



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE BIOFÍSICA**

**“VALIDACIÓN DEL BLINDAJE ESTRUCTURAL DE LAS SALAS  
DE RADIODIAGNÓSTICO E INTERVENCIONISMO DEL  
HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CARLOS ANDRADE MARÍN  
MEDIANTE LEVANTAMIENTO RADIOMÉTRICO BAJO EL  
PROTOCOLO IAEA/ARCAL XLIX”**

**Trabajo de Titulación**

**Tipo: Trabajo Experimental**

Presentado para optar el grado académico de:

**BIOFÍSICO**

**AUTOR: CRISTIAN ANÍBAL VÁSCONEZ ZABALA**

**DIRECTORA: Biof. VILMA NOHEMÍ YANCHAPANTA BASTIDAS,**  
Mgs

Riobamba- Ecuador

2019

**©2019, Cristian Aníbal Vásquez Zabala**

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, Cristian Aníbal Vásconez Zabala, 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 autor 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, 29 de noviembre del 2019

**Cristian Aníbal Vásconez Zabala**

**CI: 060490776-6**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE BIOFÍSICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo experimental: **“Validación del blindaje estructural de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín mediante levantamiento radiométrico bajo el protocolo IAEA/ARCAL XLIX”**, de responsabilidad del señor CRISTIAN ANÍBAL VÁSCONEZ ZABALA, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Biof. Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas, Mgs	_____	2019-11-29
<b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		
Biof. María Fernanda Heredia Moyano Ms. C.	_____	2019-11-29
<b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		

## **DEDICATORIA**

El presente Trabajo de Titulación se lo dedico a mis padres por ser siempre ese apoyo incondicional en mi vida, por darme una buena educación y valores que es lo más importante, a mi hermana que con su carisma y cariño siempre ha alegrado mi vida, a mi novia que me ha dado mucho amor y ha traído felicidad a mi vida y ser la persona que siempre me ha dado apoyo incondicional y ánimo para seguir adelante en los buenos y sobre todo malos momentos, a mis mascotas que alegran todos mis días con su carisma.

Cristian

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la vida y permitirme crecer y desarrollarme como un buen ser humano, a toda mi familia que desde pequeño me ha impulsado para seguir por un buen camino, a mis padres y hermana que son la razón de mi existir.

A la Biof. Vilmita Yanchapanta, directora de mi trabajo de titulación, por su ayuda, puesta de conocimientos y empeño en la culminación de esta investigación, gracias por sus recomendaciones y guías, a la Máster en Física Médica Yulmaris Zambrano, por su apoyo, enseñanza y asesorías de mi tema de investigación.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por ser la institución clave en el desarrollo de mi carrera, gracias a sus conocimientos y oportunidades que me ha brindado, a todos mis amigos y profesores de la carrera que han logrado que esta etapa de mi vida culmine de la mejor manera. De igual manera agradezco al Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín por haberme permitido realizar esta investigación.

Cristian

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvii
SUMMARY .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>3</b>
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Identificación del problema .....	4
1.3. Justificación.....	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	6
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	6
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1. Radiación Ionizante.....	7
2.2. Generación de rayos x.....	8
2.2.1. <i>Mecanismos de emisión energética:</i> .....	9
2.3. <i>Equipos usados en intervencionismo</i> .....	9
2.3.1. <i>Equipo de Rayos x en forma de arco en C</i> .....	9
2.4. Equipos usados en radiodiagnóstico .....	11
2.4.1. <i>Equipos de rayos x:</i> .....	11

2.4.2.	<i>Equipos de fluoroscopia:</i> .....	12
2.4.3.	<i>Tomografía computarizada</i> .....	12
2.5.	<b>Parámetros para la adquisición de imagen en equipos de grafía y escopía</b> .....	13
2.5.1.	<i>Interacción de la radiación con el tejido biológico</i> .....	14
2.6.	<b>Equipos usados en dosimetría de tasa de dosis</b> .....	16
2.6.1.	<i>Tipos de Detectores de Ionización Gaseosa</i> .....	17
2.6.2.	<i>Fantoma antropomórfico</i> .....	21
2.7.	<b>Magnitudes dosimétricas y unidades utilizadas en protección radiológica</b> .....	21
2.7.1.	<i>Exposición</i> .....	21
2.7.2.	<i>Kerma</i> .....	22
2.7.3.	<i>Dosis absorbida</i> .....	22
2.7.4.	<i>Dosis equivalente</i> .....	22
2.7.5.	<i>Dosis efectiva</i> .....	23
2.8.	<b>Magnitudes y unidades radiométricas utilizadas en protección radiológica</b> .....	23
2.8.1.	<i>Número de partículas</i> .....	23
2.8.2.	<i>Flujo de partículas</i> .....	24
2.8.3.	<i>Fluencia de partículas</i> .....	24
2.8.4.	<i>Tasa de fluencia de partículas</i> .....	24
2.9.	<b>Radiología intervencionista</b> .....	25
2.9.1.	<i>Protección Radiológica</i> .....	25
2.9.2.	<i>Principios de protección radiológica</i> .....	25
2.9.3.	<i>Límites de dosis nacionales e internacionales</i> .....	26

2.9.4.	<i>Medidas básicas de protección radiológica</i> .....	27
2.9.5.	<i>Protocolo IAEA/ARCAL XLIX</i> .....	28
2.9.6.	<i>Reglamento de Seguridad Radiológica del Ecuador</i> .....	29

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	30
3.1.	<b>Diseño de la investigación</b> .....	30
3.2.	<b>Población de estudio/muestra</b> .....	30
3.3.	<b>Equipos usados y montaje experimental</b> .....	31
3.4.	<b>Selección de procedimientos</b> .....	33
3.5.	<b>Instrumento de medición</b> .....	39
3.6.	<b>Identificación de los puntos de interés</b> .....	39
3.7.	<b>Parámetros y ecuaciones para el cálculo</b> .....	45
3.7.1.	<i>Dosis Semanal</i> .....	45
3.7.2.	<i>Carga de trabajo semanal</i> .....	46
3.7.3.	<i>Factor de uso</i> .....	46
3.7.4.	<i>Factor de ocupación</i> .....	46
3.7.5.	<i>Factor de calibración del detector</i> .....	47
3.8.	<b>Niveles de restricción de dosis</b> .....	47

### CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE RESULTADOS</b> .....	48
4.1.	<b>Análisis de la tasa de dosis de la sala 10 del área de imagenología</b> .....	48
4.2.	<b>Análisis de la tasa de dosis de la sala 11</b> .....	50

<b>4.3.</b>	<b>Análisis de la tasa de dosis de la sala de urgencias .....</b>	<b>53</b>
<b>4.4.</b>	<b>Análisis de las tasas de dosis de la sala 5 .....</b>	<b>57</b>
<b>4.5.</b>	<b>Análisis de las tasas de dosis de la sala 3 .....</b>	<b>60</b>
<b>4.6.</b>	<b>Análisis de las tasas de dosis de la sala 1 de Angiografía .....</b>	<b>63</b>
<b>4.7.</b>	<b>Análisis de las tasas de dosis de la sala del centro gástrico de fluoroscopia .....</b>	<b>66</b>
<b>4.8.</b>	<b>Análisis de la tasa de dosis de todas las salas de rayos x convencional, en los puntos de interés perteneciente al POE.....</b>	<b>69</b>
<b>4.9.</b>	<b>Análisis de la tasa de dosis de las salas de fluoroscopia, angiografía y tomografía, en los puntos de interés perteneciente al POE .....</b>	<b>72</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>76</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>77</b>
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Factores de ponderación de los tejidos .....	15
<b>Tabla 2-2:</b> Límites de dosis recomendados en situaciones de exposición planificada.....	26
<b>Tabla 3-2:</b> Límites de dosis nacionales .....	27
<b>Tabla 4-3:</b> Equipos usados en el área de radiodiagnóstico e intervencionismo .....	31
<b>Tabla 5-3:</b> Procedimiento y técnicas usadas en cada sala. ....	38
<b>Tabla 6-3:</b> Especificaciones técnicas de la cámara de ionización.....	39
<b>Tabla 7-3:</b> Factores de ocupación .....	47
<b>Tabla 8-3:</b> Niveles de Restricción de Dosis (ARCAL XX). ....	47
<b>Tabla 9-4:</b> Dosis semanales y anuales calculadas para la sala 10, exámen de tórax de pie y acostado.....	49
<b>Tabla 10-4:</b> Dosis semanales y anuales calculadas para la sala 11, examen de tórax de pie y acostado.....	51
<b>Tabla 11-4:</b> Dosis semanales y anuales calculadas de la sala de urgencias en procedimiento de tórax AP acostado y de pie.....	54
<b>Tabla 12-4:</b> Dosis semanales y anuales calculadas de la sala 1 en tomografía de tórax. ....	58
<b>Tabla 13-4:</b> Dosis semanales y anuales calculadas de la sala 3 en examen de serie esofagogastroduodenal.....	61
<b>Tabla 14-4:</b> Dosis semanales y anuales calculadas de la sala 1 de angiografía en examen de angioembolización. ....	64
<b>Tabla 15-4:</b> Dosis semanales y anuales calculadas del centro gástrico en fluoroscopia en examen CPRE.....	67

**Tabla 16-4:** Dosis anual y semanal de las salas de rayos x, de los puntos de interés perteneciente al POE. .... 70

**Tabla 17-4:** Dosis anual y semanal de las salas de fluoroscopia, angiografía y tomografía, de los puntos de interés perteneciente al POE. .... 73

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Esquema del interior de una ampolla de rayos x .....	8
<b>Figura 2-2:</b> Equipo Arco en C Philips .....	10
<b>Figura 3-2:</b> Equipo de Rayos x convencional .....	11
<b>Figura 4-2:</b> Equipo de Tomografía Computarizada .....	13
<b>Figura 5-2:</b> Secuencia característica de acontecimientos en la patogenia de efectos no estocásticos de la radiación ionizante. ....	16
<b>Figura 6-2:</b> Esquema de un detector de ionización gaseosa.....	17
<b>Figura 7-2:</b> Cámara de Ionización Ludlum.....	18
<b>Figura 8-2:</b> Contador Proporcional .....	19
<b>Figura 9-2:</b> Contador Geiger Müller.....	20

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Porcentaje de exámenes realizados con equipos de rayos x convencional.....	33
<b>Gráfico 2-3:</b> Porcentaje de exámenes en TAC.....	34
<b>Gráfico 3-3:</b> Porcentaje de exámenes realizados en el Angiógrafo .....	35
<b>Gráfico 4-3:</b> Porcentaje de exámenes realizados con equipos de fluoroscopia.....	36
<b>Gráfico 5-3:</b> Croquis de puntos de interés de la sala 10 y 11 de equipos de rayos x convencional, área de imagenología. ....	40
<b>Gráfico 6-3:</b> Croquis de puntos de interés de la sala de emergencia.....	41
<b>Gráfico 7-3:</b> Croquis de puntos de interés de la sala 5 de tomografía computarizada. ....	42
<b>Gráfico 8-3:</b> Croquis de puntos de interés de la sala 3.....	43
<b>Gráfico 9-3:</b> Croquis de puntos de interés de la sala 1 de Angiografía.....	44
<b>Gráfico 10-3:</b> Croquis de puntos de interés del centro gástrico (fluoroscopia) .....	45
<b>Gráfico 11-4:</b> Dosis semanales, en los puntos de interés de la sala 10, examen de tórax posición de pie y acostado. ....	49
<b>Gráfico 12-4:</b> Dosis anuales, en los puntos de interés de la sala 10, examen de tórax posición de pie y acostado.....	50
<b>Gráfico 13-4:</b> Dosis semanales, en los puntos de interés de la sala 11, examen de tórax posición de pie y acostado. ....	52
<b>Gráfico 14-4:</b> Dosis anuales, en los puntos de interés de la sala 11, examen de tórax posición de pie y acostado.....	52
<b>Gráfico 15-4:</b> Dosis semanales, en los puntos de interés de la sala de emergencias, examen de tórax posición de pie y acostado. ....	56

<b>Gráfico 16-4:</b> Dosis anuales, en los puntos de interés de la sala de emergencias, examen de tórax posición de pie y acostado.....	56
<b>Gráfico 17-4:</b> Dosis semanales, en los puntos de interés de la sala 5, tomografía de tórax.....	59
<b>Gráfico 18-4:</b> Dosis anuales, en los puntos de interés de la sala 5, tomografía de tórax. ....	59
<b>Gráfico 19-4:</b> Dosis semanales, en los puntos de interés de la sala 3, en examen de serie esofagogastroduodenal.....	62
<b>Gráfico 20-4:</b> Dosis anuales en los puntos de interés de la sala 3, en examen de serie esofagogastroduodenal.....	62
<b>Gráfico 21-4:</b> Dosis semanal de los puntos de interés de la sala 1 en angiografía en examen de angioembolización .....	65
<b>Gráfico 22-4:</b> Dosis anual de los puntos de interés de la sala 1 en angiografía en examen de angioembolización .....	65
<b>Gráfico 23-4:</b> dosis semanal en los puntos de interés del centro gástrico en fluoroscopia en examen de CPRE .....	68
<b>Gráfico 24-4:</b> Dosis semanal dosis semanal en los puntos de interés del centro gástrico en fluoroscopia en examen de CPRE.....	68
<b>Gráfico 25-4:</b> Dosis semanales en puntos de interés perteneciente al POE.....	71
<b>Gráfico 26-4:</b> Dosis anuales en puntos de interés pertenecientes al POE.....	71
<b>Gráfico 27-4:</b> Dosis semanales de los puntos de interés pertenecientes al POE, de las salas de fluoroscopia, angiografía y tomografía computarizada.....	74
<b>Gráfico 28-4:</b> Dosis anuales de los puntos de interés pertenecientes al POE, de las salas de fluoroscopia, angiografía y tomografía computarizada.....	74

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A:** Certificado de calibración de la cámara de ionización modelo Radcal RSM

## RESUMEN

El objetivo principal es validar el blindaje estructural en las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, mediante un levantamiento radiométrico bajo el protocolo IAEA/ARCAL XLIX. Para lo cual, se replicó los exámenes más comunes realizados en las diferentes salas con la ayuda de un fantoma antropomórfico que simula al paciente. Se tomaron distintos puntos de interés en cada sala donde se encuentre ubicado el Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y el público. Las diferentes salas cuentan con equipos de rayos x convencional, fluoroscopia, tomografía computarizada y una sala de angiografía con equipo arco en C. Se tomaron medidas de tasa de dosis con un detector gaseoso tipo cámara de ionización modelo Radcal RSM, a diferentes distancias según sea paredes, piso o techos, para posteriormente estimar la dosis semanal y anual considerando variables como voltaje, corriente, factor de uso, factor de calibración de la cámara de ionización, factor de ocupación, carga de trabajo semanal y la lectura obtenida. Se concluye que las dosis semanales y anuales en los distintos puntos de interés de cada sala, cumple con los niveles de restricción de dosis permitidos de 0.10 mSv/sem o 5.0 mSv/año para zonas controladas y 0,01 mSv/sem o 0.5 mSv/año para zonas no controladas. Se recomienda mantener la distribución de las salas para no alterar la clasificación de las zonas y contar siempre con los equipos calibrados.

**Palabras clave:** <BIOFÍSICA>, <RADIOLOGÍA>, <LEVANTAMIENTO RADIOMÉTRICO>, <PROTECCIÓN RADIOLÓGICA>, <TASA DE DOSIS>, <ZONA CONTROLADA>, <ZONA SUPERVISADA>, <PROTOCOLO ARCAL>, <FANTOMA ANTROPOMÓRFICO>

## SUMMARY

The main objective is to validate the structural shielding in the radiodiagnostic and intervention rooms of the Carlos Andrade Marín Specialty Hospital, by means of a radiometric survey under the IAEA / ARCAL XLIX protocol. . For which, the most common examinations performed in the different rooms were repeated with the help of an anthropomorphic phantom that simulates the patient. Different points of interest were taken in each room where the Occupationally Exposed Personnel (OEP) and the public are located. The different rooms have conventional x-ray equipment, fluoroscopy, computed tomography and an angiography room with C-arc equipment. Dose rate measurements were taken with a gaseous detector type Radcal RSM ionization chamber, at different distances as walls, floor or ceilings, to later estimate the weekly and annual dose considering variables such as voltage, current, use factor, ionization chamber calibration factor, occupancy factor, weekly workload and the reading obtained. It is concluded that the weekly and annual doses at the different points of interest of each room comply with the permitted dose restriction levels of 0.10 mSv / wk or 5.0 mSv / year for controlled areas and 0.01 mSv / wk or 0.5 mSv / year for uncontrolled areas. It is recommended to maintain the distribution of the rooms so as not to alter the classification of the zones and always have the calibrated equipment.

**Keywords:** <BIOPHYSICS>, <RADIOLOGY>, <RADIOMETRIC SURVEY>, <RADIOLOGICAL PROTECTION>, <DOSE RATE>, <CONTROLLED AREA>, <SUPERVISED AREA>, <ARCAL PROTOCOL>, <ANTHROPOMORTIC PHANTOMA>

## INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años, en nuestro país se ha logrado un gran avance en varios ámbitos importantes, entre uno de ellos, la medicina, en la cual se ha visto la implementación de conocimientos y tecnologías en base a la radiación ionizante, la cual tiene varias aplicaciones de técnicas de radioterapia, radiodiagnóstico y medicina nuclear, las mismas que nos permiten la investigación, diagnóstico y tratamiento de muchas enfermedades. La implementación de estas técnicas que utilizan radiación ionizante en los hospitales y clínicas supone un riesgo para el Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE), público en general y medio ambiente.

Es por esto que varias organizaciones nacionales como la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) e internacionalmente como la National Council on Radiation Protection & Measurements (NCRP), International Atomic Energy Agency (OIEA) han creado medidas de protección radiológica que están también validadas por la International Commission on Radiological Protection (ICRP); gracias a todos estos parámetros se han creado blindajes estructurales en las salas que contienen equipos que trabajen con radiación ionizante en los hospitales y clínicas.

Uno de los requisitos para el funcionamiento de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, es la acreditación por medio del Reglamento de Seguridad Radiológica en el Ecuador, que se encuentra en vigencia desde 1979, para lo cual, en este trabajo de titulación se hará una validación del blindaje estructural de dichas salas, el mismo que nos ayudará a conocer que no existe un riesgo para el personal ocupacionalmente expuesto y el público, al comparar con los límites establecidos nacional e internacionalmente.

El Capítulo I contiene el marco referencial, antecedentes, identificación del problema, justificación basados en trabajos relacionados con el tema, realizados en distintos países y los objetivos propuestos a lograr en el desarrollo experimental del Trabajo de Titulación.

El Capítulo II trata sobre las bases teóricas y conceptuales que debemos tomar en cuenta para la realización correcta de este trabajo de titulación bajo las recomendaciones dadas por las distintas organizaciones en el ámbito del uso y manejo de la radiación.

El Capítulo III se describe la metodología utilizada, la cual es el levantamiento radiométrico bajo el protocolo IAEA/ARCAL XLIX donde se realizaron distintas mediciones de tasa de dosis en diferentes puntos de las salas mediante el uso de un fantoma antropomorfo en el que se replicaron varios estudios con los parámetros y técnicas radiológicas utilizados en la realidad.

Finalmente, en el Capítulo IV se muestra los resultados obtenidos de las medidas de tasa de dosis en los distintos puntos de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo bajo los parámetros del protocolo IAEA/ARCAL XLIX y la conclusión es que si cumplen con los niveles de restricción de dosis.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes

La aplicación de las normas de seguridad y protección radiológica es un requisito para la utilización de fuentes de radiación, es por ello que se han establecido reglas y protocolos aplicables función del riesgo asociado a las prácticas, instalaciones, fuentes y equipos que generan radiación ionizante, trabajadores expuestos, individuos del público, pacientes y medio ambiente.

En Chile en el año 2007, se llevó a cabo la aplicación de un protocolo de levantamiento radiométrico en instalaciones de radiodiagnóstico, en dos servicios de imagenología con un total de 7 salas de radiodiagnóstico. En esta investigación se calcularon las tasas de dosis efectiva en superficie en diferentes posiciones de interés desde el punto de vista de la protección radiológica. El 85% de las posiciones evaluadas presentan tasas de dosis efectivas que cumplen con los valores límites establecidos en el protocolo ARCAL (Acuerdo de Cooperación Regional para la promoción de la ciencia nuclear y tecnología en América Latina y el Caribe) XLIX del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). No obstante, el personal ocupacionalmente expuesto ubicado a un metro del simulador (área controlada) supera el límite propuesto en ARCAL XLIX (Leyton, 2007, pp. 1-7).

En este mismo país en el año 2015, se realizó un levantamiento radiométrico en el servicio de Medicina Nuclear del Hospital Hernán Henríquez Aravena, para lo cual, se necesitó de la recopilación de información necesaria como límite de dosis de las áreas a estudiar, carga de trabajo del servicio, factor de uso, factor de ocupación del área, distancias fuente-punto de cálculo, tipos de fuentes radiactivas que se utilizan y tasa de dosis en las áreas de estudios mediante un contador Geiger Müller. En este levantamiento radiométrico se comprobó que ninguna de las dosis efectivas obtenidas en las zonas de trabajadores expuestos supera el límite de dosis efectiva

de 50 mSv/año; mientras que el límite de dosis efectiva para miembros del público de 1 mSv/año, si es excedido levemente en las zonas de acceso a miembros del público, por lo que se recomendó un control en estas zonas (Aquevenque, 2015, pp. 1-7).

En Buenos Aires en el año 2015, fue presentado en el X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica, un estudio realizado en Cuba en el Hospital Hermanos Ameijeiras sobre “Protección Radiológica en Técnicas Percutáneas Intervencionistas, para el Tratamiento del Dolor”, en el cual se muestran los resultados de una investigación realizada en la Clínica del dolor, donde se evidenció la aparición de un eritema en una de las manos del especialista principal. Uno de los métodos utilizado para este estudio fue un levantamiento radiométrico para estimar la tasa de dosis recibidas por el personal en las diferentes posiciones alrededor del tubo de rayos x al realizar su trabajo diario (cerca del haz y alejado del haz), para una carga de trabajo promedio de 12 casos, 2 días a la semana y teniendo en cuenta 50 semanas laborales. Las evaluaciones pusieron en manifiesto la ejecución rutinaria de procedimientos clínicos que adolecían de la adopción de medidas de protección radiológica adecuadas, lo que podía conducir a que en el transcurso de un año fueran superados los límites de dosis para efectos deterministas en la piel, fundamentalmente en extremidades (Zamora Sánchez, 2015, pp. 1-8).

