Punto	\dot{D} medida $\frac{\mu Sv}{h}$	\dot{D} Media $\frac{\mu Sv}{h}$	Desviación Estándar
A	19.28	21.30	6.02
	14.47		
	30.98		
	20.45		
B	8.554	7.36	0.82
	7.047		
	6.286		
	7.563		
C	0.144	0.14	0.004
	0.135		
	0.135		
	0.138		
D	0.621	0.38	0.15
	0.210		
	0.351		
	0.346		
E	40.62	45.00	16.23
	29.38		
	37.83		
	72.18		
F	7.672	7.20	4.08
	1.592		
	13.06		
	6.467		

Realizado por: Ureña C, 2020

Tabla 12-3: Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 1 de TC

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ <i>mSv/MA</i> <i>* min</i>	U	T	W <i>mA.</i> <i>min</i> <i>sem</i>	\dot{H} <i>mSv</i> <i>sem</i>	\dot{H} <i>mSv</i> <i>año</i>	Dentro del límite
ARCAL XLXI	A	L	4.30E-06	1	1/4	5000	5.38E-03	2.69E-01	SI
	B	L	1.19E-06	1	1	5000	5.94E-03	2.97E-01	SI
	C	L	2.00E-08	1	1/16	5000	6.25E-06	3.13E-04	SI
	D	L	9.79E-07	1	1/16	5000	3.06E-04	1.53E-02	SI
	E	C	1.00E-05	1	1	5000	5.01E-02	2.51	SI
	F	C	2.21E-06	1	1	5000	1.11E-02	5.53E-01	SI
NCRP-147	A	L	4.30E-06	0.02	1/5	1200	2.07E-05	1.03E-03	SI
	B	L	1.19E-06	0.02	1	1200	2.85E-05	1.43E-03	SI
	C	L	2.00E-08	0.02	1/40	1200	1.20E-08	6.00E-07	SI
	D	L	8.63E-08	0.02	1/40	1200	5.18E-08	2.59E-06	SI
	E	C	1.00E-05	0.02	1	1200	2.41E-04	1.20E-02	SI
	F	C	2.21E-06	0.02	1	1200	5.31E-05	2.65E-03	SI

Realizado por: Ureña C, 2020

Al realizar los cálculos respectivos para las instalaciones de TC, se observa en la tabla 12-3, que el valor del punto E que pertenece a una zona controlada, es el mayor valor obtenido utilizando el ARCAL, este valor es de $5.01E - 02 mSv/sem$ y evidencia que se encuentra dentro del límite de dosis. Utilizando el NCRP que puede observar que punto C de valor $2.41E - 04 mSv/sem$ se encuentra dentro de los rangos permitidos para un área controlada.

- Instalación 2

Tabla 13-3: Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 2 de TC

Punto	\dot{D} Medida $\frac{\mu Sv}{h}$	\dot{D} Media $\frac{\mu Sv}{h}$	Desviación Estándar
A	0.450	0.548	0.112
	0.722		
	0.569		
	0.450		
B	0.294	0.249	0.033
	0.263		
	0.206		
	0.231		

C	0.165	0.194	0.017
	0.205		
	0.203		
	0.201		
D	0.190	0.176	0.025
	0.210		
	0.145		
	0.160		
E	1.160	1.152	0.013
	1.159		
	1.159		
	1.130		
F	1.154	1.151	0.002
	1.150		
	1.152		
	1.149		
G	1.294	1.246	0.032
	1.206		
	1.231		
	1.254		