## **1.2. Identificación del problema**

El Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín (HECAM), ofrece entre sus distintos servicios el de radiodiagnóstico e intervencionismo, los mismos que ayudan al diagnóstico y tratamiento de un amplio espectro de enfermedades, dichas salas cuentan con un blindaje en su estructura, lo cual nos ayuda a disminuir las exposiciones radiantes que pueden afectar al Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y público en general a niveles tolerantes según la legislación que se encuentra vigente.

Con el fin de proporcionar un registro de las dosis anuales a las que están expuestos el personal y público en las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo, se realizó una validación de blindajes estructurales de las distintas y numerosas salas utilizadas para radiodiagnóstico e intervencionismo, que con la ayuda de un levantamiento radiométrico se pudo llegar a conocer si

los niveles de dosis para POE y miembros del público son los adecuados, en caso contrario se iba a lograr que las medidas de protección radiológica sean más óptimas y seguras.

### **1.3. Justificación**

En el Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, en las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo, se realizan una cantidad considerable de estudios semanalmente. Para que una sala de radiodiagnóstico o intervencionismo pueda ofrecer las condiciones de protección radiológica necesarias para garantizar el respeto de los límites de dosis establecidos nacional e internacionalmente para el POE y el público, se deben evaluar aspectos de seguridad y protección radiológica, como características en el blindaje de las instalaciones que alberguen equipos que utilicen radiación ionizante.

Actualmente el Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín se encuentra en proceso de renovación de su licencia institucional, y uno de los requisitos a cumplir es la validación del blindaje de las salas donde se utilicen equipos emisores de radiación ionizante, por lo que mediante un levantamiento radiométrico se permitirá conocer si los valores de exposición a las radiaciones ionizantes no son un peligro externo, evitando así el riesgo de efectos adversos en la salud a largo tiempo por una acumulación de dosis.

Dichas dosis deben estar de acuerdo con las normativas de seguridad y protección radiológica al personal ocupacionalmente expuesto y el público según los niveles recomendados nacionalmente por el Reglamento de Seguridad Radiológica en el Ecuador vigente desde 1979 e internacionalmente ARCAL XLIX.

Este estudio se logró con la ayuda del personal capacitado del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, el mismo que cuenta con el conocimiento necesario en dosimetría y protección radiológica, también con los equipos necesarios para medir la tasa de dosis de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo, la cual se relaciona con los trabajadores ocupacionalmente expuestos y miembros del público.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. *Objetivo General***

Validar el blindaje estructural de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín mediante levantamiento radiométrico bajo el protocolo IAEA/ARCAL XLIX.

### **1.4.2. *Objetivos Específicos***

- Identificar los puntos de interés donde se realizarán las distintas mediciones de tasa de dosis de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo.
- Realizar las mediciones de tasa de exposición con el detector en los puntos de interés de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo.
- Estimar la dosis anual y semanal recibida por el personal radioexpuesto y el público, para comparar con los límites de dosis establecidos nacional e internacionalmente.
- Validar el blindaje estructural actual de las salas para verificar su acreditación según el Reglamento de Seguridad Radiológica en el Ecuador vigente desde 1979.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Radiación Ionizante

La radiación ionizante es energía que se produce gracias a interacciones de los átomos, se pueden producir en forma de ondas electromagnéticas como los rayos x y rayos gamma, o se puede producir energía en forma de partículas como partículas beta, alfa y neutrones. También se los obtiene por procesos de desintegración atómica conocido como radiactividad (Organización Mundial de la Salud, 2016). Tiene distintas propiedades, como por ejemplo su poder de penetración y su poder de ionización (Castilla & León, 2006, p. 22).

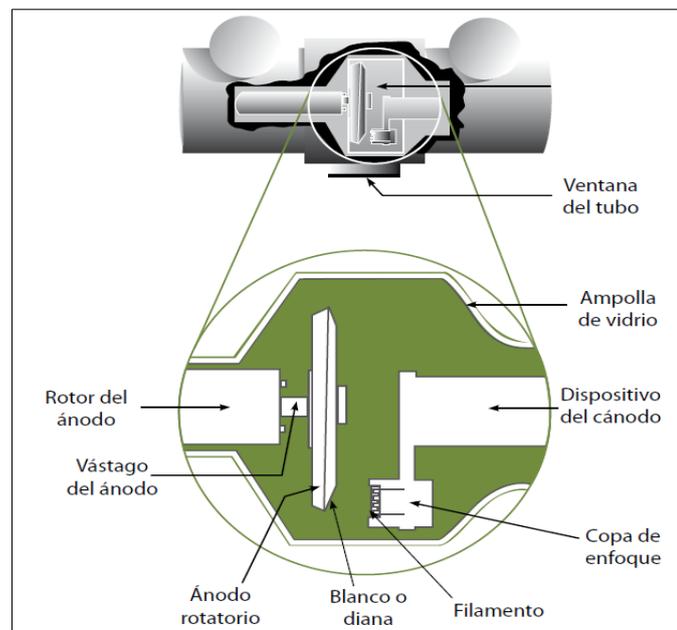
Entre los distintos tipos de radiaciones de interés para este estudio tenemos:

- **Rayos gamma ( $\gamma$ ):** esta radiación es de tipo electromagnético, están formadas por paquetes de energía denominados fotones, con un nivel de energía alto, se produce por las desintegraciones radiactivas y reacciones nucleares. La radiación gamma posee la capacidad de ionizar a la materia, produciendo iones y arrancando electrones del átomo (Arias, 2001, p. 85).
- **Rayos x:** es radiación de tipo electromagnética que se propaga en forma de fotones, es muy parecida a la radiación gamma y al interaccionar con la materia los haces atraviesan sin ninguna dificultad, por lo que se dice que su poder de penetración es elevado, lo cual hace que este tipo de radiación contribuya en el área de la medicina para el diagnóstico de enfermedades (Del Cura, et al., 2009, pp. 3-4).

La radiación gamma y rayos x, no son radiaciones directamente ionizantes, pero al interactuar con otros núcleos de átomos pueden provocar una ionización de manera indirecta (Castilla & León, 2006, p. 24).

## 2.2. Generación de rayos x

La generación de los rayos x se produce en el tubo de rayos que es una parte fundamental del equipo. Cuenta con varias partes como: una ampolla de cristal sellado al vacío y protegida por una carcasa. La ampolla posee partes importantes que son: el cátodo, filamento, copa de enfoque y ánodo que pueden ser estacionarios y rotatorios (Pifarré, et al., 2012).



**Figura 1-2:** Esquema del interior de una ampolla de rayos x

**Fuente:** Fundamentos de Física Médica, 2012

Los rayos x se producen en el tubo cuando existe una diferencia de potencial, que hace que aumente la corriente del filamento, produciendo una emisión termoiónica, que es la emisión de electrones del filamento por el calentamiento producido gracias a la intensa corriente eléctrica, cuando la corriente sea la suficiente alta, aumentará la corriente en el tubo. Esta corriente arranca gran cantidad de electrones que irán desde el cátodo hacia el ánodo y son denominados electrones proyectil e interactúan con los electrones orbitales o núcleos de los átomos del blanco por tres tipos de mecanismos diferentes (Pifarré, et al., 2012, p. 40).

### **2.2.1. Mecanismos de emisión energética:**

- Gran parte de la energía cinética proveniente de los electrones proyectil se convierte en calor. Los electrones proyectil van a interactuar con los electrones de las capas superiores de los átomos del blanco, pero no los van a ionizar debido a que no poseen la energía suficiente para producir una ionización, por lo que solo producirán excitación de los átomos, volviéndolos inmediatamente a su estado de energía normal, produciendo calor. Mas del 99% de la energía cinética proveniente de electrones proyectil se convertirá en calor (Pifarré, et al., 2012, p. 43).
- Se producirá energía cuando un electrón proyectil interaccione con los electrones de las capas internas del átomo del blanco. Estos rayos x característicos se formarán cuando esta interacción es lo suficientemente fuerte para ionizar al átomo y arrancar un electrón de la capa interna del átomo, ocupando ese espacio un electrón de las capas externas, produciendo radiación característica (Bushong, 2010, p. 140).
- Otro tipo de radiación se producirá cuando el electrón proyectil pierda su energía al interaccionar con el campo nuclear del átomo del blanco, al pasar el electrón por las capas del átomo y acercarse a su núcleo se generará una repulsión por sus distintas cargas, produciendo una desviación del electrón proyectil, esta energía perdida se convertirá en un fotón de rayos x de frenado o bremsstrahlung (Bushong, 2010, p. 142).

### **2.3. Equipos usados en intervencionismo**

#### **2.3.1. Equipo de Rayos x en forma de arco en C**

Hoy en día los equipos de rayos x en forma de arco en C son considerados como los más eficientes dentro de los múltiples tipos de equipos de rayos x, considerado como un nombre común para los rayos x, puesto que este nombre está directamente relacionado con la forma misma del tubo portador la cual es muy semejante a la letra “C” (Balog, 2017).

Dentro de las principales características de este equipo cabe recalcar que los arcos en C quirúrgicos se subdividen en fijos, es decir estos pueden ser montados en el suelo, techo o incluso ser portátiles, por lo cual, son de gran utilidad para poder visualizar la mayoría de intervenciones quirúrgicas desde las más simples hasta las más complejas (Balog, 2017).



**Figura 2-2:** Equipo Arco en C Philips

**Fuente:** Soma Technology, 2019

En cuanto a los componentes del equipo de arcos en C, se debe recalcar que todos son iguales puesto que cuentan con un tubo en forma de C, detector de plano, una unidad monobloque y un monitor. Por otro lado, se debe saber escoger un equipo en forma de arco de C, en el caso de requerir este equipo para intervenciones quirúrgicas es recomendable que se elija un dispositivo fijo con gran profundidad para un mayor y mejor acceso a los pacientes; o a su vez en el caso que se requiera este equipo para una recepción, será más rentable adquirir un dispositivo portátil o un mini arco en C, para obtener imágenes más nítidas de tejidos blandos y huesos es recomendable mantener un rango dinámico máximo o si se planea realizar exámenes cardiovasculares se recomienda un arco en forma de C totalmente equipado (Balog, 2017).

## 2.4. Equipos usados en radiodiagnóstico

La radiología convencional es una especialidad médica que ha servido de gran herramienta, la cual ha ayudado a la detección y diagnóstico de enfermedades en distintas regiones anatómicas como pelvis, abdomen, mamas, tórax y huesos, siendo una manera poco invasiva para lograr un pronóstico y tratamiento de enfermedades (Chen, et al., 2006, p. 2). En radiodiagnóstico los equipos más utilizados son el equipo de rayos x convencional, el tomógrafo y el fluoroscopio en donde se utiliza un haz continuo de rayos x.

### 2.4.1. Equipos de rayos x:

Los equipos de rayos x (fig. 3-2) son los encargados de generar imágenes radiográficas, que poseen una alta resolución, alto contraste y con mínima exposición al paciente, con una resolución precisa que permite observar una buena calidad en la imagen producida (Tucci, 2012, p. 66).



**Figura 3-2:** Equipo de Rayos x convencional  
Fuente: Ventas Médicas MX, 2018

#### **2.4.2. Equipos de fluoroscopia:**

La fluoroscopia es considerada una técnica primordialmente utilizada en el tratamiento de bloqueos de dolor, la cual consiste en la obtención de imágenes de rayos x en tiempo real, mediante dicho estudio se muestra el movimiento gracias a imágenes que se obtienen a una frecuencia máxima de 25 a 30 cuadros completos por segundo. La exposición para producir una imagen fluoroscópica es baja en relación a una radiografía; los niveles a los que se exponen los pacientes pueden ser altos debido a la duración de las series de imágenes en las exploraciones de fluoroscopia, por consiguiente, el tiempo en el que se realiza este procedimiento es uno de los factores más importantes (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2013).

#### **2.4.3. Tomografía computarizada**

La tomografía computarizada es una técnica de diagnóstico que muestra imágenes perpendiculares con el eje longitudinal del cuerpo, que nos ayuda a explorar el cuerpo humano internamente mediante cortes transversales tomadas en diferentes ángulos y con el uso de rayos x. Un equipo de tomografía computarizada (fig 4-2) nos muestra imágenes en tres dimensiones (3D) por medio de la reconstrucción de cortes. En varias ocasiones para que sea mayor la definición de la imagen y obteniendo una imagen mucho más nítida, se utiliza un medio de contraste, logrando distinguir varias densidades y tejidos (Pereira, 2004, pp. 1-2).



**Figura 4-2:** Equipo de Tomografía Computarizada  
Fuente: Tecnasa, 2008

## 2.5. Parámetros para la adquisición de imagen en equipos de grafía y escopía

La obtención de imagen en los distintos equipos de radiodiagnóstico e intervencionismo se basa en la selección de la técnica radiológica adecuada, que viene dada por los siguientes parámetros:

- **Selección del Kilovoltaje pico:** el Kilovoltaje pico (kVp) determina la calidad del haz de rayos x y por ende la penetrabilidad del haz en la anatomía de interés. Al aumentar el kVp, aumenta la densidad óptica y se produce una reducción del contraste en la imagen. A mayor kVp se produce un aumento de la radiación dispersa y afecta a la dosis que recibirá el paciente (Bushong, 2010, p. 245).
- **Miliamperaje:** el miliamperaje (mA) determina el número de electrones desde el cátodo al ánodo, al aumentar la corriente, los electrones que golpean al blanco del tubo serán el doble, por lo tanto, el número de rayos x emitidos es mayor, recibiendo una mayor dosis en el paciente (Bushong, 2010, p. 146).
- **El tiempo de exposición:** el tiempo de exposición es seleccionado previamente por el operador, se deben tomar tiempos de exposición tan cortos como sean posibles, ya que a mayor

tiempo de exposición la imagen puede resultar borrosa y el paciente recibirá una mayor dosis (Bushong, 2010, p. 293).

- **Control automático de exposición (CAE):** es un sistema que ayuda al control automático de tiempo en una exposición realizada para adquirir imágenes. Pueden ser de tres tipos:
  - Se encuentran formados por un conjunto de hasta tres cámaras de ionización que se encuentran junto al receptor. Al incidir la radiación en las cámaras de ionización en tiempo real, al momento que llega a un determinado límite antes ya calibrado, el CAE ordena la finalización de la exposición (Pifarré, et al., 2012, p. 49).
  - En sistemas de adquisición digital modernos, el CAE puede estar ubicada en la propia matriz de detectores, la señal será recibida en esta zona e igualmente se detendrá cuando llegue a un cierto umbral (Pifarré, et al., 2012, p. 49).
  - En sistemas que utilizan el sistema intensificador de imagen (usados en telecommandos, equipos intervencionistas), aquí el CAE mide la luz de algunas zonas que se encuentran en la imagen de salida que se encuentra en el intensificador, e igualmente se detiene la exposición al alcanzar una cierta dosis (Pifarré, et al., 2012, p. 49).
  
- **Control Automático de Intensidad en escopía (CIA):** es un sistema que contiene un tubo fotomultiplicador que permite medir la intensidad luminosa en la imagen de salida del intensificador, si existe baja resolución o contraste, el CIA ordena al equipo aumentar el mA o disminuir, según sea el caso (Pifarré, et al., 2012, p. 50).

### **2.5.1. Interacción de la radiación con el tejido biológico**

Al momento que la radiación interacciona con el tejido biológico puede ocasionar daños en los distintos tejidos y órganos, este detrimento va a depender de la sensibilidad del tejido, el tipo del órgano al que afecte y del tipo de radiación, para lo cual están dados distintos valores según su factor de ponderación radiológica como se escribe en la tabla 1-2. (Organización Mundial de la Salud, 2016).

**Tabla 1-2:** Factores de ponderación de los tejidos

Tejido	$w_T$	$\Sigma w_T$
Medula ósea, colon, pulmón, estómago, mama, resto de los tejidos	0,12	0,72
Gónadas	0,08	0,08
Vejiga, esófago, hígado, tiroides	0,04	0,16
Superficie del hueso, cerebro, glándulas salivales, piel	0,01	0,04
Total		1,00

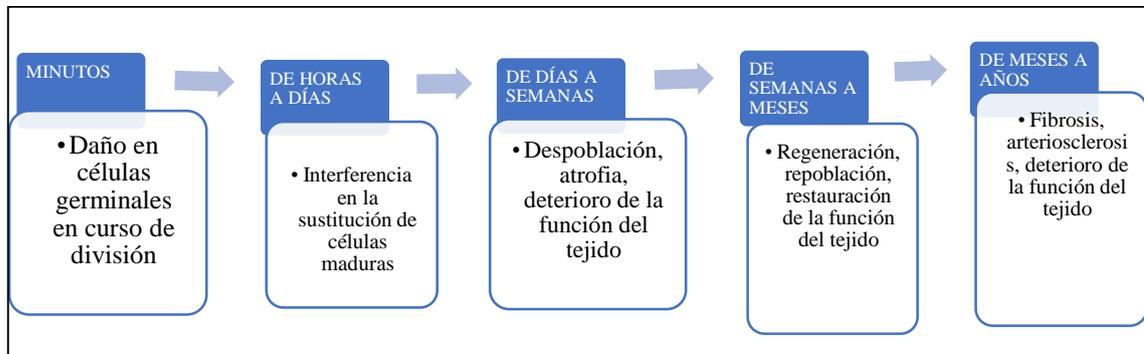
Fuente: ICRP 103, 2007

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

La radiación ionizante al interactuar con los átomos es capaz de arrancar electrones de los átomos, por lo que, al interactuar con las células de los órganos y tejidos, puede crear iones y radicales libres, los cuales pueden causar un mal funcionamiento en los procesos celulares. De todas las moléculas que pueden ser afectadas por la ionización que causa la radiación, el ADN es la que posiblemente sufra más daño biológico, esto dependerá del tipo de radiación; si es radiación alfa o beta puede causar daños irreparables, mientras tanto que, si es afectada por radiación X o gamma, la molécula de ADN puede repararse y no causar tanto daño biológico (Upton & Cherry, 1998, p. 48.5).

A causa de la exposición de radiación a las células se puede causar problemas en sus capacidades, la división celular se ve interrumpida o reprimida dependiendo de la dosis absorbida por las células, lo que genera que los cromosomas y el ADN se vean realmente afectados como en cambios en su estructura y el número. En cuanto a los efectos de la radiación en los tejidos, las células presentan una resistencia a la radiación, así que solo las células que se encuentran en división celular del tejido son más radiosensibles, pudiendo matar algunas de ellas atrofiando el tejido. Cabe recalcar que la afectación de estas células depende de su distribución celular en el órgano afectado y si el tejido afectado posee un volumen pequeño y la dosis se distribuye de una

manera lenta, el daño puede ser menor y el número de células no afectadas será mayor (Upton & Cherry, 1998, p. 48.6).



**Figura 5-2:** Secuencia característica de acontecimientos en la patogénesis de efectos estocásticos de la radiación ionizante.

Fuente: Upton 1996

## 2.6. Equipos usados en dosimetría de tasa de dosis

La dosimetría ambiental se la determina en función de la tasa de dosis que es una magnitud que indica la intensidad de radiación ionizante que existe en un momento dado y así conocer si se tiene niveles que no son correctos para el personal o público expuesto. La tasa de dosis es monitoreada y medida por dispositivos llamados detectores, los mismos que los podemos encontrar en distintos tipos, variando su funcionamiento y características, estos se encuentran calibrados en magnitudes radiológicas ya definidas para la dosimetría del lugar (Comisión de Seguridad Nuclear, 2013, p. 4).

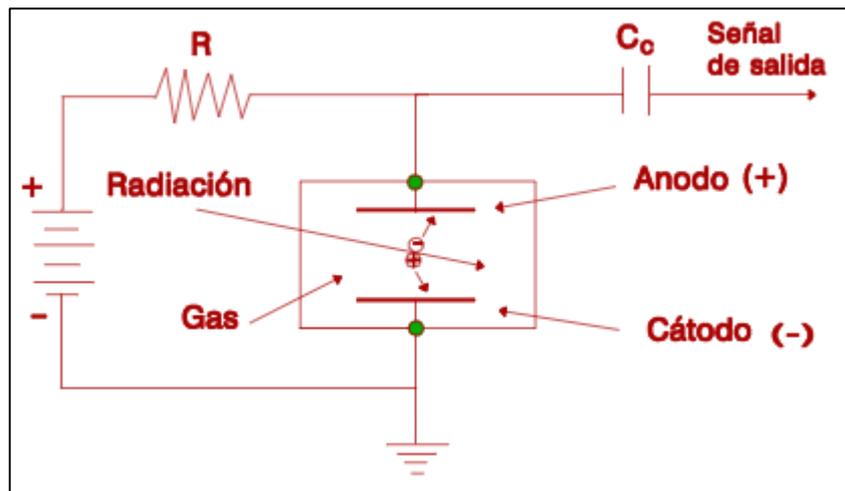
Los detectores de radiación pueden funcionar en base a dos modos según la aplicación que desee el usuario:

- **Detector Activo:** los detectores activos proporcionan lecturas en cada instante de la tasa de dosis, en este proceso se da información de las señales en un punto de nuestro cuerpo a cada momento de manera rápida, pudiendo detectar variaciones de los valores de intensidad en varios instantes (Comisión de Seguridad Nuclear, 2013, p. 5).

- **Detector Pasivo:** estos tipos de detectores almacenan la radiación detectada en un intervalo de tiempo que el operador desee para después dar el resultado final de la dosis acumulada. Los detectores pasivos son muy utilizados cuando se requiere un valor de tasa de dosis acumulada de un área determinada en un intervalo de tiempo durante una actividad (Comisión de Seguridad Nuclear, 2013, p. 6).

### 2.6.1. Tipos de Detectores de Ionización Gaseosa

Los detectores de ionización gaseosa, son aquellos detectores que en su interior poseen un gas encapsulado, el cual se ioniza con la radiación recibida, creando una señal eléctrica entre los electrodos que posee y que al aplicar un alto voltaje será transmitida para su posterior lectura, dando un valor de la radiación recibida (Jiménez, 2011, p. 2).



**Figura 6-2:** Esquema de un detector de ionización gaseosa  
Fuente: CSN, 2009

Entre los detectores de ionización gaseosa tenemos los siguientes tipos:

- **Cámara de ionización:**

Es un tipo de detector el cual cuenta con una cápsula rellena de un gas entre sus electrodos, haciendo que este gas recoja toda la carga de la radiación incidente y se los utiliza principalmente para medir radiación procedente de rayos x, gamma y partículas beta.

Según el tipo de disposición de los electrodos podemos tener que existen cámaras de ionización plano paralelas o cilíndricas, también se pueden clasificar por su modo de uso en cámaras de corriente y cámaras de impulsos; así tenemos que las cámaras de ionización por corriente identifican las radiaciones en conjunto al interactuar la energía recibida con el gas, dando una lectura correcta de la dosis absorbida; en los detectores por impulsos medimos la energía recibida a la cámara de ionización de manera individual para conocer más sobre la energía de la radiación que llegó al detector (Consejo de Seguridad Nuclear, 2009, p. 5).



**Figura 7-2:** Cámara de Ionización Ludlum  
Fuente: COLÉSA, 2019

- **Contador proporcional:**

Son detectores con mecanismos similares a las cámaras de ionización, con la diferencia de que poseen una mayor tensión, lo que produce una multiplicación de cargas a partir de la ionización primaria, se producirá una ionización secundaria a lo que llamamos una cascada de ionizaciones que ocurren en períodos muy rápidos de tiempo (Consejo de Seguridad Nuclear, 2009).

El uso de los contadores proporcionales está enfocado para la detección de radiación baja en el ambiente de un determinado lugar, cabe recalcar que los contadores proporcionales nos ayudan a detectar radiación de partículas alfa, beta y la producida por neutrones. Los detectores de radiación necesitan que la partícula o fotón llegue a interactuar con el volumen sensible para que esta sea convertida en una señal para su lectura, por lo que poseen ventanas delgadas donde atraviesa la radiación para ser detectada; existen casos en que la energía de partículas alfa y beta son de energía baja y no se puede apreciar la señal de una manera adecuada, por lo que la muestra debe ser introducida en el interior del detector para su correcta lectura (Consejo de Seguridad Nuclear, 2009).

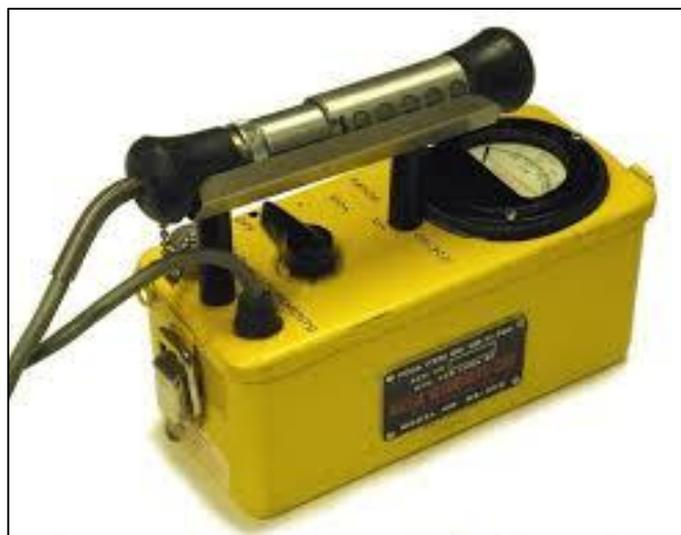


**Figura 8-2:** Contador Proporcional  
Fuente: ECURED, 2018

- **Contador Geiger Müller:**

Un detector Geiger Müller, al igual que los contadores proporcionales, poseen una alta tensión en su campo eléctrico, por ello sabemos que, a parte de las ionizaciones primarias y secundarias ya producidas, existen cascadas de ionización a partir de las ionizaciones secundarias en el tubo producidas por átomos excitados desde la ionización inicial (Echanique, 2018, p. 33).

Al momento que los iones de la cascada de ionización se quedan alrededor del ánodo formando una nube de iones con carga positiva podemos decir que el proceso ha culminado. Pero este proceso puede verse afectado debido a que después de las cascadas de ionización múltiple pueden seguirse produciendo más cascadas gracias a la aceleración con la que los iones van al ánodo y lleguen con la energía necesaria para liberar electrones y se repita el proceso. Así que para que esto no suceda el detector Geiger Müller contiene otro gas llamado “quenching gas” el cual tiene en su estructura moléculas orgánicas como por ejemplo el etanol y otras, de esta manera se consigue evitar la aparición de más electrones y que el proceso se vuelva a producir (figura 9-2) (Echanique, 2018, p. 33).



**Figura 9-2:** Contador Geiger Müller

Fuente: Taringa, 2005

### **2.6.2. Fantoma antropomórfico**

Denominamos fantoma a la estructura similar a un maniquí, el cual cuenta con una densidad parecida a la del cuerpo humano, los fantomas son utilizados para la calibración de equipos, diseño y control de rangos operativos de los mismos.

El fantoma que se utilizó en esta investigación es marca Alderson masculino de 34 láminas con 2,5 cm de grosor, en cada lámina se encuentran orificios acoplados con material equivalente a huesos, tejidos blandos, músculos, de acuerdo al área anatómica, reproducen poseen coeficientes de atenuación propias de cada órgano o estructura.

## **2.7. Magnitudes dosimétricas y unidades utilizadas en protección radiológica**

### **2.7.1. Exposición**

La exposición ( $X$ ) es una magnitud que se encuentra definida por el cociente entre  $dQ$  y  $dm$ , donde  $dQ$  es el valor absoluto de la carga total de los iones de un signo que se producen en el aire, cuando los electrones liberados por fotones en un volumen determinado de aire  $dm$  (ec.1) son detenidos completamente en el mismo. La unidad en que se mide la exposición es el C/kg (culombio/kg), esta magnitud se utiliza para medir fotones de rayos x o gamma cuando producen ionización en el aire (Gutiérrez, 2016, p. 248).

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (1)$$

La tasa de exposición  $\dot{X}$ , es la exposición  $X$  que se genera en un intervalo de tiempo  $dt$  definido, su unidad es C/kg\*s.

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} \quad (2)$$

### 2.7.2. *Kerma*

El kerma ( $K$ ) es una magnitud que indica la suma de energías cinéticas iniciales de partículas ionizantes con cargas que se originaron a partir de las partículas indirectamente ionizantes sin carga  $dE_{tr}$  en una masa determinada  $dm$  (Gutiérrez, 2016, p. 248). Su unidad es julio sobre kilogramo (J/kg) o Gray (Gy).

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad (3)$$

### 2.7.3. *Dosis absorbida*

La dosis absorbida ( $D$ ) viene dada como el cociente entre la energía media  $d\bar{\epsilon}$  de radiación ionizante depositada en una masa (ec.4)  $dm$ . La dosis absorbida es una magnitud muy importante que es utilizada para medir cualquier tipo de radiación, especificando el material con el cual ha interactuado. Su unidad es el Gray (Gy) (Gutiérrez, 2016, p. 248).

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (4)$$

Mientras tanto que la tasa de dosis absorbida ( $\dot{D}$ ) es la dosis absorbida que se presenta en un determinado tiempo  $dt$ . Esta dada por la unidad Gy/s.

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (5)$$

### 2.7.4. *Dosis equivalente*

La dosis equivalente ( $H_T$ ), es una magnitud que indica la cantidad de energía que ha recibido un determinado tejido. Esta dada por el producto de la dosis en órgano  $D$  por el factor de ponderación

$w_R$  (ec.6). Su unidad está en J/kg o Sievert (Sv). El factor de ponderación  $w_R$  es específico para cada tipo de radiación (Ubeda de la C, et al., 2018, p. 6).

$$H_T = D * w_R \quad (6)$$

### **2.7.5. Dosis efectiva**

La dosis efectiva ( $E$ ) se encuentra dada por el producto de la dosis equivalente  $H_T$  por el factor de ponderación  $w_T$  (ec.7) que es un factor que se encuentra determinado para cada órgano o tejido que interactúe con la radiación, causando distintos efectos según sea el tejido u órgano con el que se produzca la interacción; para el cuerpo humano el factor de ponderación es 1. Su unidad se encuentra en Sievert (Sv) (Ubeda de la C, et al., 2018, pp. 6-7).

$$E = H_T * w_T \quad (7)$$

## **2.8. Magnitudes y unidades radiométricas utilizadas en protección radiológica**

### **2.8.1. Número de partículas**

El número de partículas es el total de partículas que son emitidas o transferidas. No posee dimensión y la representamos con la letra (N).

### 2.8.2. Flujo de partículas

El flujo de partículas ( $\dot{N}$ ) Viene dado por el cociente de  $dN$  entre  $dt$ , donde  $dN$  representa el incremento del número de partículas en un intervalo de tiempo determinado  $dt$  (Lleó & Lleó, 2011, p. 606). Su unidad de medida es  $s^{-1}$ .

$$\dot{N} = \frac{dN}{dt} \quad (8)$$

### 2.8.3. Fluencia de partículas

La fluencia de partículas ( $\Phi$ ) está dada por el cociente de  $dN$  entre  $da$ , donde  $dN$  representa el número de partículas que inciden sobre una esfera cerrada en un determinado punto, dividido por el área de la esfera  $da$  (Lleó & Lleó, 2011, p. 607) (ec.9). Su unidad es  $m^{-2}$ .

$$\Phi = \frac{dN}{da} \quad (9)$$

### 2.8.4. Tasa de fluencia de partículas

La tasa de fluencia de partículas ( $\varphi$ ) es el cociente entre  $d\Phi$  y  $dt$ , donde  $d\Phi$  es el aumento de la fluencia de partículas en un intervalo de tiempo  $dt$  (Martín, 2016, p. 13). Su unidad es:  $m^{-2}s^{-1}$ .

$$\varphi = \frac{d\Phi}{dt} \quad (10)$$

## **2.9. Radiología intervencionista**

La Radiología Vasculare Intervencionista (RVI) se ha convertido en una de las especialidades diagnósticas y terapéuticas con mayor expansión en los últimos años. Este crecimiento se ha basado en un concepto fundamental, la realización de procedimientos mínimamente invasivos guiados por imagen. Esta atractiva combinación ha hecho que otras especialidades clínicas, fuera del ámbito de la Radiología, se sintieran atraídas por este tipo de intervenciones. El futuro de la RVI, aunque incierto, se debe vincular a la práctica clínica y al trabajo multidisciplinar (Santos, Martín; Crespo, Vallejo, 2014, p. 16).

### **2.9.1. Protección Radiológica**

La protección radiológica es considerada como una actividad multidisciplinar con un carácter científico y técnico, la cual tiene como finalidad la protección de las personas y del medio ambiente en cuanto a los múltiples efectos nocivos que son el resultado de la exposición a radiaciones ionizantes. Existen 3 principios de vital importancia, las cuales se basan en las recomendaciones de la ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica) (Ceballos, 2015).

### **2.9.2. Principios de protección radiológica**

#### **Justificación**

Toda práctica que implique cualquier tipo de exposición a radiaciones ionizantes siempre debe suponer un beneficio para la sociedad, por lo cual deben considerarse todos los efectos negativos y alternativas posibles (Ceballos, 2015).

#### **Optimización o “Principio ALARA”**

El término ALARA (As Low As Reasonably Achievable) que significa “Tan bajo como sea razonablemente posible”, refiere a que todas las exposiciones a radiaciones deben ser mantenidas

a niveles tan bajos como razonablemente sea posible, tomando muy en cuenta tanto factores sociales como económicos (Ceballos, 2015).

### **Limitación de Dosis**

Refiere a que las dosis que son recibidas por personas no deben superar los límites establecidos en la legislación que se encuentre en vigencia (Ceballos, 2015).

#### **2.9.3. Límites de dosis nacionales e internacionales**

Los límites de dosis se aplican netamente a situaciones donde existe exposición planificada y no en las exposiciones médicas de pacientes.

**Tabla 2-2:** Límites de dosis recomendados en situaciones de exposición planificada.

<b>Tipo de límite:</b>	<b>Ocupacional</b>	<b>Público</b>
<b>Dosis efectiva</b>	20 mSv por año promediada en períodos definidos de 5 años	1 mSv en un año
<b>Dosis equivalente anual en:</b>		
Cristalino	20 mSv	15 mSv
Piel	500 mSv	50 mSv
Manos y pies	500 mSv	---

Fuente: ICRP 60, 2007

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

En el Ecuador los límites de dosis están dados por el Reglamento de Seguridad Radiológica publicado mediante el decreto ejecutivo N°3640 Registro Oficial N°891 el 8 de agosto de 1979.

**Tabla 3-2:** Límites de dosis nacionales

<b>Órgano</b>	<b>Dosis máxima permitida</b>	<b>Dosis máxima permitida</b>
<b>Cuerpo entero, gónadas, médula ósea</b>	5 rem/año 3 rem/trimestre	50 mSv/año 30 mSv/trimestre
<b>Hueso, piel de todo el cuerpo, tiroides</b>	30 rem/año 15 rem/trimestre	300 mSv/año 150 mSv/trimestre
<b>Manos, antebrazos, pies, tobillos</b>	75 rem/año 40 rem/trimestre	750 mSv/año 400 mSv/trimestre
<b>Todos los otros órganos</b>	8 rem/trimestre	150 mSv/año 80 mSv/trimestre
<b>Personal femenino en edad reproductiva</b>	1.25 rem/trimestre	12.5 mSv/trimestre
<b>Mujer en estado de gravidez</b>	1 rem/período de embarazo	10 mSv/ período de embarazo
<b>Miembro del Público en general</b>	10% de los límites establecidos para el POE	10% de los límites establecidos para el POE

Fuente: Reglamento de Seguridad Radiológica, 1979

Realizado por: Vásquez Cristian, 2019

#### **2.9.4. Medidas básicas de protección radiológica**

Existen tres reglas fundamentales para la protección radiológica:

##### **Tiempo**

El tiempo es un factor importante en protección radiológica, porque del tiempo depende las dosis de exposición al POE y a los pacientes, a mayor tiempo se producirá una mayor dosis absorbida. Es importante que las personas que vayan a manejar equipos que utilicen radiación ionizante se encuentren capacitadas para lograr una disminución exposición en las prácticas (Dr. Delgado, et al., 2002, p. 40).

##### **Distancia**

Este factor es uno de los más importantes, contribuye mucho a la seguridad radiológica ya que es fácil de aplicar y no impone un costo, entre mayor sea la distancia de la fuente de radiación,

existirá menos exposición a la radiación debido a la ley del cuadrado inverso de la distancia, que indica que al duplicar la distancia existente desde la fuente hacia el personal, se reducirá la dosis de exposición a una cuarta parte con relación al punto inicial (Delgado Ramos, et al., 2008, p. 40).

## **Blindaje**

El blindaje es un método que ayuda a disminuir la incidencia de radiación entre una fuente y el personal o punto de interés específico, ayudando a disminuir la tasa de dosis de exposición para el POE y público (Delgado Ramos, et al., 2008, p. 38). El blindaje puede ser estructural como las barreras de la sala donde se encuentre un equipo, o blindaje no estructural como el uso de chalecos, collarines, gafas, faldones plomados, etc.

### **2.9.5. Protocolo IAEA/ARCAL XLIX**

ARCAL (Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe) es el mayor acuerdo que existe entre los Estados que conforman la OIEA de la región conformada por América Latina y el Caribe, el acuerdo de cooperación se basa en el desarrollo conjunto de técnicas nucleares que tienen fines pacíficos y de desarrollo (IAEA, 2019).

Así ante la ausencia de normas, leyes, protocolos y el déficit de conocimiento en el personal en cuanto a protección radiológica y el riesgo que implica al personal y público trabajar con la misma, ante todo esto se crea el proyecto ARCAL XLIX, el cual implementa mecanismos concretos en la implantación de las Normas Básicas de Seguridad en la región, dicho proyecto crea protocolos de control de calidad en todas las áreas relacionadas con aplicaciones radiológicas que deben ser debidamente aplicados en todos los Centros de Referencia de los países participantes (IAEA/ARCAL XLIX, 2001, p. 6).

El protocolo ARCAL XLIX presta ayuda a los distintos equipos, en la realización de las pruebas mínimas de aceptación y comisionamiento, por medio de metodologías propuestas que tienen que ser aplicadas en base a los parámetros establecidos en las Normas Básicas de Seguridad, acuerdo al programa de garantía de calidad y de protección radiológica de las equipos de radiodiagnóstico de los diferentes centros (IAEA/ARCAL XLIX, 2001, p. 6).

### ***2.9.6. Reglamento de Seguridad Radiológica del Ecuador***

El reglamento de Seguridad Radiológica del Ecuador fue creado el 08 de agosto de 1979, bajo el Decreto Supremo 3640, Registro Oficial No. 798, con el objetivo de proteger contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes a la población ecuatoriana en general y a las personas que trabajan con radiaciones ionizantes.

En dicho reglamento la Ley Constitutiva de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, emite la obligación de reglamentar la producción, adquisición, transporte, importación, exportación, utilización y manejo de elementos fértiles fisionables y radiactivos, así como de los radioisótopos artificiales importados o producidos en el país y de las máquinas generadoras de radiaciones ionizantes y el uso de las atribuciones que se halla investido (Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, 1979, p. 1).

## **CAPÍTULO III**

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Diseño de la investigación**

El desarrollo de esta investigación es de carácter experimental, ya que según lo que indica el protocolo IAEA/ARCAL XLIX se establecieron los puntos de interés donde se realizaron las distintas mediciones de la tasa de dosis equivalente de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo utilizando un fantoma o maniquí que simuló la dispersión de radiación en el paciente, sobre el mismo se realizaron técnicas de adquisición de imágenes más comunes en las salas de radiología e intervencionismo con ciertos parámetros de tensión, corriente y tamaño de campo, para realizar la medición en cada punto.

Después se procedió a tomar las mediciones de las tasas de dosis de los puntos de interés en las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo con una cámara de ionización modelo Radcal RSM, una vez tomadas las medidas fueron analizadas para comparar los valores obtenidos con los niveles de restricción de dosis establecidos en el Reglamento de Seguridad Radiológica del Ecuador y así se logró validar el blindaje estructural de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo.

#### **3.2. Población de estudio/muestra**

Se tomaron medidas en distintos puntos de interés en un total de siete salas de radiodiagnóstico e intervencionismo del área de Imagenología, Urgencias y Centro Gástrico. El número de equipos monitoreados fueron: tres equipos de rayos x convencional, dos equipos de fluoroscopia, un tomógrafo y un arco en C en el caso del angiógrafo.

### 3.3. Equipos usados y montaje experimental

Los equipos usados para radiodiagnóstico e intervencionismo que se utilizaron en el área de imagenología fueron dos equipos de rayos x convencional (sala 10 y 11, respectivamente), un tomógrafo (sala 5), equipo de fluoroscopia (sala 3), un arco en C (sala 1 de angiografía); en el área de urgencias se midió en un equipo de rayos x convencional; finalmente en el centro gástrico se utilizó un equipo de fluoroscopia.

Para el montaje experimental se reprodujeron los exámenes de rutina en cada sala sobre el fantoma antropomórfico con la técnica radiológica con los valores de kVp y mA más altos usados y el mayor tamaño de campo de los colimadores, en la tabla 4-3, se observa los distintos equipos usados con el montaje del fantoma.

**Tabla 4-3:** Equipos usados en el área de radiodiagnóstico e intervencionismo

Rayos x Convencional (Sala 10)		Rayos x Convencional (Sala 11)	
Marca	Quantum	Marca	Quantum
Modelo	QV-740	Modelo	QV-800
			

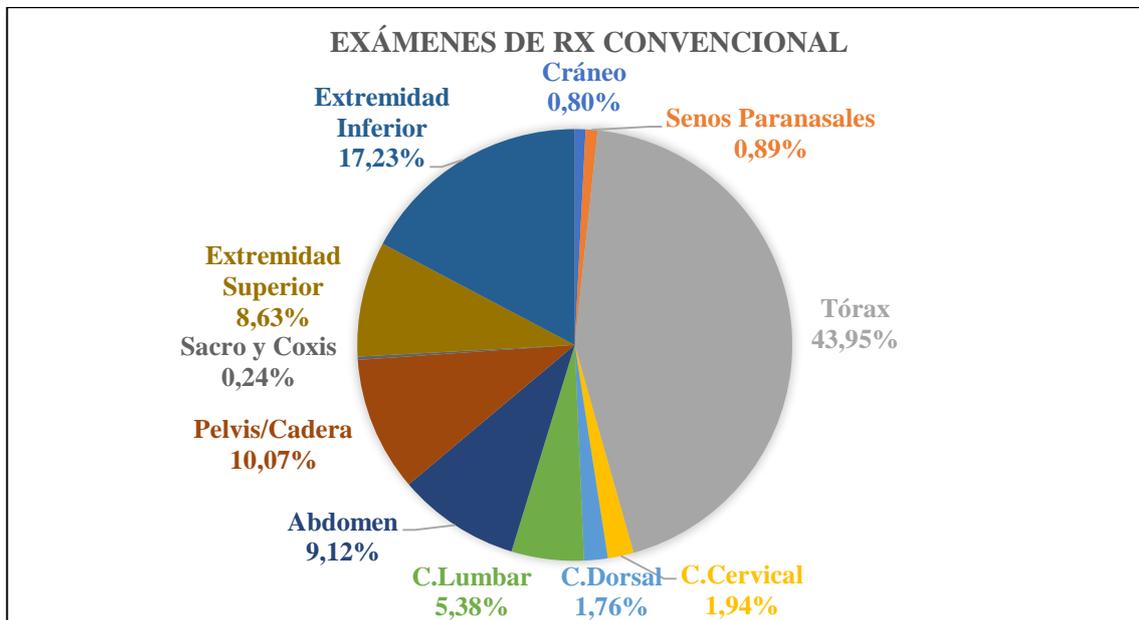
<b>Tomógrafo (Sala 5)</b>		<b>Arco en C (Sala 1)</b>	
Marca	Siemens	Marca	Siemens
Modelo	Somatom Definition Flash	Modelo	Artis Zee
			
<b>Fluoroscopio (Sala 3)</b>		<b>Fluoroscopio (Centro Gástrico)</b>	
Marca	Shimadzu	Marca	Shimadzu
Modelo	Flexavision ZS-5D-F3	Modelo	ZSU-5DLF (1)
			

<b>Rayos x Convencional (Sala de urgencias)</b>		
Marca	Quantum	
Modelo	QT-750	

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

### 3.4. Selección de procedimientos

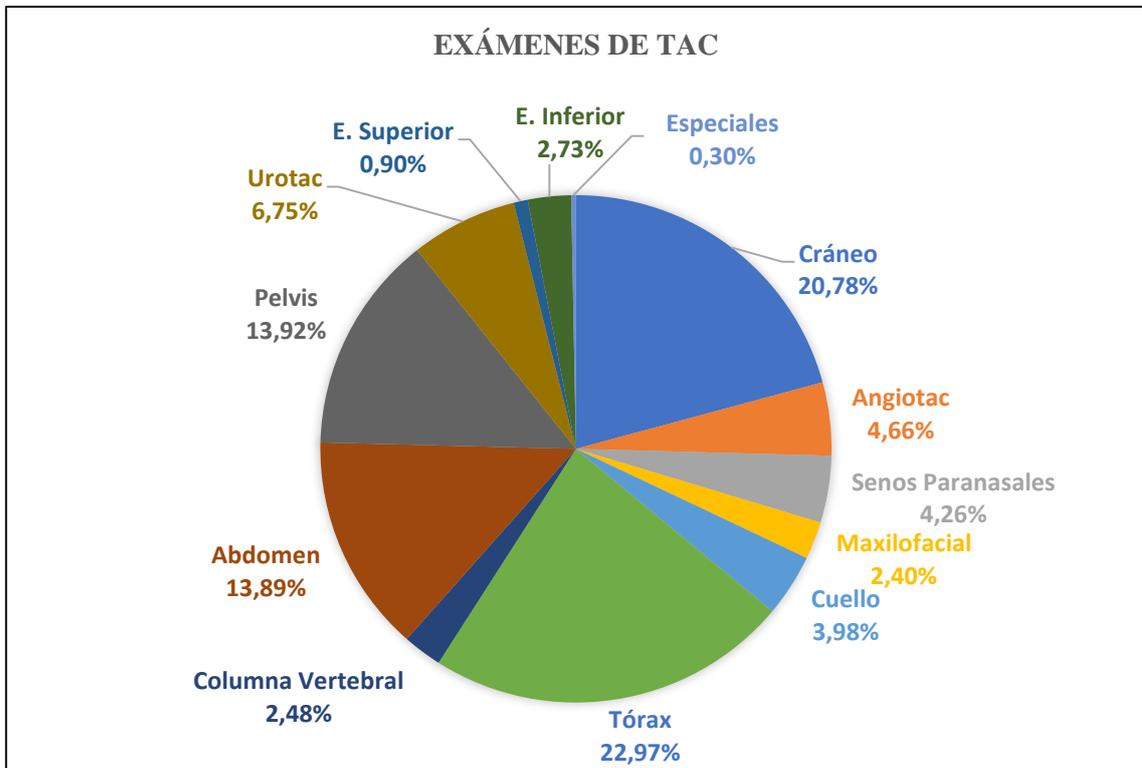
Para la selección de procedimientos que utilizamos en la toma de medidas de tasa de dosis de cada sala, nos basamos en la estadística obtenida desde enero hasta julio del 2019 del HECAM como se presentan en las siguientes gráficas 1-3, 2-3, 3-3 y 4-3.