Realizado por: Ureña C, 2020

Tabla 14-3: Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 2 de TC

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ $\frac{mSv}{mA} * min$	U	T	W $\frac{mA \cdot min}{sem}$	\dot{H} $\frac{mSv}{sem}$	\dot{H} $\frac{mSv}{año}$	Dentro del límite
ARCAL XLXI	A	L	9.26E-08	1	1/4	5000	1.16E-04	5.79E-03	SI
	B	L	3.77E-08	1	1/4	5000	4.71E-05	2.36E-03	SI
	C	C	2.85E-08	1	1	5000	1.42E-04	7.12E-03	SI
	D	C	2.69E-08	1	1	5000	1.35E-04	6.73E-03	SI
	E	L	1.49E-07	1	1/32	5000	2.32E-05	1.16E-03	SI
	F	L	1.48E-07	1	1/32	5000	2.31E-05	1.16E-03	SI
	G	C	1.66E-07	1	1	5000	8.29E-04	4.15E-02	SI
NCRP-147	A	L	9.26E-08	0.02	1/5	953.33	3.53E-07	1.76E-05	SI
	B	L	4.08E-08	0.02	1/5	953.33	1.56E-07	7.79E-06	SI
	C	C	2.63E-08	0.02	1	953.33	5.01E-07	2.51E-05	SI

	D	C	2.69E-08	0.02	1	953.33	5.13E-07	2.57E-05	SI
	E	L	1.49E-07	0.02	1/20	953.33	1.42E-07	7.09E-06	SI
	F	L	1.48E-07	0.02	0.5	953.33	1.41E-07	7.05E-06	SI
	G	C	1.66E-07	0.02	1.00	953.33	3.16E-06	1.58E-04	SI

Realizado por: Ureña C, 2020

Con el cálculo de la tasa de dosis ambiental utilizando el ARCAL XLXI y el NCRP 147, se observa en la tabla 14-3 que el punto con mayor valor es el punto G con $1.17E - 02mSv/sem$ de tasa de dosis ambiental en un área libre, encontrándose dentro del límite de dosis según el ARCAL, mientras que el punto G con un valor de $4.45E - 05mSv/sem$ de tasa de dosis ambiental según el NCRP se encuentra dentro del límite de dosis para una área libre.

- Instalación 3

Tabla 15-3: Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 3 de TC

Punto	Ḑ Medida $\frac{\mu Sv}{h}$	Ḑ Media $\frac{\mu Sv}{h}$	Desviación Estándar
A	10.59	0.548	0.129
	10.55		
	10.26		
	10.52		
B	2.743	0.249	0.459
	3.368		
	2.118		
	2.458		
C	23.65	0.194	2.860
	22.12		
	27.53		
	19.65		
D	0.566	0.177	0.015
	0.529		
	0.560		
	0.562		
E	1.160	1.152	0.013
	1.159		
	1.159		
	1.130		

F	0.146	1.151	0.048
	0.248		
	0.147		
	0.236		
G	1.895	1.246	0.211
	1.850		
	2.351		
	1.850		

Realizado por: Ureña C, 2020

Tabla 16-3: Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 3 de TC

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{\dot{D}}{I} * 60$ mSv/MA $* min$	U	T	W $mA \cdot \frac{min}{sem}$	\dot{H} $\frac{mSv}{sem}$	\dot{H} $\frac{mSv}{año}$	Dentro del Límite
ARCAL XLXI	A	L	1.26E-06	1	1	5000	6.30E-03	3.15E-01	SI
	B	C	4.01E-07	1	1	5000	2.00E-03	1.00E-01	SI
	C	L	3.28E-06	1	1/32	5000	5.12E-04	2.56E-02	SI
	D	L	6.74E-08	1	1/16	5000	2.11E-05	1.05E-03	SI
	E	L	1.38E-07	1	1	5000	6.90E-04	3.45E-02	SI
	F	L	2.95E-08	1	1/4	5000	3.69E-05	1.85E-03	SI
	G	L	2.80E-07	1	1/16	5000	8.75E-05	4.37E-03	SI
NCRP-147	A	L	1.26E-06	0.02	1	2800	7.06E-05	3.53E-03	SI
	B	C	4.01E-07	0.02	1	2800	2.25E-05	1.12E-03	SI
	C	L	3.28E-06	0.02	1/20	2800	9.18E-06	4.59E-04	SI
	D	L	6.74E-08	0.02	1/40	2800	9.43E-08	4.72E-06	SI
	E	L	1.38E-07	0.02	1	2800	7.73E-06	3.87E-04	SI
	F	L	2.95E-08	0.02	1/5	2800	3.31E-07	1.65E-05	SI
	G	L	2.80E-07	0.02	1/20	2800	7.84E-07	3.92E-05	SI