**Gráfico 1-3:** Porcentaje de exámenes realizados con equipos de rayos x convencional

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

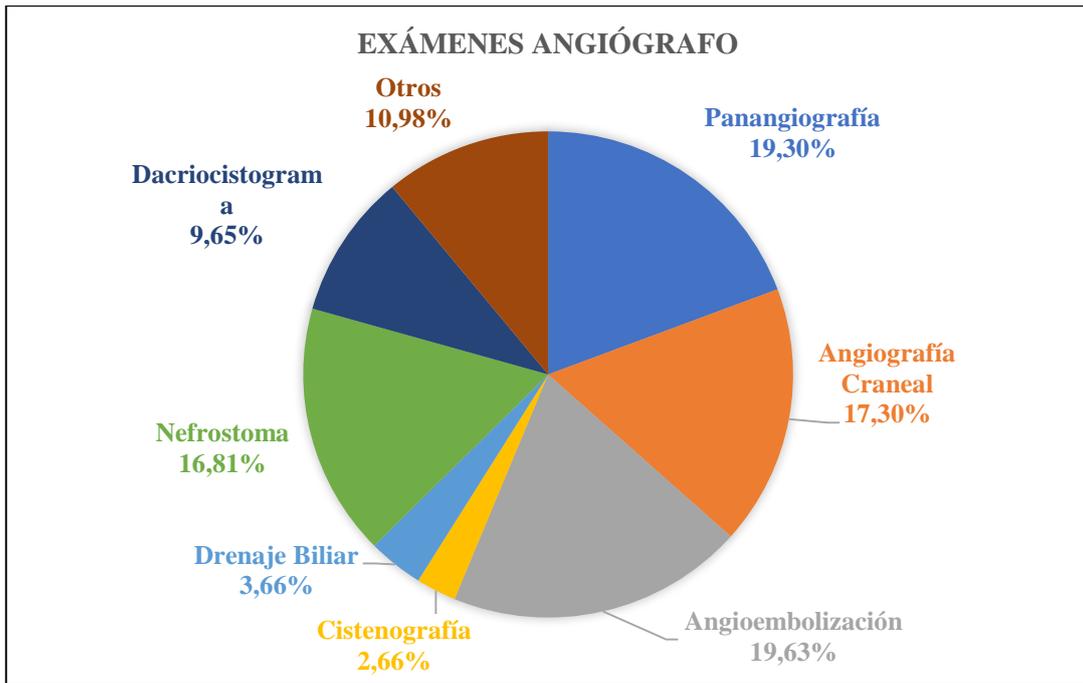
En la gráfica 1-3 se puede observar que, de un total de once exámenes realizados, el examen de tórax es el más común realizado en equipos de rayos x convencional, puesto que representa un 43,95% de la totalidad de exámenes que se realizan en equipos de rayos x convencionales desde el mes de enero hasta julio del 2019.



**Gráfico 2-3:** Porcentaje de exámenes en TAC

**Realizado por:** Vásconez Cristian, 2019

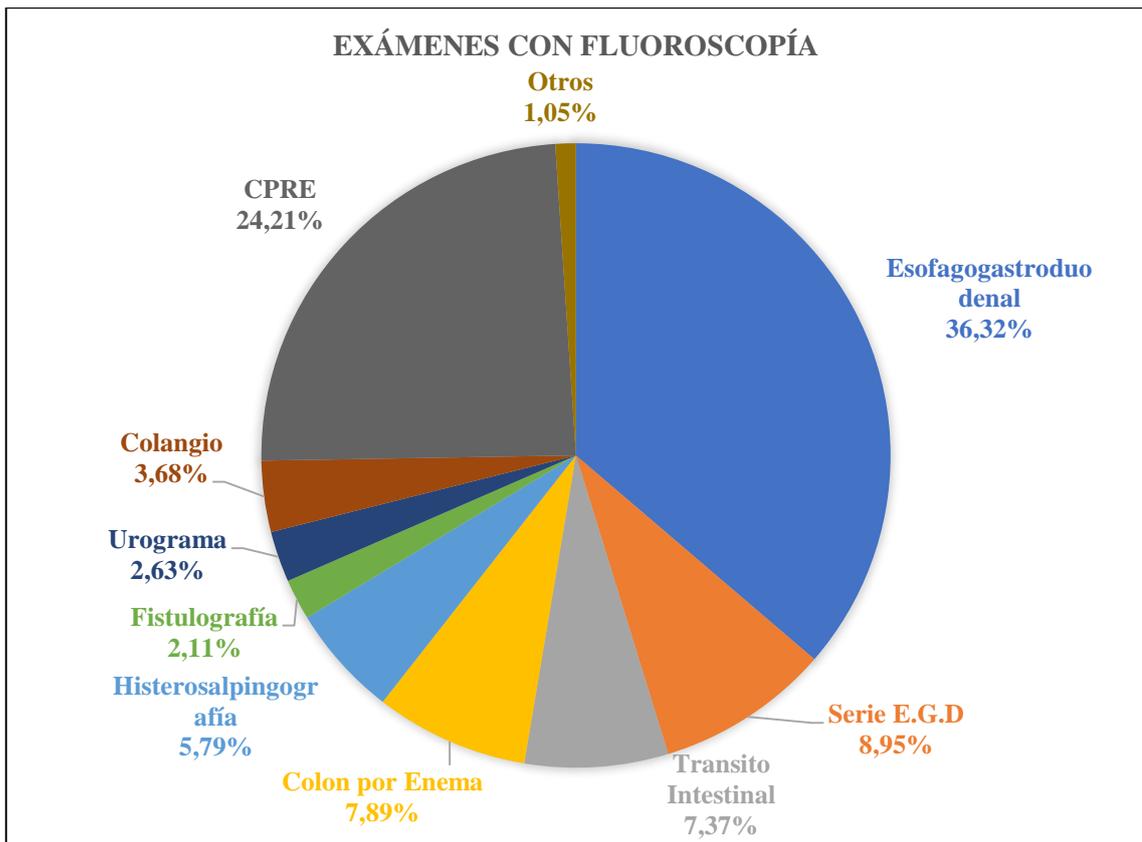
En la gráfica 2-3 se observa que el examen más realizado de tomografía computarizada, es el de tórax con un 22,97%, seguido por el examen de cráneo con un 20,78%, mientras que el menos realizado en tomografía computarizada son los exámenes especiales.



**Gráfico 3-3:** Porcentaje de exámenes realizados en el Angiógrafo

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

En los exámenes realizados en el angiógrafo, podemos apreciar en la gráfica 3-3, que el procedimiento más realizado es la angioembolización, con un porcentaje de 19,63%, seguido por la angiografía craneal con 17,30% y el examen menos realizado es el de drenaje biliar con 3,66%.



**Gráfico 4-3:** Porcentaje de exámenes realizados con equipos de fluoroscopia

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

En los exámenes que se realizan con equipos de fluoroscopia, el estudio más realizado es el esofagogastroduodenal con un 36,32%, seguido del examen de colangiopancreatografía retrógrada endoscópica con un 24,21%.

Una vez analizadas las gráficas 1-3, 2-3, 3-3 y 4-3, el estudio que se seleccionó para realizar la toma de las medidas en las barreras según los equipos son: para el área de imagenología, que cuenta con dos equipos de rayos x convencional (sala 10 y sala 11), el procedimiento de examen de tórax en dos posiciones; para la sala de urgencias, que cuenta con un equipo de rayos x convencional, el procedimiento de examen de tórax igualmente en dos posiciones; para la sala 5 que cuenta con un equipo de tomografía computarizada, se escogió el procedimiento de examen de tórax; en la sala 3 que cuenta con un equipo de fluoroscopia, el procedimiento de examen de esofagogastroduodenal que cuenta con dos procedimientos de fluoroscopia en esófago y abdomen en posición anteroposterior (AP) y oblicua (OB), y con un procedimiento de radiografía de abdomen mediante la toma de cinco placas; en la sala del centro gástrico que cuenta con un equipo de fluoroscopia, el procedimiento de examen de colangiopancreatografía retrógrada endoscópica

(CPRE) que es un examen que cuenta fluoroscopia en el abdomen por cinco disparos y la toma de dos placas radiográficas; en la sala 1 que cuenta con un equipo de angiografía se escogió el procedimiento de examen de angioembolización que se lo realizó en tres posiciones AP, oblicua derecha (OBD) y oblicua izquierda (OBI).

En las salas 10 y 11 de rayos x convencional y en la sala de urgencias de rayos x convencional, se tomaron cinco datos en el mismo punto y se trabajó con la lectura más alta obtenida de ellas, en las sala 5 de tomografía, sala 3 de fluoroscopia, sala 1 de angiografía, centro gástrico de fluoroscopia, se tomaron tres medidas en cada punto, ya que la cantidad de disparos en un mismo punto podía sobrecalentar el tubo y provocar posibles fallos, se trabajó igualmente con la lectura más alta obtenida según recomendación del protocolo IAEA/ARCAL XLIX.

En la tabla 5-3 se muestra el procedimiento escogido y la técnica usada para la toma de medidas de tasa de dosis en los distintos puntos de interés de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo:

**Tabla 5-3:** Procedimiento y técnicas usadas en cada sala.

SALA	Procedimiento	kV	mA	mAs
Sala 10 (RX convencional)	Examen de tórax AP de pie y acostado	90	320	3,2
Sala 11 (RX convencional)	Examen de tórax AP de pie y acostado	100	400	4,8
Sala de urgencias (RX convencional)	Examen de tórax AP de pie y acostado	100	400	3,2
Sala 5 (Tomógrafo)	Examen de tórax AP	120	35	320
Sala 3 (Fluoroscopia)	Esofagogastroduodenal			
	• Fluoroscopia en Esófago y Abdomen AP	100	3,1	15,5
	• Placas Abdomen AP	65	630	25
	• Fluoroscopia en Esófago y Abdomen OB	100	3,1	15,5
Sala 1 (Angiógrafo)	Angioembolización AP, OBD, OBI	71,9	440	100
Centro Gástrico (Fluoroscopia)	CPRE			
	• Fluoroscopia abdomen	121	2.6	26
	• Placas Abdomen AP	75	600	25

Realizado por: Vásquez Cristian, 2019

### 3.5. Instrumento de medición

El instrumento que se utilizó para las lecturas de las medidas de radiación en las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo fue una cámara de ionización gaseosa Radcal RSM de respuesta inmediata calibrada, ver anexo A. Para la reproducción de los procedimientos se usó un fantoma antropomorfo que simula un paciente.

**Tabla 6-3:** Especificaciones técnicas de la cámara de ionización

<b>Radcal Modelo RSM</b>	
Tipo	Cámara de ionización presurizada
Modelo	9DP
Detecta	Rayos x y Gamma mayor a 25 keV; beta mayor a 1 MeV
Volumen de la cámara	230cc a 8 atm
Exactitud	±10%
Tiempo de respuesta	5 segundos a rangos bajos y 2 segundos para los demás rangos
Rango de temperatura	20-50 °C
Alarmas	Para 2 niveles de radiación
Duración de la batería	12 a 30 horas

Fuente: (Zambrano, 2019)

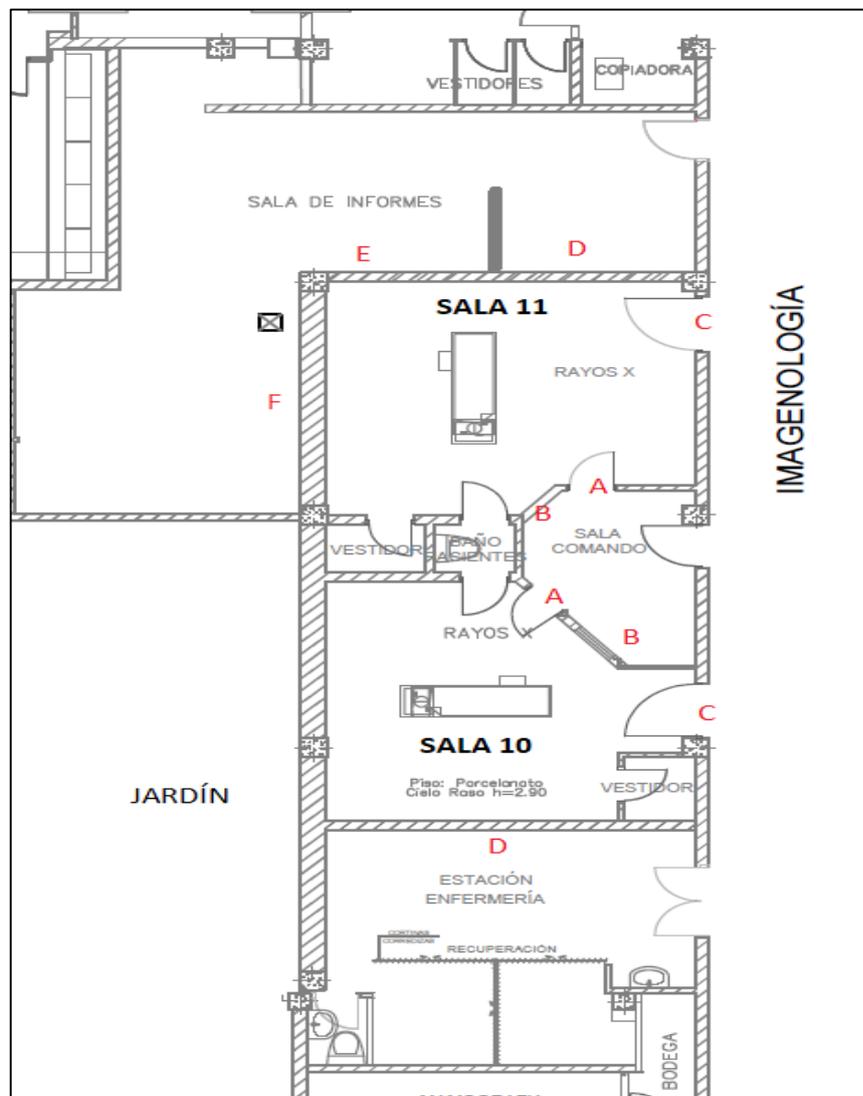
Realizado por: Vásquez Cristian, 2019

### 3.6. Identificación de los puntos de interés

Se identificaron los puntos de interés en base a las zonas donde individuos del público o el POE pueden estar expuestos a radiación, las medidas se las realizaron a 150 cm desde el piso a la altura del corazón y a 30 cm de las estructuras (paredes, puertas, ventanas, etc).

Para la obtención de los puntos de interés de la sala 10 que abarca el equipo de rayos x convencional, se escogieron los siguientes cuatro puntos: punto A-puerta del operador hacia la sala, punto B-posición de la consola del operador, punto C-puerta de entrada y salida de pacientes y punto D-pared colindante con la estación de enfermería (gráfica 5-3).

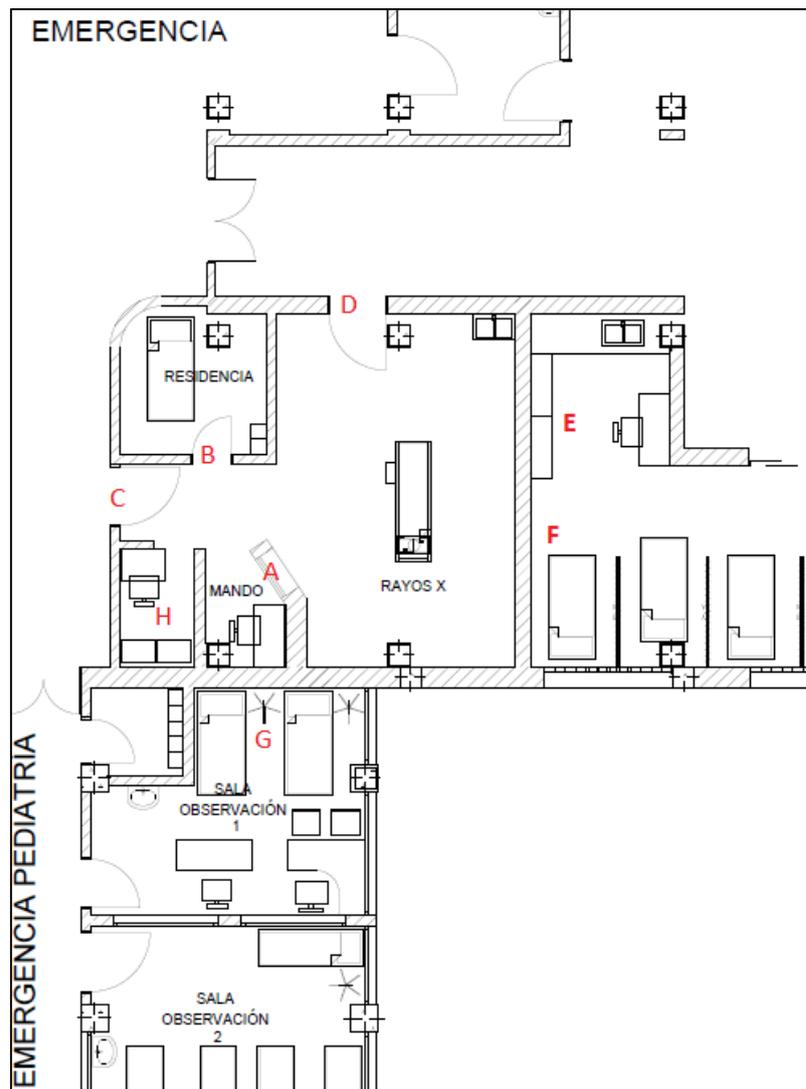
Para la sala 11 de equipos de rayos x convencional, se tomaron seis puntos de interés, los cuales son: punto A-puerta del operador, punto B-ventana de la consola del operador, punto C-puerta de ingreso y salida de pacientes, el punto D, E y F corresponden a la pared colindante con la sala de punciones y biopsias especiales (gráfica 5-3).



**Gráfico 5-3:** Croquis de puntos de interés de la sala 10 y 11 de equipos de rayos x convencional, área de imagenología.

**Realizado por:** Vásquez Cristian, 2019

En la sala de urgencias (gráfica 6-3) de rayos x convencional, se tomaron diez puntos de interés los cuales son: punto A-ventana donde se encuentra el mando del operador, punto B-puerta del área de descanso del operador, punto C-puerta de entrada del personal de la sala de urgencias, punto D-puerta de entrada de pacientes, punto E-pared colindante con puesto administrativo, punto F-pared colindante con zona de recuperación, punto G-pared colindante con sala de observación, punto H-en la zona de impresión de placas, punto I-piso de las sala y punto J-techo de la sala.

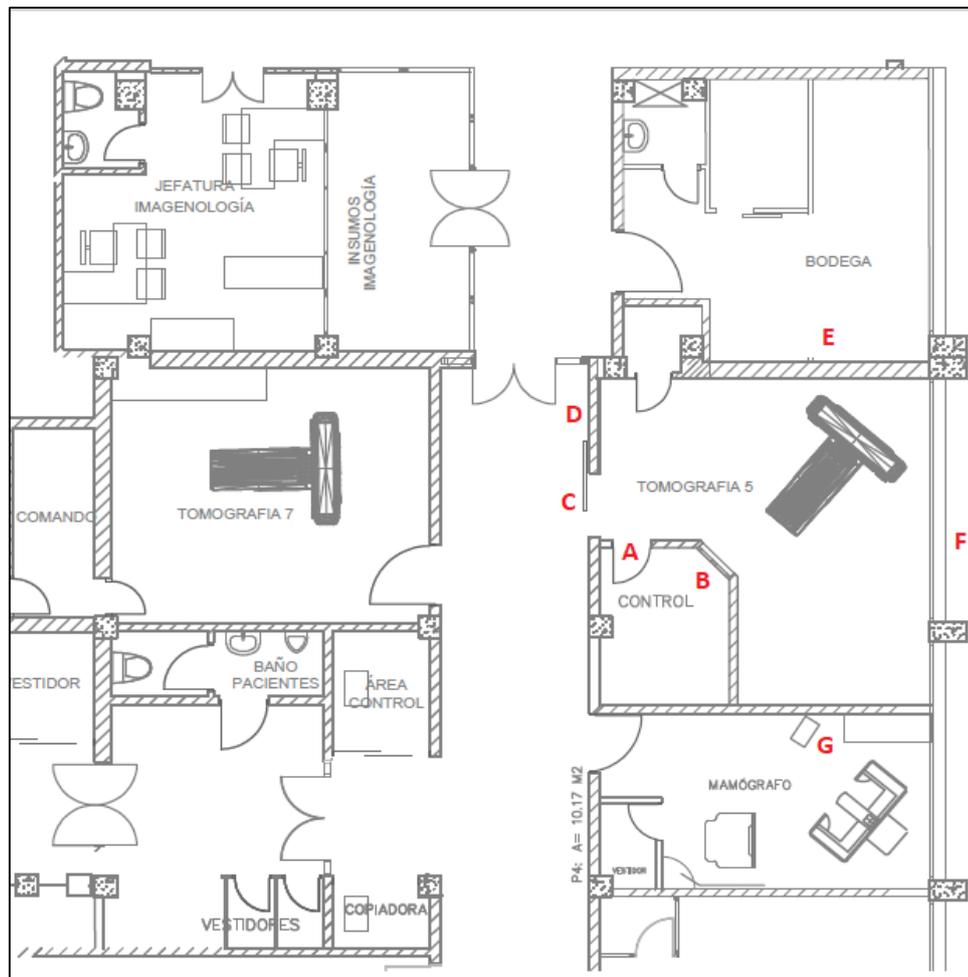


**Gráfico 6-3:** Croquis de puntos de interés de la sala de emergencia.

Realizado por: Vásquez Cristian, 2019

En la sala 5 del tomógrafo (gráfica 7-3), se escogieron siete puntos de interés: punto A-puerta del operador, punto B-posición de la consola del operador, punto C-puerta de ingreso de pacientes,

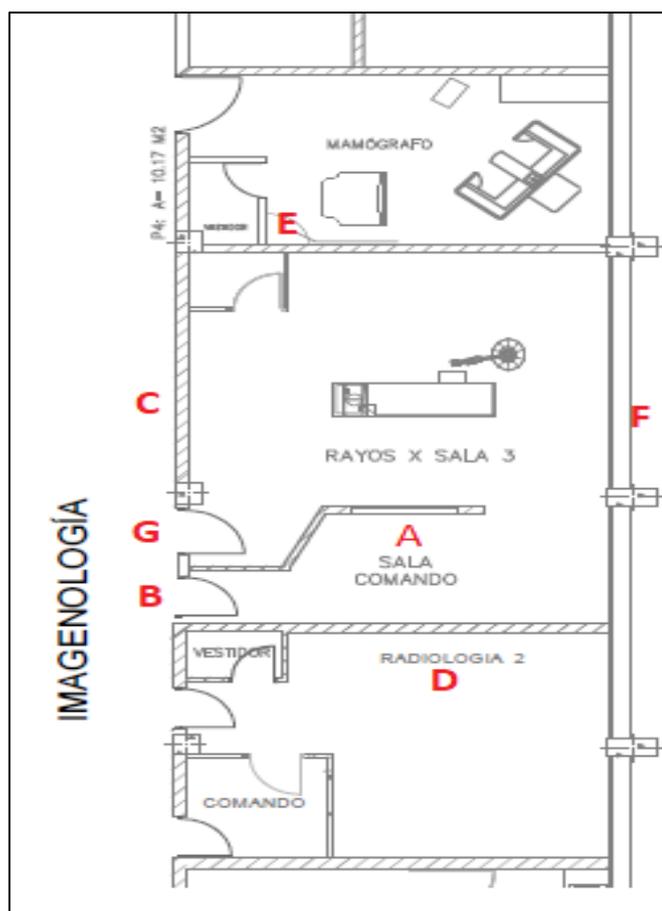
punto D-pasillo del área de imagenología, punto E-pared de bodega colindante, punto F-pasillo exterior y punto G-pared colindante con mamógrafo.



**Gráfico 7-3:** Croquis de puntos de interés de la sala 5 de tomografía computarizada.

Realizado por: Vásconez Cristian 2019

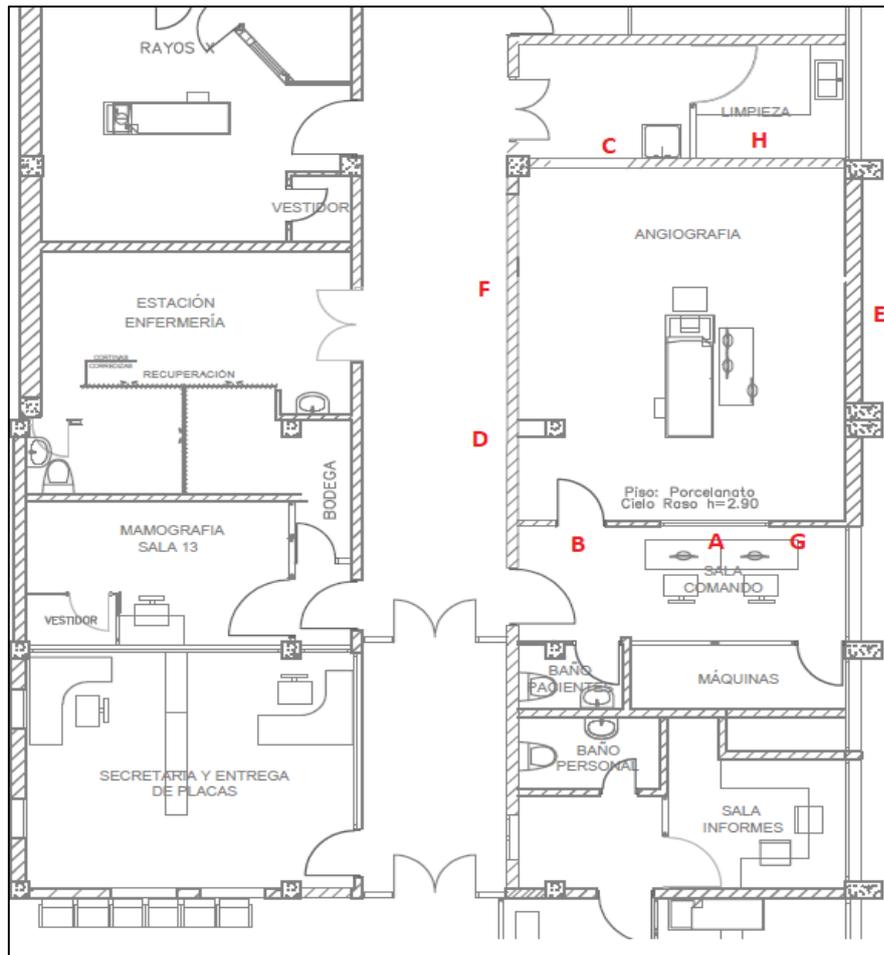
Como se puede observar en la gráfica 8-3, la sala 3 donde existe un equipo de fluoroscopia se tomaron siete puntos de interés: punto A-sala de comando del operador, punto B-puerta de ingreso del personal, punto C-corredor interno del área de imagenología, punto D-pared colindante con sala de radiología, punto E-pared colindante con sala de mamografía, punto F-pasillo exterior de la sala 3 y punto G-puerta de ingreso del paciente.



**Gráfico 8-3:** Croquis de puntos de interés de la sala 3

**Realizado por:** Vásquez Cristian, 2019

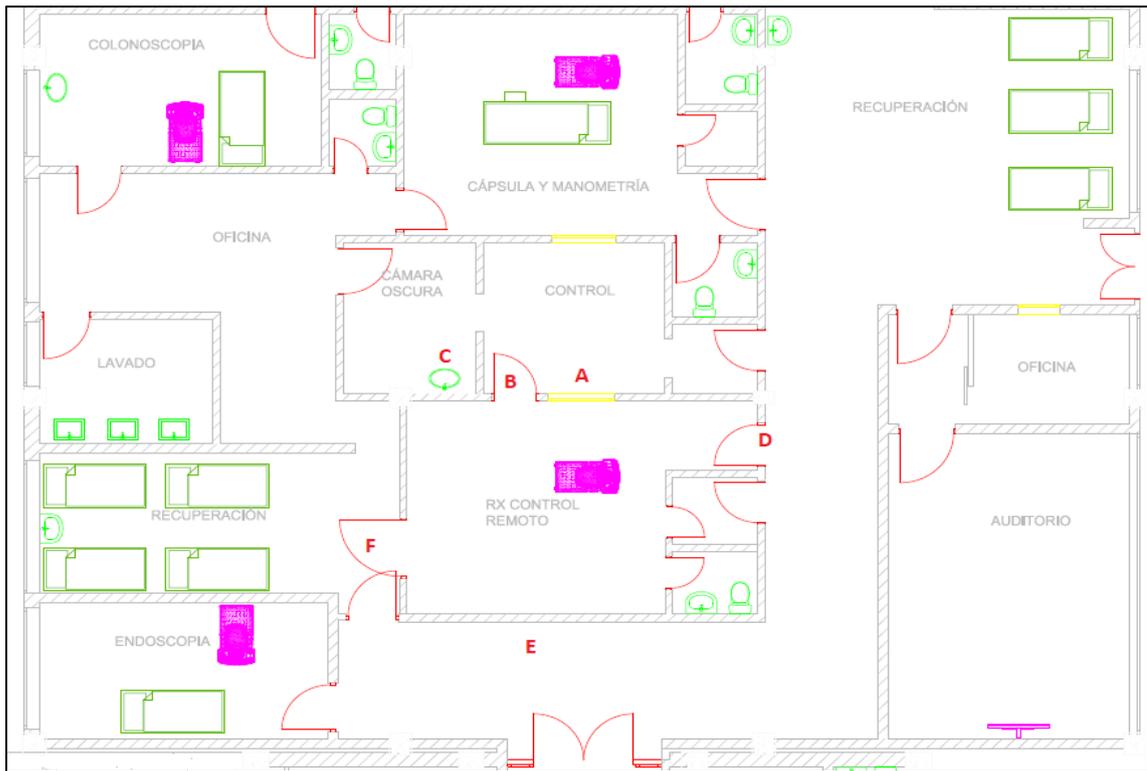
En la sala 1 del angiógrafo (gráfica 9-3) se tomaron ocho puntos de interés para realizar sus medidas: punto A- ventana de la consola del operador, punto B-puerta del operador, punto C- puerta para ingreso a la sala de almacenamiento de prendas e insumos de la sala, punto D-pasillo de circulación interna, punto E-pasillo de circulación externa, punto F-pasillo de circulación interna del área de imagenología, punto G-consola del operador, punto H-cuarto de limpieza colindante con la sala.



**Gráfico 9-3:** Croquis de puntos de interés de la sala 1 de Angiografía.

**Realizado por:** Vásconez Cristian, 2019

Por último, en la sala ubicada en el centro gástrico (gráfico 10-3) que posee un equipo de fluoroscopia, se tomaron siete puntos de interés: punto A-ventana de la consola del operador, punto B-puerta de ingreso del personal, punto C-área de impresión de placas, punto D-puerta de ingreso de pacientes, punto E-área de administración, punto F-puerta de vestidores del personal y punto H-piso.



**Gráfico 10-3:** Croquis de puntos de interés del centro gástrico (fluoroscopia)

Realizado por: Vásquez Cristian, 2019

### 3.7. Parámetros y ecuaciones para el cálculo

#### 3.7.1. Dosis Semanal

Está determinada en dosis semanal y viene dada por la fórmula 11

$$Dosis \left[ \frac{mSv}{semana} \right] = \frac{Lectura \left[ \frac{mSv}{h} \right]}{60 \left[ \frac{min}{h} \right] * I [mA]} * Fc * U * T * W \left[ \frac{mAmin}{semana} \right] \quad (11)$$

Donde la lectura  $L$  es la tasa de dosis medida con la cámara de ionización en mSv/h. Corriente  $I$  es aquella utilizada por el equipo, expresada en mA.  $U$  es el factor de uso,  $T$  representa el factor de ocupación,  $W$  es carga de trabajo semanal y  $Fc$  es el factor de calibración.

### 3.7.2. *Carga de trabajo semanal*

Para esta investigación los cálculos se los realiza en base a la carga de trabajo semanal ( $W$ ) recomendada por el protocolo IAEA/ARCAL XLIX, que es una medida que determina la cantidad de radiación emitida por un equipo que utilice radiación ionizante en una semana. Viene determinado como el producto de los estudios realizados por semana  $N_r$  por  $It$  que es el mAs promedio utilizado por radiografía (ec.12).

$$W \left[ \frac{mAs}{semana} \right] = \frac{N_r * It [mAs]}{60 \left[ \frac{s}{min} \right]} \quad (12)$$

### 3.7.3. *Factor de uso*

Es la fracción de carga de trabajo durante el cual el haz útil de radiación está dirigido hacia una barrera ya sea primaria o secundaria.

El factor de uso que se utiliza para barreras primarias es:

- Suelo             $U=1$
- Paredes         $U=1/4$
- Techo           $U= 1$

Para barreras secundarias se suele tomar el valor de 1.

### 3.7.4. *Factor de ocupación*

Es un valor que considera el tiempo de permanencia de las personas en una zona en particular durante el período de operación del equipo o la instalación (Instituto de Salud Pública de Chile, 2013, p. 7). Para la presente investigación, según corresponda el punto de interés, se utilizó el factor de ocupación en base al protocolo ARCAL XLIX, mostrado en la tabla 7-3.

**Tabla 7-3:** Factores de ocupación

Ocupación	Local	T
Integral	Consultorio, recepción	1
Parcial	Espera, vestidor, Circulación interna	1/4
Eventual	Circulación externa, baños, escaleras	1/16
Esporádico	Jardines cercanos, casa de máquinas	1/32

Fuente: Protocolo ARCAL XLIX

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

### 3.7.5. Factor de calibración del detector

El factor de calibración del instrumento es un valor al que obligatoriamente, debe ser multiplicado a las mediciones realizadas con el equipo para poder determinar el valor real, el factor de calibración de la cámara de ionización modelo Radcal modelo RSM es de 1.10 (Ver anexo A).

### 3.8. Niveles de restricción de dosis

Los valores de dosis obtenidos se compararon con los niveles de restricción de dosis establecidos en el ARCAL XX (Tabla 8-2) para áreas controladas y áreas libres y con los valores del Reglamento de Seguridad Radiológica Nacional (Tabla 3-2).

**Tabla 8-3:** Niveles de Restricción de Dosis (ARCAL XX).

Área Controlada	0.10 mSv/sem ó 5.0 mSv/año
Área Libre o Supervisada	0,01 mSv/sem ó 0.5 mSv/año

Fuente: Protocolo ARCAL XLIX

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE RESULTADOS

En este apartado se presentan las tablas y gráficas con los valores obtenidos de la tasa de dosis equivalente, tanto para las dosis semanales y anuales calculadas con la carga de trabajo (W) sugerida en el protocolo ARCAL XLIX. Las medidas obtenidas fueron transformadas de microsievverts por hora ( $\mu\text{Sv/h}$ ) a milisieverts por hora ( $\text{mSv/h}$ ) para facilitar el cálculo.

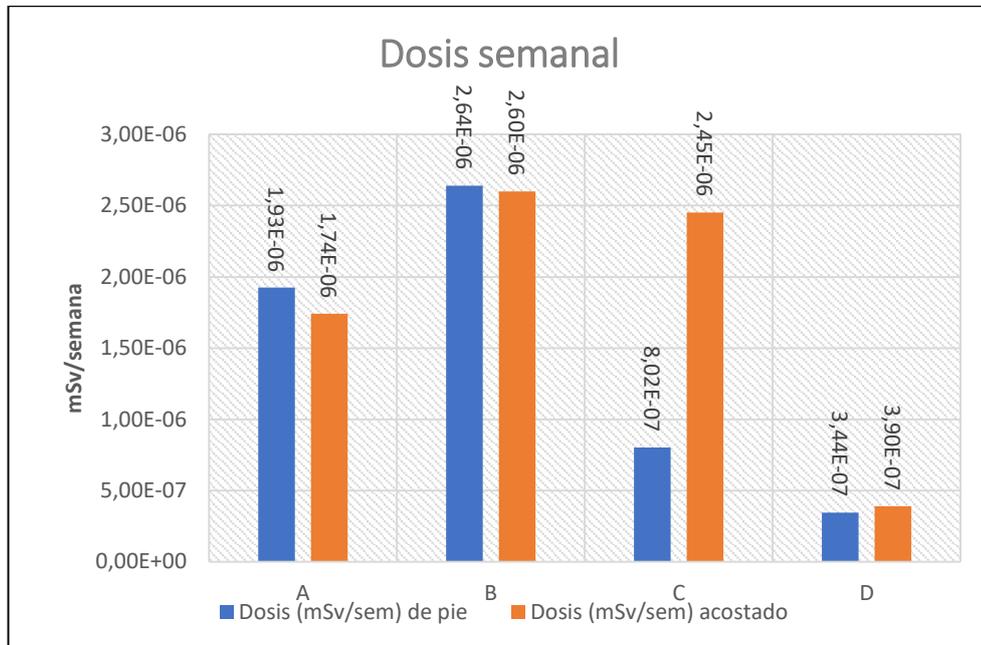
#### 4.1. Análisis de la tasa de dosis de la sala 10 del área de imagenología

Para las medidas de tasa de dosis en la sala 10 del área de imagenología que cuenta con un equipo de rayos x convencional, se utilizó una tensión de 90 kVp, una corriente de 320 mA y un miliamperaje por segundo de 3,2 mAs. La toma de datos se lo hizo en el procedimiento de tórax AP, en posición de pie y acostado en cuatro puntos de interés, como se describe en la tabla 9-4.

**Tabla 9-4:** Dosis semanales y anual33es calculadas para la sala 10, exámen de tórax de pie y acostado.

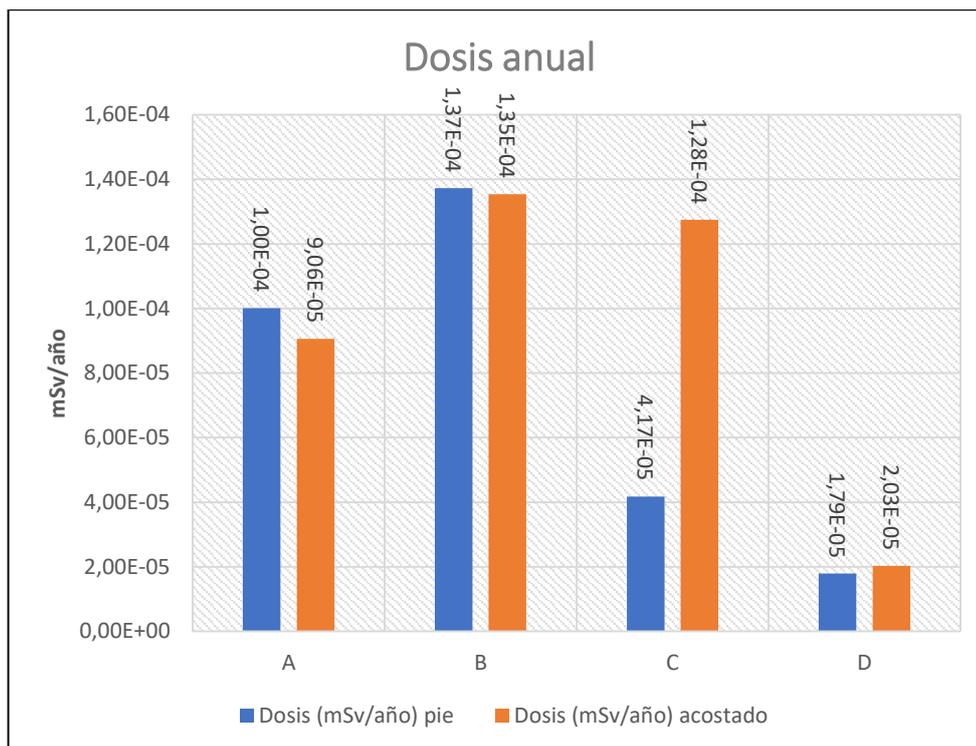
Punto de medida	Descripción	Clasificación de Zona	Posición: de pie		Posición: acostado		Validación de Blindaje Estructural
			Dosis (mSv/sem)	Dosis (mSv/año)	Dosis (mSv/sem)	Dosis (mSv/año)	
A	Puerta del operador	Controlada	1,93E-06	1,00E-04	1,74E-06	9,06E-05	✓
B	Ventana del mando del operador	Controlada	2,64E-06	1,37E-04	2,60E-06	1,35E-04	✓
C	Puerta de entrada de pacientes	Supervisada	8,02E-07	4,17E-05	2,45E-06	1,28E-04	✓
D	Pared de estación de enfermería	Supervisada	3,44E-07	1,79E-05	3,90E-07	2,03E-05	✓

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 11-4:** Dosis semanales, en los puntos de interés de la sala 10, examen de tórax posición de pie y acostado.

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 12-4:** Dosis anuales, en los puntos de interés de la sala 10, examen de tórax posición de pie y acostado.

**Realizado por:** Vásconez Cristian, 2019

Se puede observar en el gráfico 11-4 y gráfico 12-4 las dosis semanal y anual respectivamente, observando que en el punto A ubicado en la puerta del operador presenta niveles más altos de dosis en el examen de tórax en la posición de pie que acostado con un valor de 0,0001 mSv/año, representando el 0,002% del nivel de restricción de dosis anual, la dosis se encuentra bajo los niveles de restricción de dosis establecidos para un área controlada; la mayor dosis presentada en la sala 10 corresponde al punto B referente a la ventana del mando del operador, en un examen de tórax de pie, con una dosis de 0,000137 mSv/año, que equivale al 0,003% de los niveles de restricción de dosis para un área libre o supervisada, estando dentro del límite permitido.