Realizado por: Ureña C, 2020

En la tabla 16-3 se evidencia que la tasa de dosis ambiental más alta se encuentra en el punto B con valor de $2.01E - 02 mSv/sem$ que pertenece a un área controlada y puede evidencia que se encuentra dentro del límite de dosis permisible según el protocolo del ARCAL. De igual forma el mismo punto utilizando los parámetros del NCRP se puede observar que se encuentra dentro del límite de dosis ya que el valor calculado de la tasa de dosis ambiental es de $2.25E - 04 mSv/sem$. (UNAM, 2015)

- **Instalación 4**

Tabla 17-3: Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 4 de TC

Punto	\dot{D} Medida $\frac{\mu Sv}{h}$	\dot{D} Media $\frac{\mu Sv}{h}$	Desviación Estándar
A	9.541	9.254	0.187
	9.233		
	9.016		
	9.224		
B	2.452	2.430	0.176
	2.641		
	2.153		
	2.474		
C	2.631	2.367	0.196
	2.482		
	2.183		
	2.173		
E	3.183	3.329	0.245
	3.163		
	3.216		
	3.752		

Realizado por: Ureña C, 2020

Tabla 18-3: Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 4 de TC

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{D}{I} * 60$ mSv/mA $* min$	U	T	W $mA \cdot \frac{min}{sem}$	\dot{H} $\frac{mSv}{sem}$	\dot{H} $\frac{mSv}{año}$	Dentro de límite
ARCAL XLXI	A	L	1.33E-06	1	1/4	5000	1.66E-02	8.28E-01	SI
	B	L	3.67E-07	1	1/4	5000	4.59E-03	2.29E-01	SI
	C	L	3.65E-07	1	1/4	5000	4.57E-03	2.28E-01	SI
	E	L	5.21E-07	1	1/4	5000	6.51E-03	3.26E-01	SI
NCRP-147	A	L	1.33E-06	0.02	1/5	1200	6.36E-05	3.18E-03	SI
	B	L	3.67E-07	0.02	1/5	1200	1.76E-05	8.80E-04	SI
	C	L	3.65E-07	0.02	1/5	1200	1.75E-05	8.77E-04	SI
	E	L	5.21E-07	0.02	1/5	1200	2.50E-05	1.25E-03	SI

Realizado por: Ureña C, 2020

En la tabla 18-3 se puede evidenciar que los puntos medidos son de áreas libres y el mayor valor de tasa de dosis ambiental utilizando el ARCAL es de $1.66E - 02mSv/sem$ perteneciente al punto A el mismo que encuentra dentro del límite de dosis, mientras que utilizando el NCRP el mayor valor de tasa de dosis ambiental es de $6.36E - 05mSv/sem$ que de igual forma pertenece al punto A y se encuentra dentro del límite de dosis.

- Instalación 5

Tabla 19-3: Tasa de dosis en los puntos críticos de la instalación 5 de TC

Punto	\dot{D} medida $\frac{\mu Sv}{h}$	\dot{D} Media $\frac{\mu Sv}{h}$	Desviación Estándar
A	0.138	0.131	0.007
	0.120		
	0.135		
	0.132		
B	0.189	0.203	0.017
	0.231		
	0.201		
	0.190		
C	2.848	4.128	0.904
	3.756		
	5.329		
	3.580		
D	0.923	0.741	0.370
	0.384		
	1.258		
	0.397		
E	0.172	0.161	0.013
	0.175		
	0.151		
	0.146		
F	0.164	0.166	0.007
	0.178		
	0.159		
	0.161		

G	0.166	0.208	0.056
	0.145		
	0.235		
	0.285		
H	0.269	0.247	0.030
	0.269		
	0.254		
	0.195		

Realizado: Ureña C, 2020

Tabla 20-3: Tasa de dosis ambiental en los puntos críticos de la instalación 5 de TC

Organismo Internacional	Punto	Tipo de área	$\frac{D}{T} * 60$ mSv/mA $* min$	U	T	W $mA \cdot \frac{min}{sem}$	H $\frac{mSv}{sem}$	H $\frac{mSv}{año}$	Dentro de límite
ARCAL XLXI	A	L	1.77E-08	1	1/4	5000	2.21E-05	1.11E-03	SI
	B	C	2.96E-08	1	1	5000	1.48E-04	7.40E-03	SI
	C	C	6.83E-07	1	1	5000	3.42E-03	1.71E-01	SI
	D	C	1.61E-07	1	1	5000	8.06E-04	4.03E-02	SI
	E	L	2.42E-08	1	1/4	5000	3.03E-05	1.51E-03	SI
	F	L	2.28E-08	1	1/16	5000	7.13E-06	3.57E-04	SI
	G	L	3.65E-08	1	1/16	5000	1.14E-05	5.71E-04	SI
	H	L	3.45E-08	1	1/4	5000	4.31E-05	2.16E-03	SI
NCRP-147	A	L	1.77E-08	0.02	1/5	1040	7.36E-08	3.68E-06	SI
	B	C	2.96E-08	0.02	1	1040	6.16E-07	3.08E-05	SI
	C	C	6.83E-07	0.02	1	1040	1.42E-05	7.11E-04	SI
	D	C	1.61E-07	0.02	1	1040	3.35E-06	1.68E-04	SI
	E	L	2.24E-08	0.02	1/5	1040	9.33E-08	4.67E-06	SI
	F	L	2.28E-08	0.02	1/20	1040	2.37E-08	1.19E-06	SI
	G	L	3.65E-08	0.02	1/20	1040	3.80E-08	1.90E-06	SI
	H	L	3.45E-08	0.02	1/5	1040	1.43E-07	7.17E-06	SI

Realizado por: Ureña C, 2020

Al realizar los cálculos respectivos en la tabla 20-3, la tasa de dosis ambiental en el punto C que pertenece a un área controlada, tiene el mayor valor de tasa de dosis ambiental de $4.42E - 03 mSv/sem$ y se encuentra dentro del límite de dosis según el ARCAL. De igual forma según lo establecido por el NCRP el punto C tiene mayor valor de tasa de dosis ambiental de $1.42E - 05 mSv/sem$.

CONCLUSIONES

- Con la ayuda de los planos de las instituciones hospitalarias de la ciudad de Riobamba, se identificaron los puntos críticos y las zonas controladas o de libre acceso, de las áreas de RX y TC. Es importante mencionar que, en algunos puntos críticos de ciertas instalaciones no fue posible realizar la medición de la tasa de dosis ya que se encontraba en áreas colindantes no accesibles para realizar el monitoreo radiológico.
- Considerando los diferentes puntos críticos de las distintas instalaciones hospitalarias, se pudo desarrollar el monitoreo radiológico con la ayuda de un detector Geiger Müller Gamma Scout Online, proceso relevante al momento de determinar la calidad del blindaje existente en cada una de las barreras.
- Con la obtención de los resultados en los puntos críticos establecidos, se pudo generar el cálculo de la tasa de dosis ambiental, misma que se comparó los límites de dosis de los protocolos establecidos por el ARCAL XLIX y el NCRP 147. Al comparar los resultados se obtuvieron que los datos se encuentran dentro del límite de dosis permisible.
- En la instalación 4 se recomienda que se contrate un oficial de protección radiológica ya que, es fundamental para que mantenga un monitoreo y control constante de la instalación.

RECOMENDACIONES

- Las diferentes instalaciones hospitalarias deben precautelar la seguridad de sus trabajadores, desarrollando procesos de diferente naturaleza, como en el caso de la instalación 1, la cual debe revisar el funcionamiento de la puerta de la sala de comandos de RX, pues no se cierra bien.
- Sugerir a los representantes de las instalaciones hospitalarias, para que coloquen la señalética adecuada acorde a cada tipo de zona de la instalación 4.