#### 4.2. Análisis de la tasa de dosis de la sala 11

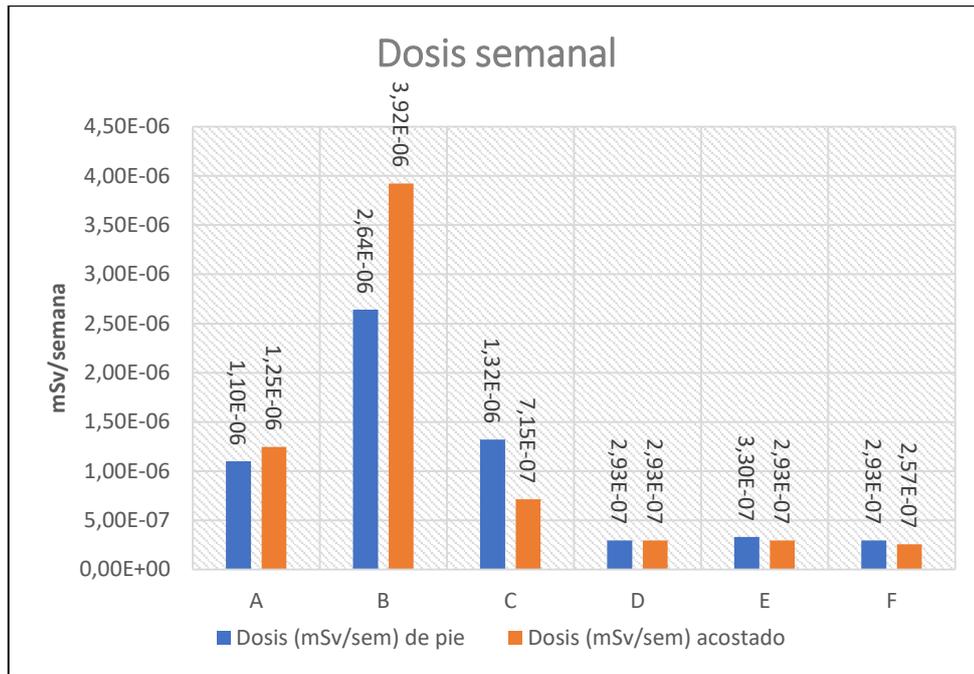
Para determinar las medidas de la tasa de dosis en las estructuras de la sala 11 que cuenta con un equipo de rayos x convencional, se utilizó una tensión de 100 kVp, una corriente de 400 mA y un miliamperaje por segundo de 4,8 mAs. La toma de valores se lo hizo sobre el fantoma en el

procedimiento de tórax AP, en posición de pie y acostado, considerando seis puntos de interés como se muestra en la tabla 10-4.

**Tabla 10-4:** Dosis semanales y anuales calculadas para la sala 11, examen de tórax de pie y acostado.

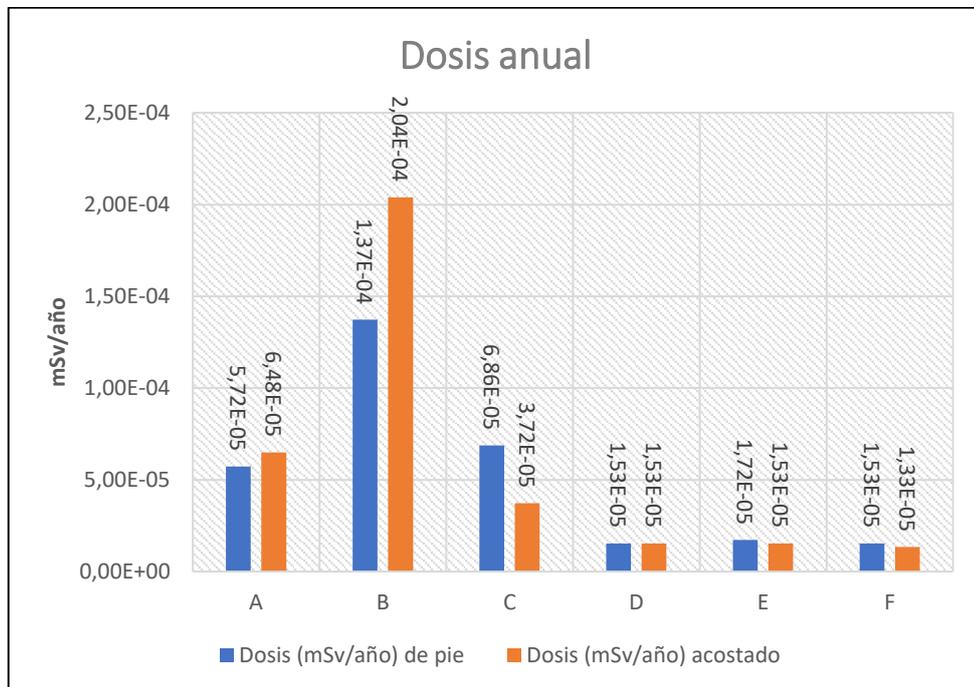
Punto de medida	Descripción	Clasificación de Zona	Posición: de pie		Posición: acostado		Validación de Blindaje Estructural
			Dosis (mSv/sem)	Dosis (mSv/año)	Dosis (mSv/sem)	Dosis (mSv/año)	
A	Puerta del operador	Controlada	1,10E-06	5,72E-05	1,25E-06	6,48E-05	✓
B	Ventana del mando del operador	Controlada	2,64E-06	1,37E-04	3,92E-06	2,04E-04	✓
C	Puerta de entrada de pacientes	Supervisada	1,32E-06	6,86E-05	7,15E-07	3,72E-05	✓
D	Pared de sala de punciones	Supervisada	2,93E-07	1,53E-05	2,93E-07	1,53E-05	✓
E	Pared sala de punciones	Supervisada	3,30E-07	1,72E-05	2,93E-07	1,53E-05	✓
F	Pared sala de punciones	Supervisada	2,93E-07	1,53E-05	2,57E-07	1,33E-05	✓

Realizado por: Vásquez Cristian, 2019



**Gráfico 13-4:** Dosis semanales, en los puntos de interés de la sala 11, examen de tórax posición de pie y acostado.

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 14-4:** Dosis anuales, en los puntos de interés de la sala 11, examen de tórax posición de pie y acostado.

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

En las gráficas 13-4 y 14-4 se observa las tasa de dosis semanal y anual de la sala 11 y se puede apreciar que la mayor dosis se presenta en el punto B, correspondiente a la ventana del mando del operador en un examen de tórax acostado. La dosis en este punto es de 0,000204 mSv/año, representando el 0,004% del nivel permitido de dosis anual para una zona controlada, por lo cual no sobrepasa el nivel de restricción de dosis. Los puntos A y B donde se encuentra ubicado el POE presentan dosis más bajas en un examen de tórax de pie que en uno de tórax acostado, con valores de 0,0000572 y 0,000137 mSv/año respectivamente.

#### **4.3. Análisis de la tasa de dosis de la sala de urgencias**

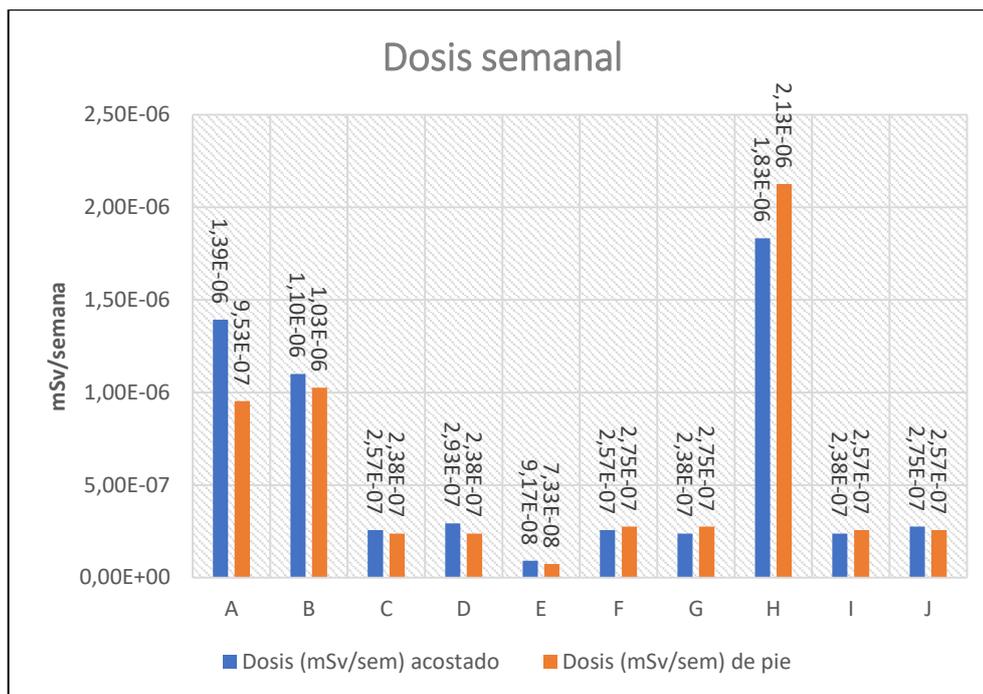
Las medidas de tasa de dosis de la sala de urgencias que cuenta con un equipo de rayos x convencional, se obtuvieron mediante una técnica de 100 kVp de tensión, corriente de 400 mA y 4,8 mAs, en un procedimiento de tórax AP sobre el fantoma en las posiciones acostado y de pie. Las medidas se las realizó en diez puntos de interés de la sala como muestra la tabla 11-4.

**Tabla 11-4:** Dosis semanales y anuales calculadas de la sala de urgencias en procedimiento de tórax AP acostado y de pie.

Punto de medida	Descripción	Clasificación de Zona	Posición: acostado		Posición: de pie		Validación de Blindaje Estructural
			Dosis (mSv/sem)	Dosis (mSv/año)	Dosis (mSv/sem)	Dosis (mSv/año)	
<b>A</b>	Ventana del mando del operador	Controlada	1,39E-06	7,25E-05	9,53E-07	4,96E-05	✓
<b>B</b>	Puerta de la residencia del operador	Controlada	1,10E-06	5,72E-05	1,03E-06	5,34E-05	✓
<b>C</b>	Puerta de entrada del personal	Supervisada	2,57E-07	1,33E-05	2,38E-07	1,24E-05	✓
<b>D</b>	Puerta de entrada de pacientes	Supervisada	2,93E-07	1,53E-05	2,38E-07	1,24E-05	✓
<b>E</b>	Pared colindante con puesto administrativo	Supervisada	9,17E-08	4,77E-06	7,33E-08	3,81E-06	✓

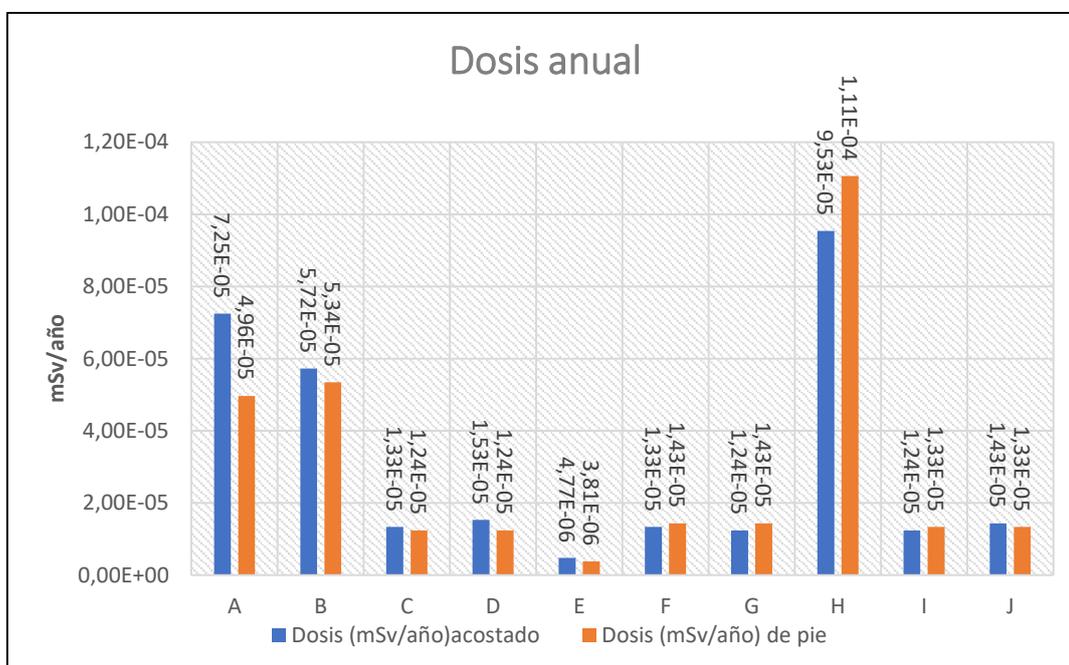
<b>F</b>	Pared colindante con zona de recuperación	Supervisada	2,57E-07	1,33E-05	2,75E-07	1,43E-05	✓
<b>G</b>	Pared colindante con sala de observación	Supervisada	2,38E-07	1,24E-05	2,75E-07	1,43E-05	✓
<b>H</b>	Zona de impresión de placas	Controlada	1,83E-06	9,53E-05	2,13E-06	1,11E-04	✓
<b>I</b>	Piso	Supervisada	2,38E-07	1,24E-05	2,57E-07	1,33E-05	✓
<b>J</b>	Techo	Supervisada	2,75E-07	1,43E-05	2,57E-07	1,33E-05	✓

Realizado por: Vásquez Cristian, 20



**Gráfico 15-4:** Dosis semanales, en los puntos de interés de la sala de emergencias, examen de tórax posición de pie y acostado.

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 16-4:** Dosis anuales, en los puntos de interés de la sala de emergencias, examen de tórax posición de pie y acostado.

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

En las gráficas 15-4 y 16-4 se representa la dosis semanal y anual y se aprecia que las dosis más altas para la sala de urgencias, tanto con exámenes de tórax en posición para el fantoma acostado y de pie, se presentan en el punto H donde se ubica el área de impresión de las placas radiográficas. La dosis en este punto en el examen de tórax de pie es de 0,00011 mSv/año, lo que representa el 0,002%, de los niveles de restricción para una zona controlada; los puntos A y B donde se ubica la consola del operador y la puerta de la residencia del operador presentan valores de dosis mayores para exámenes de tórax acostado que en posición de pie.

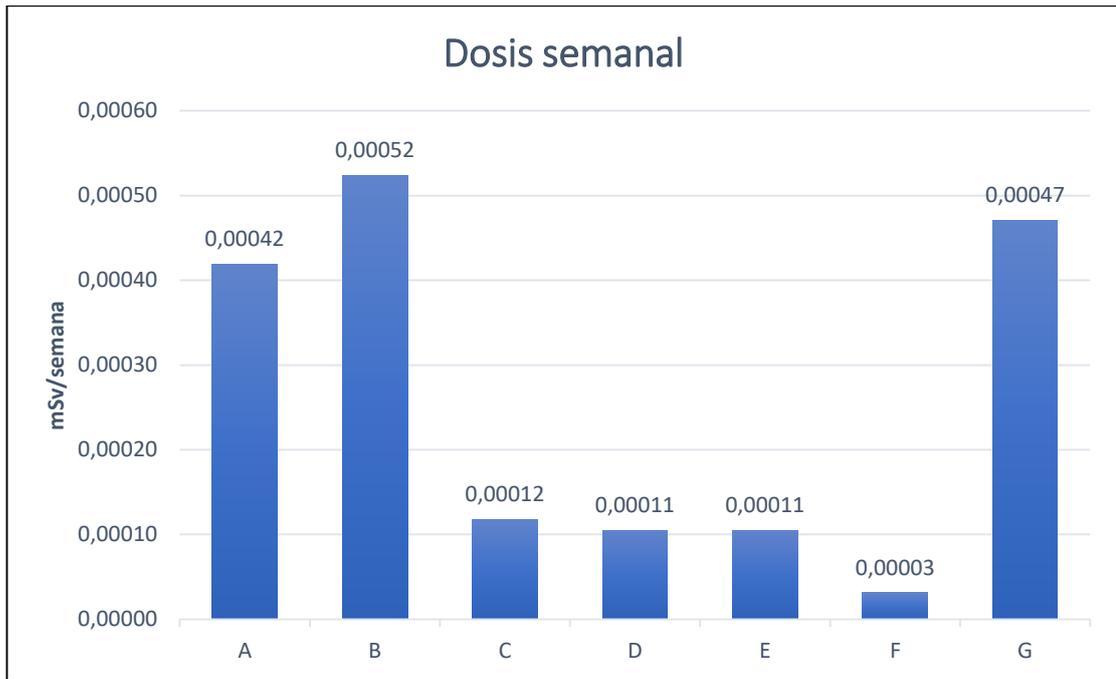
#### **4.4. Análisis de las tasas de dosis de la sala 5**

Para las medidas obtenidas en las estructuras de la sala 5 que posee un equipo de tomografía computarizada, se aplicaron los siguientes parámetros de operación, 120 kVp de tensión, corriente de 35 mA y 320 mAs. El examen utilizado para la obtención de los niveles de radiación fue un barrido de tórax sobre el fantoma en siete puntos de interés como muestra la tabla 12-4.

**Tabla 12-4:** Dosis semanales y anuales calculadas de la sala 1 en tomografía de tórax.

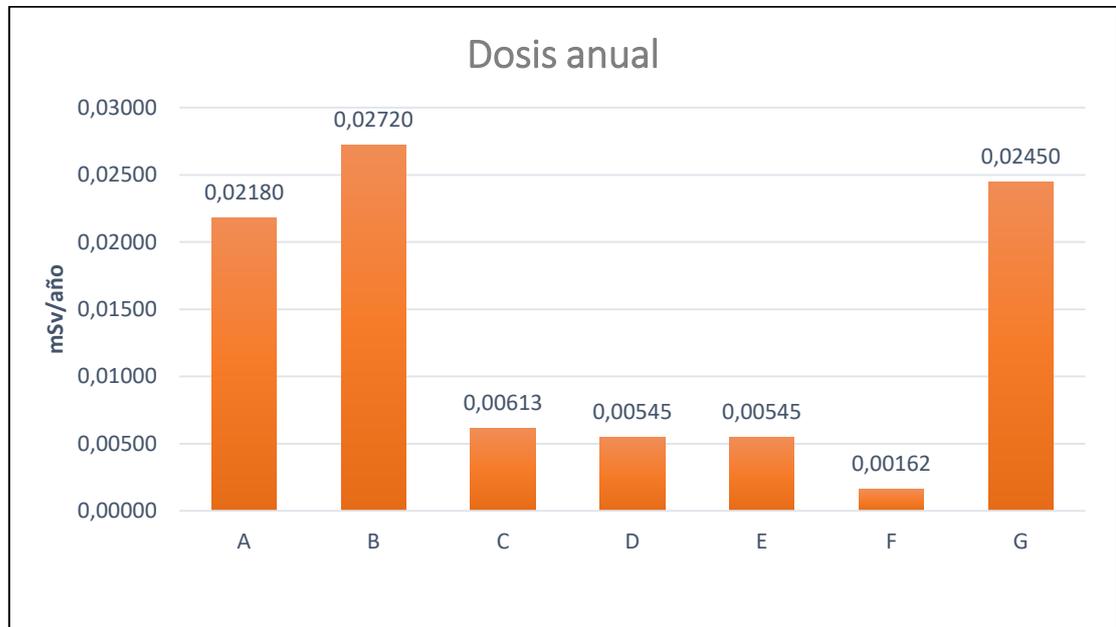
<b>Punto de medida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Clasificación de Zona</b>	<b>Dosis (mSv/sem)</b>	<b>Dosis (mSv/año)</b>	<b>Validación de Blindaje Estructural</b>
<b>A</b>	Puerta de ingreso del personal	Controlada	0,00042	0,02180	✓
<b>B</b>	Posición de la consola del operador	Controlada	0,00052	0,02720	✓
<b>C</b>	Puerta de ingreso de pacientes	Supervisada	0,00012	0,00613	✓
<b>D</b>	Pasillo del área de imagenología	Supervisada	0,00011	0,00545	✓
<b>E</b>	Pared colindante con la bodega	Supervisada	0,00011	0,00545	✓
<b>F</b>	Pasillo exterior	Supervisada	0,00003	0,00162	✓
<b>G</b>	Pared colindante con mamógrafo	Controlada	0,00047	0,02450	✓

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 17-4:** Dosis semanales, en los puntos de interés de la sala 5, tomografía de tórax.

**Realizado por:** Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 18-4:** Dosis anuales, en los puntos de interés de la sala 5, tomografía de tórax.

**Realizado por:** Vásconez Cristian, 2019

Podemos apreciar en las gráficas 17-4 y 18-4 de la sala 5 de tomografía computarizada, que la dosis anual más alta se presenta en el punto B y A de la ventana del operador y de la puerta de ingreso del personal respectivamente, con dosis de 0,0272 y 0,0218 mSv/año correspondientemente, representando el 0,5% y 0,4% del nivel de restricción de dosis permitido para áreas controladas; en el punto G que corresponde a la pared colindante con el mamógrafo se observa un valor alto de dosis de 0,0245 mSv/año que igualmente se encuentra dentro de los niveles de restricción de dosis.

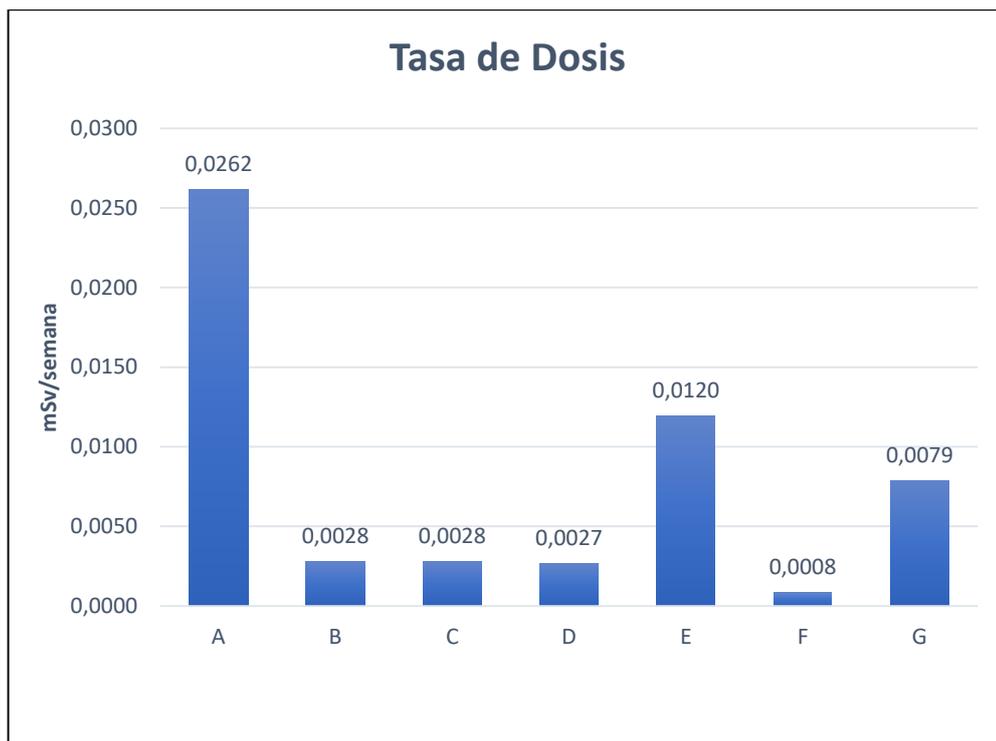
#### **4.5. Análisis de las tasas de dosis de la sala 3**

Las mediciones de radiación de la sala 3 que cuenta con un equipo de fluoroscopia se lo hizo mediante un examen de serie esofagogastroduodenal, que consiste en tres procedimientos que son: fluoroscopia en el área de esófago y abdomen en posición AP, fluoroscopia en el área de esófago y abdomen en posición OB y la toma de cinco placas radiográficas en zona de abdomen, para la representación en la tabla de dosis semanal y anual se ha tomado la suma total de los valores obtenidos en las fluoroscopias y placas radiográficas. Este examen se lo realizó en el fantoma con una tensión de 100 kVp, una corriente de 3,1 mA y 15,5 mAs para las fluoroscopias y para las placas radiográficas se utilizó una tensión de 65 kVp, con una corriente de 630 mA y 25 mAs. Los puntos de interés tomados en la sala y su alrededor fueron siete como se describe en la tabla 13-4.

**Tabla 13-4:** Dosis semanales y anuales calculadas de la sala 3 en examen de serie esofagogastroduodenal.

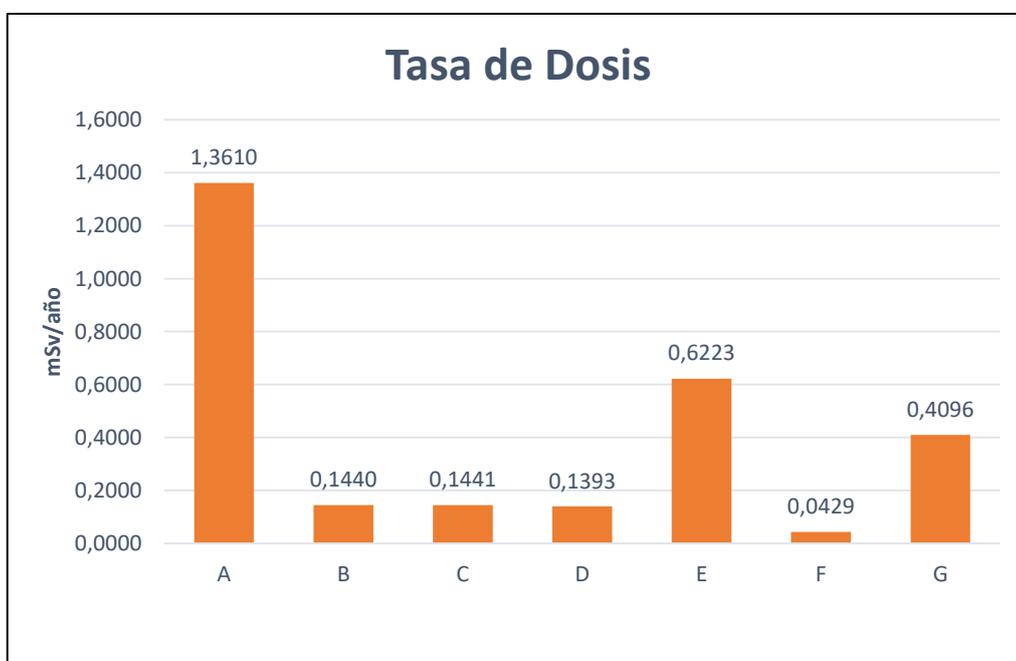
<b>Punto de medida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Clasificación de Zona</b>	<b>Dosis (mSv/sem)</b>	<b>Dosis (mSv/año)</b>	<b>Validación de Blindaje Estructural</b>
<b>A</b>	Sala de comando del operador	Controlada	0,0262	1,3610	✓
<b>B</b>	Puerta de ingreso del personal	Supervisada	0,0028	0,1440	✓
<b>C</b>	Corredor interno del área de imagenología	Supervisada	0,0028	0,1441	✓
<b>D</b>	Pared colindante con sala de radiología	Supervisada	0,0027	0,1393	✓
<b>E</b>	Pared colindante con sala de mamografía	Controlada	0,0120	0,6223	✓
<b>F</b>	Pasillo exterior	Supervisada	0,0008	0,0429	✓
<b>G</b>	Puerta de entrada de pacientes	Supervisada	0,0079	0,4096	✓

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 19-4:** Dosis semanales, en los puntos de interés de la sala 3, en examen de serie esofagogastroduodenal

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 20-4:** Dosis anuales en los puntos de interés de la sala 3, en examen de serie esofagogastroduodenal

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

En las gráficas 19-4 y 20-4 nos indica que en el punto de interés A referente a la consola del operador es aquel que presenta la mayor dosis de la sala 3 para POE, con una dosis anual de 1,3610 mSv/año, seguido del punto E referente a la pared colindante con el mamógrafo, con una dosis de 0,6223 mSv/año, dichos puntos de interés representan el 27,22% y 12,44% respectivamente, de los niveles de restricción de dosis anual para una zona controlada, cumpliendo con la validación de blindaje; el punto de interés que presenta una menor dosis es el punto F correspondiente al pasillo exterior con una dosis anual de 0,0429 mSv/año.

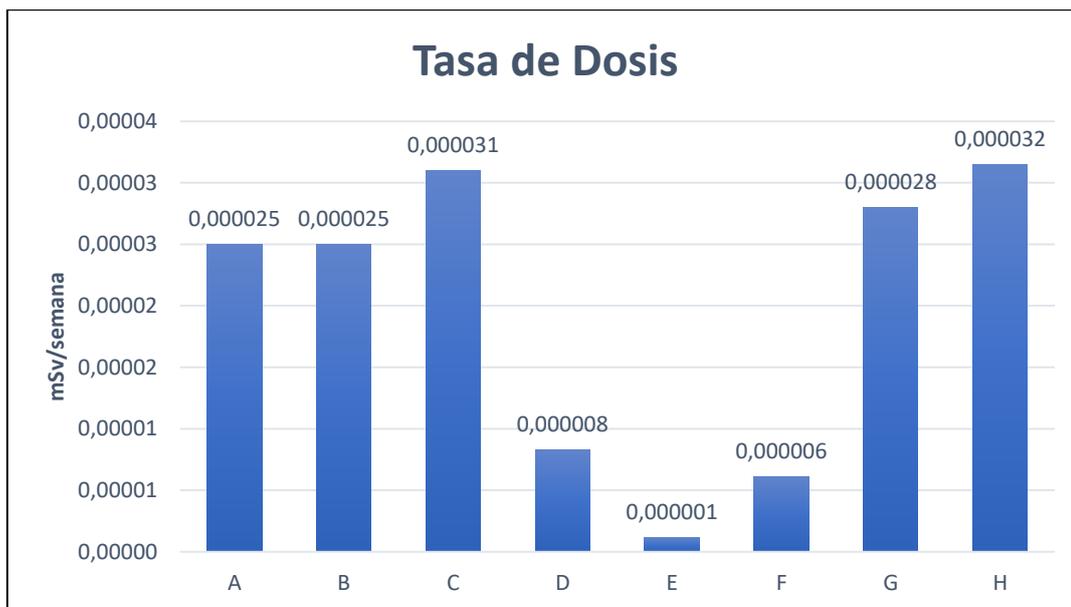
#### **4.6. Análisis de las tasas de dosis de la sala 1 de Angiografía**

En la sala 1 donde se encuentra el angiógrafo, la adquisición de medidas se lo hizo simulando sobre el fantoma un examen de angioembolización, el cual se lo hizo con una tensión de 71,9 kVp, una corriente de 440 mA y 100 mAs. El examen se lo hizo en 3 posiciones, anteroposterior AP, oblicua izquierda OI y oblicua derecha OD, en un total de ocho puntos de interés. El examen se lo realiza en tres posiciones, anteroposterior AP, oblicua izquierda OI y oblicua derecha OD, en un total de ocho puntos de interés. Para la representación de los valores de dosis semanal y dosis anual de la sala, se ha tomado la suma de los valores dados en las tres posiciones como se describe en la tabla 14-4.

**Tabla 14-4:** Dosis semanales y anuales calculadas de la sala 1 de angiografía en examen de angioembolización.

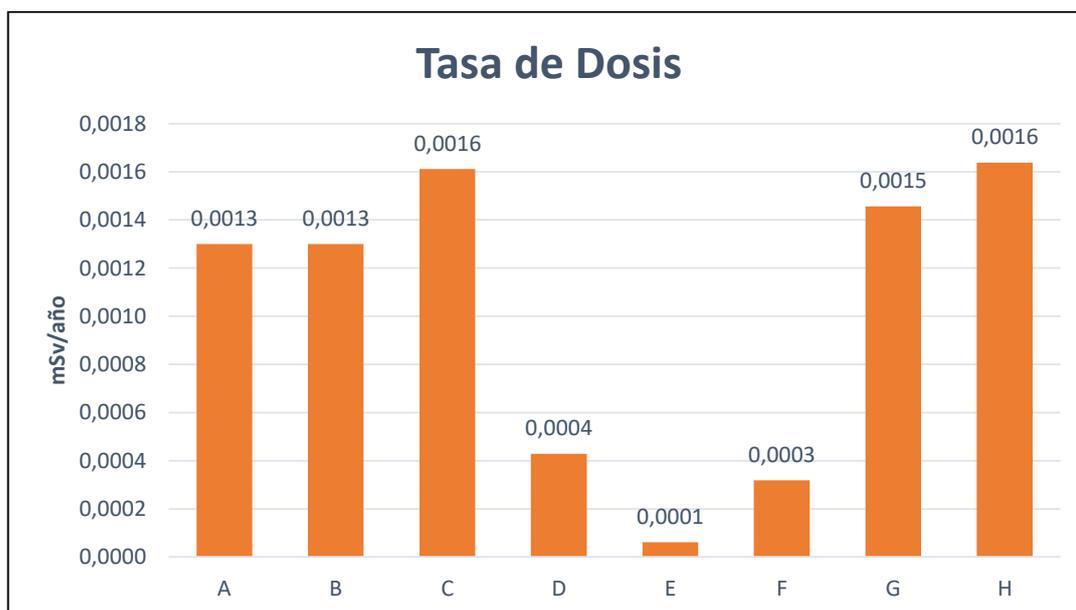
<b>Punto de medida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Clasificación de Zona</b>	<b>Dosis (mSv/sem)</b>	<b>Dosis (mSv/año)</b>	<b>Validación de Blindaje Estructural</b>
<b>A</b>	Ventana de la consola del operador	Controlada	0,00003	0,00130	✓
<b>B</b>	Puerta de ingreso del operador	Controlada	0,00003	0,00130	✓
<b>C</b>	Puerta de bodega	Supervisada	0,00003	0,00161	✓
<b>D</b>	Pasillo de circulación interna	Supervisada	0,00001	0,00043	✓
<b>E</b>	Pasillo de circulación externa	Supervisada	0,000001	0,00006	✓
<b>F</b>	Pasillo de circulación interna	Supervisada	0,00001	0,00032	✓
<b>G</b>	Consola del operador	Controlada	0,00003	0,00146	✓
<b>H</b>	Cuarto de limpieza	Supervisada	0,00003	0,00164	✓

Realizado por: Váscquez Cristian, 2019



**Gráfico 21-4:** Dosis semanal de los puntos de interés de la sala 1 en angiografía en examen de angioembolización

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 22-4:** Dosis anual de los puntos de interés de la sala 1 en angiografía en examen de angioembolización

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

Según los resultados obtenidos en la gráfica 21-4 y 22-4 podemos apreciar que la dosis más alta de la sala 1 perteneciente al angiógrafo, es el punto C de la puerta de la bodega, con una dosis de 0,0016 mSv/año, que representa el 0,03% del nivel de restricción de dosis para una zona

controlada. Cabe destacar que las dosis obtenidas de todos los puntos de interés de la sala 1 presentan valores muy bajos de dosis semanal, lo que indica que el blindaje es adecuado.

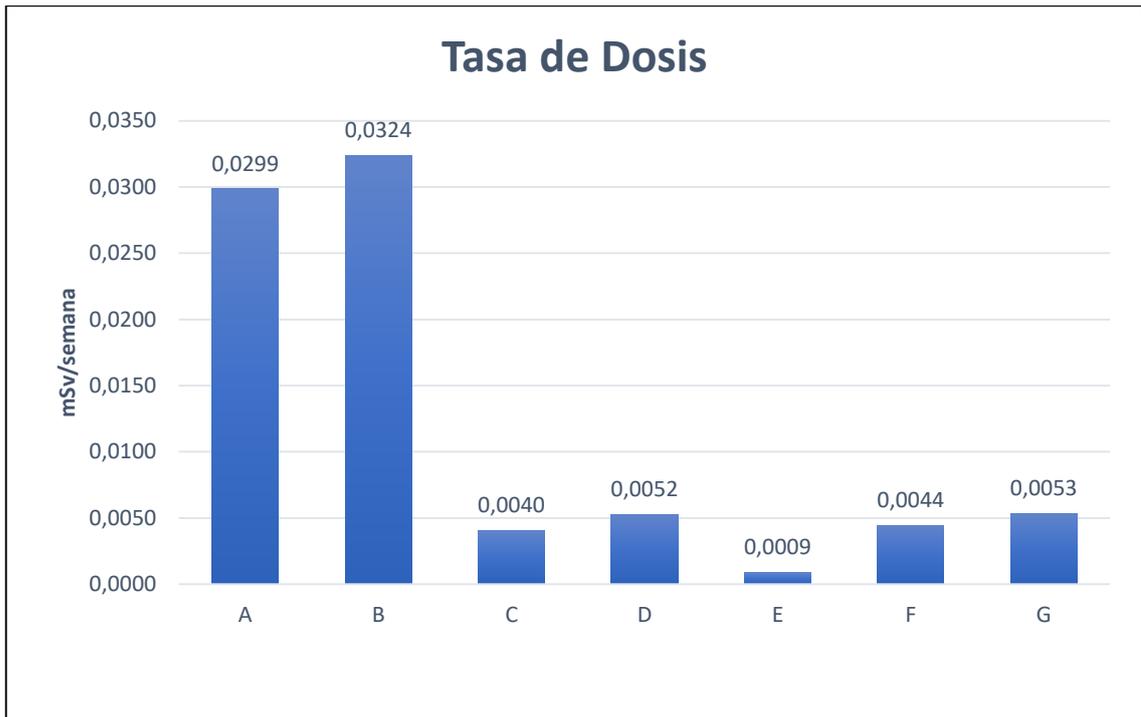
#### **4.7. Análisis de las tasas de dosis de la sala del centro gástrico de fluoroscopia**

En la tabla 15-4 se describen las medidas del equipo de fluoroscopia en el centro gástrico, tales se las realizaron en base a la replicación de un examen de colangiopancreatografía retrógrada endoscópica (CPRE) sobre el fantoma, dicho examen consta del uso de cinco disparos de fluoroscopia en la zona del abdomen y la toma de dos placas radiográficas sobre abdomen. Para la tabla de resultados 15-4, hemos tomado la suma total de los valores medidos en las cinco fluoroscopias y el total de valores medidos en tomas de las dos placas radiográficas. El examen se lo hizo con una tensión de 121 kVp, una corriente de 2,6 mA y 26 mAs para los disparos de fluoroscopia, mientras que, para la toma de placas radiográficas se ha utilizado una tensión de 75 kVp, una corriente de 600 mA y 25 mAs, en un total de siete puntos de interés.

**Tabla 15-4:** Dosis semanales y anuales calculadas del centro gástrico en fluoroscopia en examen CPRE.

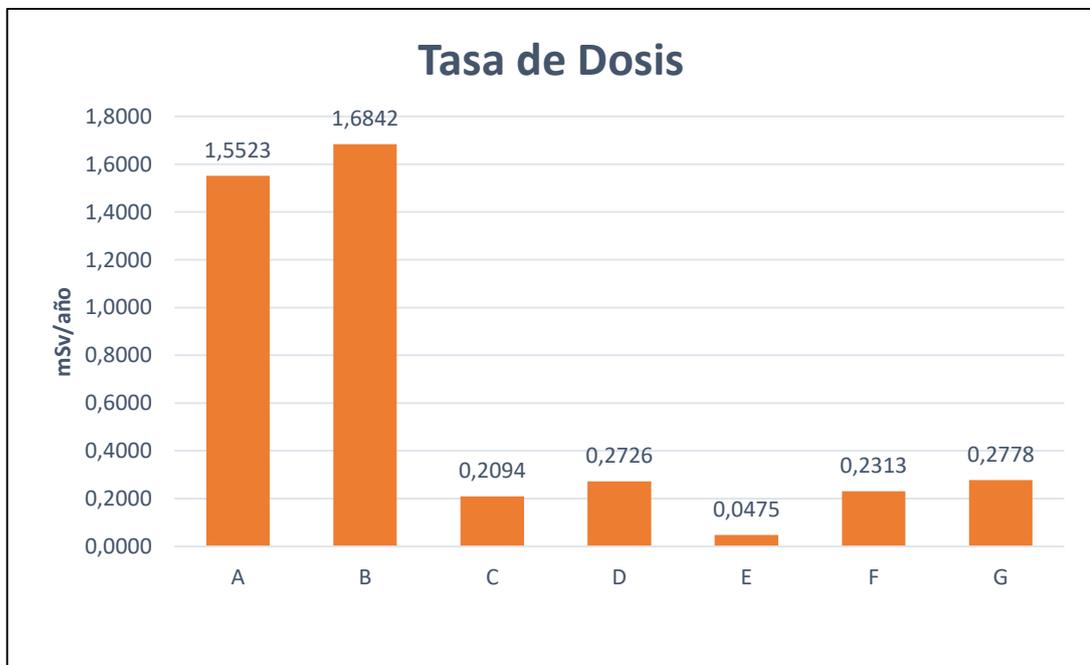
<b>Punto de medida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Clasificación de Zona</b>	<b>Dosis (mSv/sem)</b>	<b>Dosis (mSv/año)</b>	<b>Validación de Blindaje Estructural</b>
<b>A</b>	Ventana de la consola del operador	Controlada	0,0299	1,5523	✓
<b>B</b>	Puerta de ingreso del personal	Controlada	0,0324	1,6842	✓
<b>C</b>	Área de impresión de placas	Controlada	0,0040	0,2094	✓
<b>D</b>	Puerta de ingreso de pacientes	Supervisada	0,0052	0,2726	✓
<b>E</b>	Área de administración	Supervisada	0,0009	0,0475	✓
<b>F</b>	Puerta de vestidores del personal	Supervisada	0,0044	0,2313	✓
<b>G</b>	Piso	Supervisada	0,0053	0,2778	✓

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 23-4:** dosis semanal en los puntos de interés del centro gástrico en fluoroscopia en examen de CPRE

**Realizado por:** Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 24-4:** Dosis semanal dosis semanal en los puntos de interés del centro gástrico en fluoroscopia en examen de CPRE

**Realizado por:** Vásconez Cristian, 2019

Según las gráficas 23-4 y 24-4 en la sala del centro gástrico que posee un equipo de fluoroscopia, los valores más elevados de dosis obtenidos se encuentran en los puntos de interés A y B, correspondientes a la ventana donde se encuentra el operador y la puerta de ingreso del personal respectivamente, la dosis obtenida en este punto es de 1,684 mSv/año para el punto B que representa el 34% y 1,552 mSv/año para el punto A que representa el 31% de la dosis permitida, la dosis más baja se presenta en el punto E donde se encuentra un área de administración. Todos los puntos de la sala poseen el blindaje adecuado y se encuentran dentro de los valores anuales de dosis para zonas controladas y supervisadas.

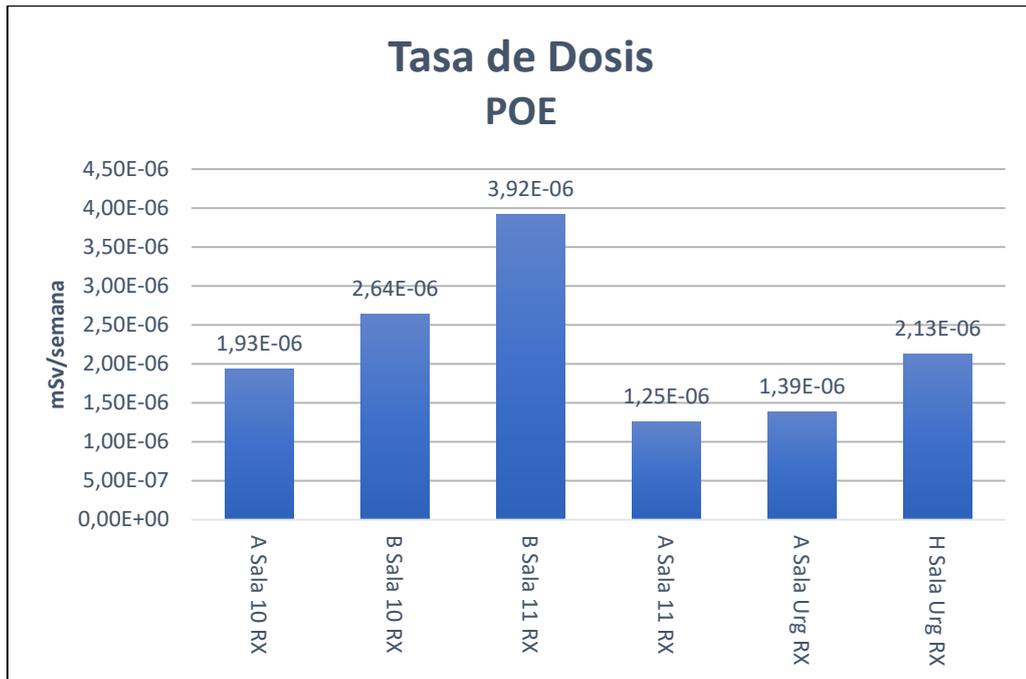
#### **4.8. Análisis de la tasa de dosis de todas las salas de rayos x convencional, en los puntos de interés perteneciente al POE**

Para el análisis de la tasa de dosis semanal y anual de la sala 10, 11 y sala de urgencias, se tomó como referencia los puntos de interés donde se encuentra ubicado el POE mostrados en la tabla 16-4.