GLOSARIO

ARCAL	Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nuclear en América y el Caribe.
D	Dosis Absorbida
\dot{D}	Tasa de dosis absorbida
Gy	Gray
\dot{H}	Tasa de dosis ambiental
ICRP	Comisión Internacional de Protección Radiológica
kV	Kilovoltaje
kVp	Kilovoltaje pico
mA	Miliamperio
mAs	Miliamperio segundo
mSv	Milisievert
NCRP	Consejo Nacional de Protección Radiológica
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
POE	Personal Ocupacionalmente Expuesto
RI	Radiaciones Ionizantes
RX	Rayos X
SCAN	Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares
TC	Tomografía Computarizada
T	Factor de Ocupación
U	Factor de Uso
W	Carga de Trabajo

BIBLIOGRAFÍA

ALCARAZ , M. *Magnitudes y Unidades Radiológicas.* Universidad de Murcia. Murcia : s.n., 2008. pág. 11.

ALCARAZ, M. *Detección de Radiación Ionizante.* Universidad de Murcia. Murcia : s.n., 2008. págs. 4-5.

ALCARAZ, M. *El equipo de Rayos X.* Universidad de Murcia. Murcia : s.n., 2017. págs. 6-8.

ALCARAZ, M. *Interacción de la Radiación con la Materia.* Universidad de Murcia. Murcia : s.n., 2016. pág. 4.

BRAZZINI, A; ARIAS, M & MÉNIZ, V. *Boletín de la Sociedad Peruana de Medicina Interna.* [En línea] 1996. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/spmi/v09n1/des_radio.htm.

BROSED, A; CORNEJO, N & RUIZ, P. *Constantes de Tasa de Kerma en aires y Tasa Equivalente de Dosis Ambiental de algunos radionucleidos utilizadas en aplicaciones médicas.* 2015. pág. 39.

CHISGA, E. *Determinación de la tasa de dosis ambiental en instalaciones hospitalarias de la ciudad de Ambato que brindan servicio de Rayos X y Tomografía Computarizada.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba : s.n., 2019. págs. 109-110.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR. *Detección y Dosimetría de la Radiación.* 2009. pág. 7.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR. *Interacción de la Radiación con la Materia.* 04 de Agosto de 2009.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR. *Magnitudes y Unidades Radiológicas.* 2009. pág. 4.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR.. *Magnitudes y Unidades Radiológicas.* 2012. pág. 7.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR.. *Protección Radiológica.* Madrid : Consejo de Seguridad Nuclear, 2012. págs. 14-15.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR.. *Magnitudes y Unidades Radiológicas.* 2012. pág. 13.

ESTÉVEZ, R. *Dosimetría Radiológica.* Quito : Edifarm, 2018. pág. 59. 57.

FACULTAD DE INGENIERIA, UNER. Contador Geiger Müeller .Medicina Nuclear UNER. [En línea] 13 de Septiembre de 2010. [Citado el: 08 de Julio de 2019.] <http://mednuclear.wikidot.com/contador-geiger-mueller>.

FAGGIONI, L, & OTROS. *Conocimiento de la protección radiológica y los niveles de dosis de los procedimientos de imágenes entre estudiantes de medicina, estudiantes de radiografía y residentes de radiología en un hospital académico: Resultados de una encuesta exhaustiva.* 2017. pág. 138.

GARCIA, F. *Estudio de los Equipos de Rayos-X y Tomografía de uso médico y el uso de tecnología de inversores en la Generación de Rayos X.* Universidad Nacional de Ingeniería. Lima : s.n., 2009.

GASTELO, E. *Evaluación Experimental de la Tasa de Dosis en una instalación de Medicina Nuclear durante procedimientos de Diagnóstico.* Lima : s.n., 2015. pág. 1.

GOBIERNO DE ARAGON. *Protección Radiológica para trabajadores de Hospital .* Aragón : s.n., 2001.

GUERRERO, M. Aspectos generales de protección radiológica. Alasbimn Journal. [En línea] 01 de Marzo de 2012. [Citado el: 24 de agosto de 2019.]. Disponible en: <http://www.alasbimnjournal.net/contenidos/aspectos-generales-de-proteccion-radiologica-en-medicina-nuclear-55?cap=tipos-de-exposicion-a-las-radiaciones-ionizantes>.