**Tabla 16-4:** Dosis anual y semanal de las salas de rayos x, de los puntos de interés perteneciente al POE.

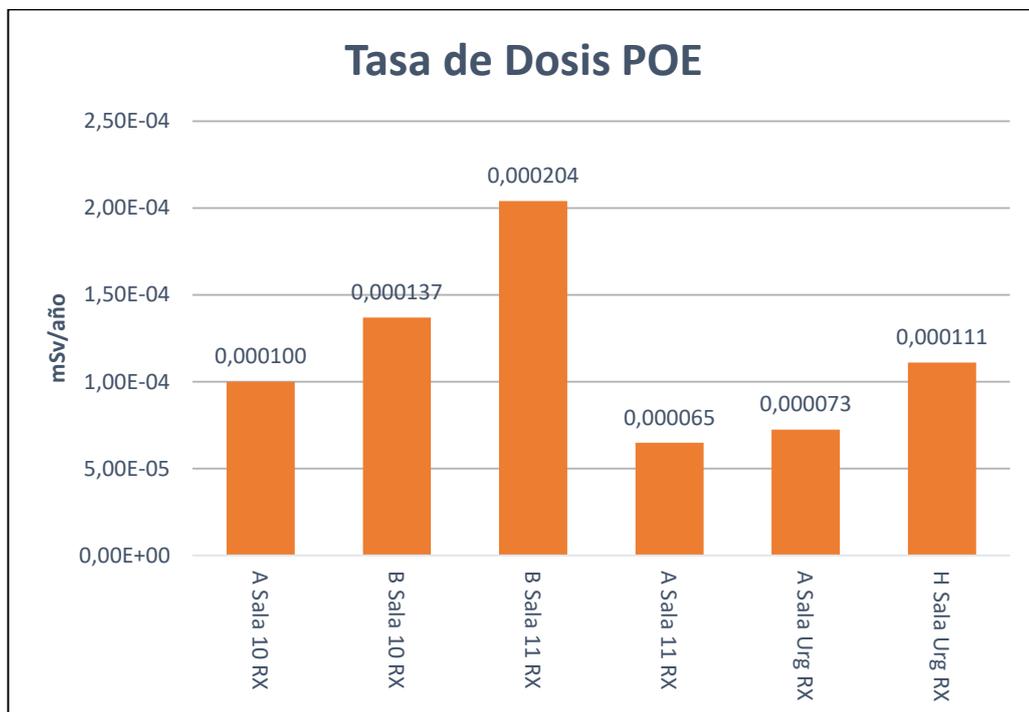
<b>Punto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Clasificación de Zona</b>	<b>Dosis (mSv/sem)</b>	<b>Dosis (mSv/año)</b>
A Sala 10 RX	Puerta del operador	Controlada	1,930E-06	1,00E-04
B Sala 10 RX	Ventana del mando del operador	Controlada	2,640E-06	1,37E-04
B Sala 11 RX	Ventana del mando del operador	Controlada	3,920E-06	2,04E-04
A Sala 11 RX	Puerta del operador	Controlada	1,250E-06	6,48E-05
A Sala Urg RX	Puerta del operador	Controlada	1,390E-06	7,25E-05
H Sala Urg RX	Ventana del mando del operador	Controlada	2,130E-06	1,11E-04

Realizado por: Váscquez Cristian, 2019



**Gráfico 25-4:** Dosis semanales en puntos de interés perteneciente al POE

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 26-4:** Dosis anuales en puntos de interés pertenecientes al POE

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

En la gráfica 25-4 y 26-4 sobre las dosis obtenidas en los puntos de interés pertenecientes al POE, podemos observar que en las sala 11 y sala 10, en el punto B donde se encuentra la ventana del operador, se presentan las dosis más altas de estas salas respecto a puntos del POE, con 0,000204 y 0,000137 mSv/año respectivamente, a diferencia del punto A de la sala 11 y el punto A de la sala de Urgencias, ambos correspondientes a la puerta del operador, que presentan los valores más bajos de dosis con 0,000064 y 0,000072 mSv/año. Cabe recalcar que la dosis más alta de los puntos de interés referentes al POE de las salas 10, 11 y de urgencias, representa el 0,004% del nivel de restricción de dosis anuales para una zona controlada, por lo que se concluye que el blindaje es el adecuado.

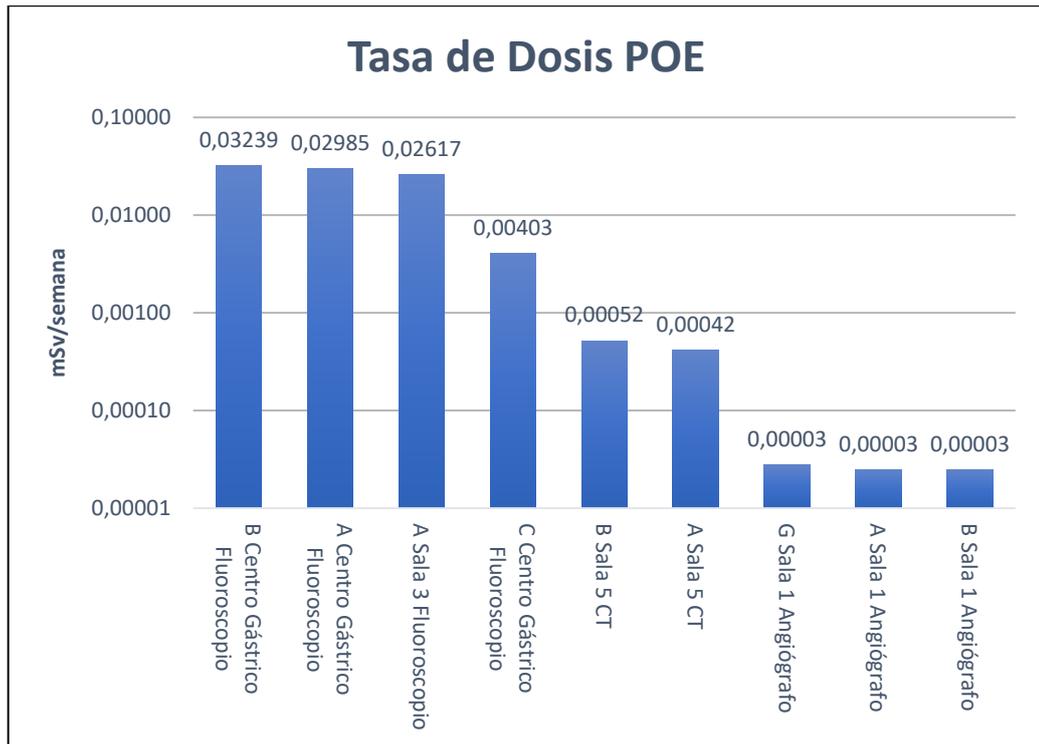
#### **4.9. Análisis de la tasa de dosis de las salas de fluoroscopia, angiografía y tomografía, en los puntos de interés perteneciente al POE**

El análisis de la tasa de dosis de las sala 3 de fluoroscopia, centro gástrico de fluoroscopia, sala 1 de angiografía y sala 5 de tomografía, se lo hizo tomando los puntos de interés correspondientes al POE obteniendo los siguientes datos que se detallan en la tabla 17-4.

**Tabla 17-4:** Dosis anual y semanal de las salas de fluoroscopia, angiografía y tomografía, de los puntos de interés perteneciente al POE.

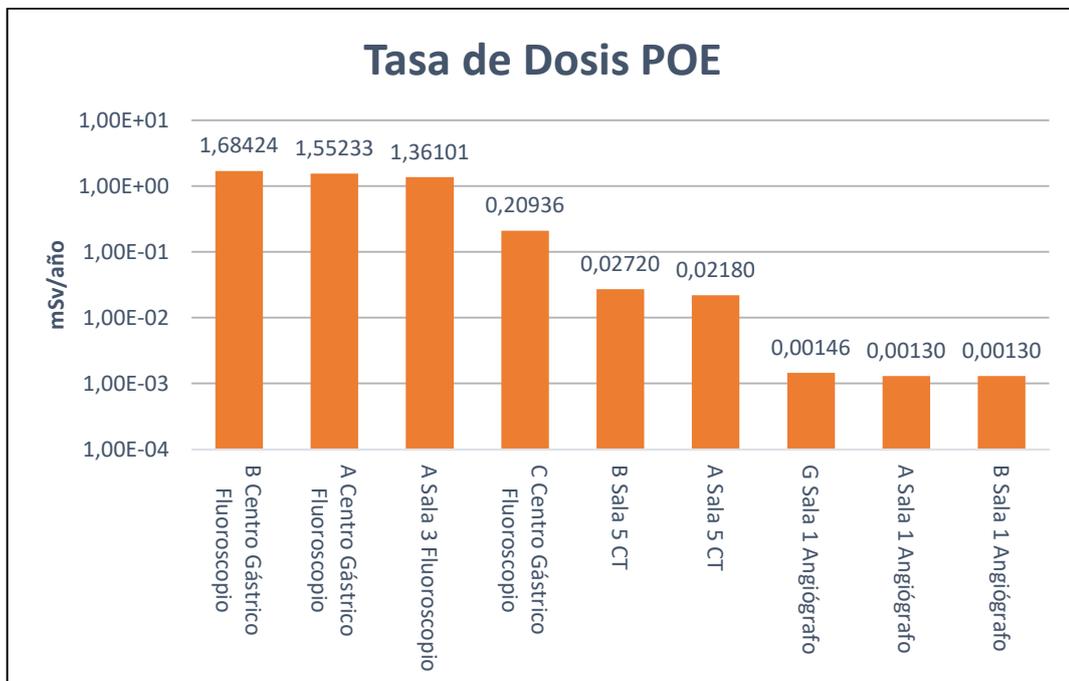
<b>Punto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Clasificación de Zona</b>	<b>Dosis (mSv/sem)</b>	<b>Dosis (mSv/año)</b>
B Centro Gástrico Fluoroscopio	Puerta del personal	Controlada	0,03239	1,68424
A Centro Gástrico Fluoroscopio	Ventana del operador	Controlada	0,02985	1,55233
A Sala 3 Fluoroscopio	Ventana del operador	Controlada	0,02617	1,36101
C Centro Gástrico Fluoroscopio	Área de impresión	Controlada	0,00403	0,20936
B Sala 5 CT	Ventana del mando del operador	Controlada	0,00052	0,02720
A Sala 5 CT	Puerta del operador	Controlada	0,00042	0,02180
G Sala 1 Angiógrafo	Mando del operador	Controlada	0,00003	0,00146
A Sala 1 Angiógrafo	Ventana del operador	Controlada	0,00003	0,00130
B Sala 1 Angiógrafo	Puerta de ingreso del operador	Controlada	0,00003	0,00130

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 27-4:** Dosis semanales de los puntos de interés pertenecientes al POE, de las salas de fluoroscopia, angiografía y tomografía computarizada

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019



**Gráfico 28-4:** Dosis anuales de los puntos de interés pertenecientes al POE, de las salas de fluoroscopia, angiografía y tomografía computarizada

Realizado por: Vásconez Cristian, 2019

Las gráficas 27-4 y 28-4 de dosis semanales y anuales de los puntos donde se encuentra ubicado el POE, indican que las dosis más altas para las salas de fluoroscopia, angiografía y tomografía. Se presentan dosis de 1,68424 y 1,55233 mSv/año en el punto de interés B y A, referente a la puerta del personal y la ventana del operador del centro gástrico respectivamente, mismos valores representan el 34% y 31% del nivel de restricción de dosis, por ende, se encuentran dentro de los niveles de restricción de dosis anuales para zonas controladas. La menor dosis se presenta en el punto A y B de la sala de angiografía correspondiente a la ventana del operador y puerta de ingreso del operador, ambos puntos con 0,00130 mSv/año.

## CONCLUSIONES

- Se identificaron los distintos puntos de interés, en donde se encuentra ubicado el personal ocupacionalmente expuesto y el público de las distintas salas de radiodiagnóstico e intervencionismo, pudiendo realizar las medidas de tasa de dosis en dichos lugares.
- Se realizaron las mediciones de tasa de dosis con la cámara de ionización en varios puntos de interés de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo, tomando varias medidas en el mismo punto, para obtener una mejor lectura y trabajar con el valor más alto de ellas en el cálculo.
- Se estimó las dosis anuales recibidas por los miembros del personal ocupacionalmente expuesto y el público, comparando los niveles de dosis medidos con los niveles de restricción de dosis permitidos por el protocolo IAEA/ARCAL XLIX, tanto para zona controlada o zona supervisada. La mayor dosis fue en el punto B (puerta del personal) del centro gástrico, representando un 34% del nivel de restricción de dosis anual y la menor dosis fue en el punto F (sala de punciones) de la sala 11 con un 0,0003% del nivel de restricción de dosis permitido.
- Se logró validar el blindaje estructural de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo, ya que todas las dosis obtenidas para el POE y el público no sobrepasaron los niveles de restricción de dosis, logrando así la acreditación de las salas según el Reglamento de Seguridad Radiológica en el Ecuador vigente desde 1979.

## RECOMENDACIONES

- Los distintos equipos que se usan en las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo deben contar con todas las pruebas de control de calidad realizadas por el oficial de seguridad radiológica, para poder obtener una buena imagen de diagnóstico y poder garantizar la protección al paciente y al personal ocupacionalmente expuesto.
- Para la correcta lectura de medidas de radiación, se debe tener calibrado el detector de radiación por el laboratorio de la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares, con su certificado de calibración vigente.
- Se debe ubicar correctamente la posición del fantoma, según sea el procedimiento replicado y de lo posible abrir los colimadores lo más que se pueda para tomar las medidas de radiación en los distintos puntos de interés.
- Realizar una charla informativa para el personal de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo, para dar a conocer que los valores obtenidos durante este Trabajo de Titulación se encuentran dentro de los niveles de restricción de dosis permitidos para zonas controladas.

## GLOSARIO

POE	Personal Ocupacionalmente Expuesto
ICRP	International Commission on Radiological Protection
OIEA	International Atomic Energy Agency
NCRP	National Council on Radiation Protection & Measurements
SCAN	Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares
ARCAL	Acuerdo Regional de Cooperación para la promoción de la ciencia nuclear y tecnología en América Latina y el Caribe
ADN	Ácido desoxirribonucleico
ARCAL	Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe
mAs	Miliamperios por segundo
kVp	Kilovoltaje pico
mSv	Milisievert
cm	Centímetro
T	Factor de ocupación
U	Factor de uso
W	Carga de trabajo semanal
Fc	Factor de calibración
$\mu\text{Sv/h}$	Microsievert por hora
mSv/h	Milisievert por hora

## BIBLIOGRAFÍA

**AQUEVENQUE M.** *Levantamiento radiométrico en el servicio de Medicina Nuclear del Hospital Hernán Henríquez Aravena.* 1. Temuco : Universidad de la Frontera, 2015. págs 1-5.

**ARIAS, A.** *¿Qué es el Magnetismo?* 1. Salamanca : Ediciones Universidad Salamanca, 2001. pág. 85.

**BALOG, D.** Bimedis. [En línea] 2017. [Consulta: 23 de 7 de 2019.] Disponible en: <https://es.bimedis.com/latest-news/browse/615/equipos-de-rayos-x-tipo-arco-en-c-para-cirugia-que-aspectos-son-importantes-a-la-hora-de-tomar-una-decision>.

**BUSHONG, S.** *Manual de Radiología para Técnicos: Física, biología y protección radiológica.* Novena. Barcelona : Elsevier España, 2010. págs. 146-293.

**CEBALLOS, E.** Radiología y Salud. [En línea] 2015. [Consulta: 03 de 07 de 2019.] Disponible en: <https://www.csn.es/proteccion-radiologica>.

**CHEN, M, et.al.** *Radiología Básica.* Primera. Madrid : McGraw-Hill, 2006. págs 20-30.

**CSN.** Dosimetría de la Radiación Externa. [En línea] 2006. [Consulta: 17 de 08 de 2019]. Disponible en: <http://piramidenormativa.sne.es/Repositorio/CSN/GSG-07.01%20Requisitos%20tecnico-administrativos%20para%20los%20servicios%20de%20dosimetria%20personal.pdf>

**CEEA.** *Reglamento de Seguridad Radiológica.* Primera. Quito : Registro Oficial N891, 1979. págs. 1-8.

**CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR.** Detección y Dosimetría de la Radiación. [En línea] 2009. [Consulta: 24 de 6 de 2019.] Disponible en: [http://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros\\_md/537701088\\_2411200913237.pdf](http://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/537701088_2411200913237.pdf).

**DEL CURA, J, et al.** *Radiología Esencial.* Primera. Buenos Aires : Médica Panamericana, 2009. págs. 3-4.

**DELGADO, O, et.al.** *Manual de protección radiológica y de buenas prácticas en radiología dento-maxilo-facial.* Tercera. Santiago de Chile : Instituto de Salud Pública de Chile, 2008. págs. 38-40.

**ECHANIQUE, R.** *Dosimetría Radiológica.* Primera. Quito : Edifarm, 2018. pág. 33.

**GUTIÉRREZ, A.** *Técnicos Especialistas en Radiodiagnóstico*. Primera. Madrid : CEP S.L, 2016. pág. 248.

**IAEA/ARCAL XLIX.** *Protocolos de Control de Calidad en Radiodiagnóstico*. Primera. Brasil : Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe, 2001. pág. 6.

**INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE.** *Protocolo para la Evaluación de Puestos de Trabajo con Exposición a Radiaciones Ionizantes Asociadas al uso Médico de Equipos de Rayos X Convencionales*. Primera. Santiago de Chile : Sección de Radiaciones Ionizantes y No Ionizantes-Instituto de Salud Pública. 2013. pág. 6-7.

**JIMÉNEZ, F.** Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. [En línea] 2011. [Consulta: 23 de 6 de 2019.] Disponible en: [https://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/Contacto\\_30\\_DETECTORES.pdf](https://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/Contacto_30_DETECTORES.pdf).

**LEYTON, L.** *Aplicación de un Protocolo de Levantamiento Radiométrico en Instalaciones de Radio-Diagnóstico*. 1. Santiago de Chile : Revista Chilena de Radiología. 2007. Vol. 13. págs. 213-217.

**LLEÓ, A, et.al.** *Gran Manual de Magnitudes Físicas y sus Unidades*. Segunda. Madrid : Ediciones Días de Santos, S.A., 2011. págs. 606-607.

**NÚÑEZ, L.** *Elementos de radiofísica para técnicos superiores en radioterapia y dosimetría*. Primera. Madrid : Elsevier, 2016. pág. 13.

**OIEA.** *Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe*. Viena : Organismo Internacional de Energía Atómica, 2019. pág. 4.

**OIEA.** Protección Radiológica de los pacientes en fluoroscopia. [En línea] 2013. [Consulta: 03 de 07 de 2019.] Disponible en: [https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content-es/InformationFor/HealthProfessionals/1\\_Radiology/Fluoroscopy.htm](https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content-es/InformationFor/HealthProfessionals/1_Radiology/Fluoroscopy.htm).

**OMS.** Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección. [En línea] 2016. [Consulta: 20 de 09 de 2019.] Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>.

**PEREIRA, D.** *Tomografía Axial Computada*. Segunda. Montevideo : Harcourt, 2004. págs. 1-2.

**PIFARRÉ, X, et.al.** *Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad*. 2. Madrid : ADI, 2012. Vol. 2. págs. 40-50.

**RODRIGUEZ, C, et.al.** *Protección Radiológica y de Buenas Prácticas en Radiología Dento-Maxilo-Facial*. Santiago de Chile : Instituto de Salud Pública de Chile, 2002. pág. 40.

**SANTOS, M, et.al.** *Radiología intervencionista. Problemas actuales y nuevos caminos*. Madrid : Elsevier, 2014. Vol. 56. pág. 16.

**SANZ, M.** *Guía de Radiaciones Ionizante y No Ionizantes*. Primera. Valladolid : Secretaria de Salud Laboral, 2014. págs. 22-24.

**TUCCI, A.** *Radiodiagnóstico y Radioterapia*. Madrid : Lulu, 2012. pág. 66.

**UBEDA, C, et.al.** *Magnitudes y unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo*. Santiago de Chile : Revista Chilena de Radiología, 2018. Vol. 24. págs. 6-7.

**UPTON, A, et.al.** *Biología y Efectos Biológicos de la Radiación*. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Madrid : Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998, págs. 48.5-48.6.

**ZAMBRANO, J.** *Monitoreo de la Tasa de Dosis Equivalente Ambiental en Procedimientos Intervencionistas en el Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019. págs. 1-77.

**ZAMORA, L, et al.** *Protección Radiológica en Técnicas Percutáneas Intervencionistas, para el Tratamiento del Dolor*. Buenos Aires : Sociedad Argentina de Radioprotección, 2015. págs. 1-8.

# ANEXOS

## Anexo A

### Certificado de calibración de la cámara de ionización modelo RADCAL RSM



#### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE DETECTORES DE RADIACIÓN

SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES  
LABORATORIO DE PATRONES SECUNDARIOS

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No.: **CAL 1599 - 2019**

<b>SOLICITANTE:</b>	I.E.S.S HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CARLOS ANDRADE MARIN			<b>FECHA DE CALIBRACIÓN:</b>	2019-06-07		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Av. 18 de Septiembre s/n y Ayacucho						
<b>INSTRUMENTO:</b>	EQUIPO DIGITAL	<b>Marca:</b>	RADCAL	<b>Modelo:</b>	RSM	<b>Serie:</b>	25010462
<b>DETECTOR:</b>	CÁMARA DE IONIZACIÓN						

**Condiciones ambientales durante la calibración:**

Temperatura (°C): 22,1 Presión (mbar): 710,2 Humedad rel. (%): 56%

**Instrumentos de Referencia:**

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

**Revisión de Características del instrumento:**

Chequeo Mecánico: OK  
Chequeo Audio y/o Alarma: OK

**Condiciones de pruebas realizadas al instrumento:**

Substracción de Background: SI  
Se determinó Linealidad: SI  
Fuentes de Calibración: OB6  
Atenuadores (mm): 22.0  
Rango en Escala Normal (X1): ( 0 - 500 ) (uSv/h)

**DATOS DE CALIBRACIÓN PARA TASAS DE DOSIS EQUIVALENTE POR RADIACIÓN GAMA CON CESIO 137**

ESCALA	FUENTE DE CALIBRACION	TASA DE DOSIS EQUIVALENTE DE REFERENCIA	LECTURA PROMEDIO DEL INSTRUMENTO	FACTOR DEL INSTRUMENTO Para incertidumbre k = 2
( 0 - 500 ) uSv/h	OB6	211,34 ± 2,62 uSv/h	194,67 uSv/h	1,10 ± 0,03

**NOTA: LAS MEDICIONES REALIZADAS CON EL EQUIPO DEBEN SER OBLIGATORIAMENTE MULTIPLICADAS POR EL FACTOR INDICADO PARA DETERMINAR EL VALOR REAL**

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

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

Calibrado por: E.Arévalo/Y.Pástor  
Fecha de Emisión: 10/06/2019

Responsable del L.P.S.:

SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES  
Ing. Enrique Arévalo  
Firma de Responsabilidad

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

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE**  
**Y LA INVESTIGACIÓN**  
**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**  
**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 04/12/2019

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres y Apellidos:</b> Cristian Aníbal Vásconez Zabala
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Facultad de Ciencias
<b>Carrera:</b> Biofísica
<b>Título a optar:</b> Biofísico
<b>f. Analista de bibliotecas responsable:</b>