IAEA/ARCAL XLIX. *Protocolos de Control de Calidad en Radiodiagnóstico.* 2001. págs. 9-10.

KESSLER, P, & OTROS. *Novel spectrometers for environmental dose rate monitoring.* 2018, Journal of Environmental Radioactivity, pág. 1.

LEYTON , F , & OTROS. *Aplicación de un protocolo de levantamiento radiométrico en instalaciones de radiodiagnóstico.* Chile : s.n., 2007. págs. 213-217.

LICENCIATURA EN FÍSICA. Dosimetría y Protección Radiológica. Granada : s.n., 2017.

LLANGARI, W. *Guía para la selección mantenimiento y control de calidad de un equipo de tomografía axial computarizada.* Escuela Politécnica Nacional. Quito : s.n., 2001. págs. 39-46.

MONTENEGRO, J. *Evaluación y Rediseño del blindaje de la cámara de irradiación de la fuente de cobalto-60 de la EPN.* Escuela Politécnica Nacional. Quito : s.n., 2014. pág. 135.

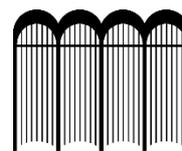
MORA, H. *Manual de Radioscopia.* s.l. : Club Universitario, 2008. págs. 17-21.

MORA, P & MORA, E. Ciencia y Tecnología, 2009. Vol. 24, pág. 22.

- MORA, H.** *Manual de Radioscopia*. s.l. : Club Universitario, 2008. págs. 19-22.
- NCRP 147.** *Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities*. 2005. págs. 31-39.
- NUÑEZ, M.** *Protección Radiológica en Medicina Nuclear*. Escuela Universitaria de Tecnología Médica. Montevideo : s.n., 2008.
- NUÑEZ, M.** *Efectos Biológicos de las Radiaciones*. Escuela Universitaria de Tecnología Médica. Montevideo : s.n., 2008. pág. 1.
- PASCUAL, A & GADEA, E.** *Radiaciones Ionizantes: Normas de Protección*. España : s.n., 2008.
- PCE IBÉRICA S.L.** *GAMMA SCOUT Medidor de Radioactividad*. Albacete : s.n., 2003. pág. 6.
- PÉREZ, M.** *Introducción a los Detectores*. 2013. pág. 13.
- RADUALES, I.** *Imágenes Diagnósticas: Conceptos y generalidades*. 2014. págs. 36-37.
- SACYL.** *Técnico Superior en Imagen para el Diagnóstico*. s.l. : Cep, 2016. pág. 192.
- SARAVIA, G.** *Anales de Radiología México*, Mexico : s.n., 2013, Vol. 2, pág. 105-110.
- SEPR; APCNEAN.** *Recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica*. España : Senda S.A., 2007. pág. 63.
- SEPR; APCNEAN.** *ICRP 103*. Madrid : Senda Editorial S.A., 2007. pág. 78.
- SOCIEDAD ARGENTINA DE RADIOPROTECCIÓN.** *Protección Radiológica en Medicina - ICRP 105*. Buenos Aires : VCR impresores SA, 2011. págs. 36-48.
- SOCIEDAD ARGENTINA DE RADIOPROTECCIÓN.** *Capacitación y entrenamiento en protección radiológica para procedimientos diagnóstico e intervencionismos-ICRP 113*. Buenos Aires : E-Book, 2015. pág. 11.
- VÁSQUEZ, S & VILLACIS, W.** *Implementación de un Programa de Protección Radiológica en laboratorios que utilizan equipos y fuentes emisoras de radiación ionizante y en el Servicio de Radiodiagnóstico Odontológico de la Escuela Politécnica Nacional*. Quito : s.n., 2019. págs. 1-2.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN

DBRAI

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 03/08/2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)	
Nombres – Apellidos: Carolina Estefania Ureña Bravo	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: Ciencias	
Carrera: Biofísica	
Título a optar: Biofísica	
f. Analista de Biblioteca responsable:	



0432-DBRAI-UPT-2020