



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE BIOMEDICINA

**DESARROLLO DE UNA GUÍA DE DISEÑO BASADA EN
MODELADO DE INFORMACIÓN DE CONSTRUCCIÓN (BIM)
APLICADO EN UN ÁREA DE RAYOS X DE SEGUNDO NIVEL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Biomédico

AUTORES: Moisés Andrés Romero Morán
Ronny Paúl Guerrero Basurto
TUTOR: Ing. Darío Xavier Romero Santistevan, Mgs.

Guayaquil - Ecuador
2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Ronny Paúl Guerrero Basurto** con documento de identificación N° **2450302787** y **Moisés Andrés Romero Morán** con documento de identificación N° **0951158906**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 25 de agosto del año 2025

Atentamente,



Ronny Paúl Guerrero Basurto
2450302787



Moisés Andrés Romero Morán
0951158906

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Ronny Paúl Guerrero Basurto** con documento de identificación N° **2450302787** y **Moisés Andrés Romero Morán** con documento de identificación N° **0951158906**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Proyecto Técnico: DESARROLLO DE UNA GUÍA DE DISEÑO BASADA EN MODELADO DE INFORMACIÓN DE CONSTRUCCIÓN (BIM) APLICADO EN UN ÁREA DE RAYOS X DE SEGUNDO NIVEL**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biomedico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

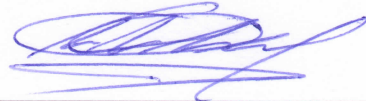
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de agosto del año 2025

Atentamente,



Ronny Paúl Guerrero Basurto
2450302787



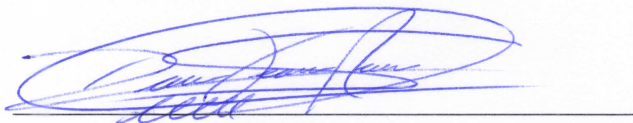
Moisés Andrés Romero Morán
0951158906

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Darío Xavier Romero Santistevan**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UNA GUÍA DE DISEÑO BASADA EN MODELADO DE INFORMACIÓN DE CONSTRUCCIÓN (BIM) APLICADO EN UN ÁREA DE RAYOS X DE SEGUNDO NIVEL**, realizado por **Ronny Paúl Guerrero Basurto** con documento de identificación N° **2450302787** y por **Moisés Andrés Romero Morán** con documento de identificación N° **0951158906**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Proyecto técnico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de agosto del año 2025

Atentamente,



Ing. Darío Xavier Romero Santistevan, Mgs.
1206442616

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres que con su amor y dedicación me ha acompañado a lo largo de este camino y me han enseñado que con trabajo y esfuerzo las cosas se dan como lo esperas.

A mi hermana Marina, a mi cuñado Eduardo y mi tía Fátima que con su ayuda y aliento me han guiado siempre y me han dado la fuerza que se necesita para seguir adelante.

A mis abuelos, quienes han sido mi más grande inspiración en la vida, en cada logro y paso que he dado, ellos han estado ahí apoyándome.

Ronny Paúl Guerrero Basurto

Dedico este trabajo a mi familia, por su amor incondicional y constante apoyo en cada etapa de mi formación.

A mis padres, que con su ejemplo me enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mis docentes y compañeros, quienes con sus enseñanzas y colaboración contribuyeron a que este proyecto sea una realidad.

Moisés Andrés Romero Morán

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por haberme dado la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa de mi formación académica.

A mis padres y familia, por su apoyo incondicional, por ser fuente constante de motivación y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mis docentes de la Universidad, quienes con su dedicación y conocimiento me guiaron en el proceso de aprendizaje, transmitiéndome no solo formación técnica sino también principios éticos y profesionales que marcarán mi trayectoria.

A mis compañeros por compartir experiencias, retos y aprendizajes a lo largo de estos años y a Andrea que me ha apoyado a lo largo de mi carrera.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Darío Romero, tutor de este trabajo de titulación, por su constante apoyo, orientación y compromiso a lo largo de todo el proceso de investigación y desarrollo. Su paciencia, disponibilidad y dedicación fueron fundamentales para la culminación de este proyecto, brindándome no solo sus conocimientos técnicos, sino también consejos y motivación que enriquecieron mi formación académica y personal. Reconozco en él un guía invaluable, cuyo acompañamiento ha sido determinante para alcanzar este logro.

Ronny Paúl Guerrero Basurto

Mi más sincero agradecimiento a Dios, mi familia, profesores, amigos y a mi novia, por su apoyo incondicional durante esta etapa.

Moisés Andrés Romero Morán

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de una guía de diseño y modelado para áreas de rayos X de segundo nivel, fundamentada en la metodología Building Information Modelling (BIM). La propuesta busca dar respuesta a las deficiencias detectadas en muchos establecimientos de salud del país, donde el incumplimiento normativo, la disposición inadecuada de equipos, los errores en los cálculos de blindaje y la falta de planificación digital comprometen la seguridad radiológica y la eficiencia de los servicios de imagenología.

La investigación recopila y analiza las normativas nacionales e internacionales aplicables a la construcción de salas de rayos X, detalla los parámetros técnicos de los equipos biomédicos más utilizados (densitometría, fluoroscopia, mamografía y rayos X convencional) y establece los criterios de protección radiológica necesarios para garantizar la seguridad del personal y de los pacientes. Posteriormente, se desarrolla una guía estructurada que incluye la distribución funcional de áreas, las dimensiones mínimas requeridas, el diseño de flujos de pacientes y personal, los requisitos eléctricos y el cálculo de blindajes.

Finalmente, los lineamientos propuestos se validan mediante un modelo tridimensional digital, que permite comprobar la viabilidad del diseño, anticipar conflictos de obra, optimizar la ubicación de los equipos y garantizar el cumplimiento de las exigencias normativas. Con ello, la investigación aporta una herramienta práctica y replicable para arquitectos, ingenieros y profesionales de la salud, orientada a mejorar la infraestructura hospitalaria y fortalecer la calidad de los servicios de diagnóstico por imagen.

Palabras claves: BIM, rayos X, guía de diseño, seguridad radiológica, blindaje, modelado 3D, normativas, equipos biomédicos, flujos de pacientes.

ABSTRACT

This work aims to develop a design and modeling guide for second-level X-ray areas, based on the Building Information Modelling (BIM) methodology. The proposal addresses the deficiencies observed in many healthcare facilities in the country, where non-compliance with regulations, inadequate equipment layout, errors in shielding calculations, and the lack of digital planning compromise both radiological safety and the efficiency of imaging services.

The research compiles and analyzes national and international regulations applicable to the construction of X-ray rooms, details the technical parameters of the most commonly used biomedical equipment (densitometry, fluoroscopy, mammography, and conventional X-ray), and establishes the radiological protection criteria required to ensure the safety of staff and patients. Subsequently, a structured guide is developed that includes the functional distribution of areas, minimum required dimensions, patient and staff workflow design, electrical requirements, and shielding calculations.

Finally, the proposed guidelines are validated through a digital three-dimensional model, which makes it possible to verify the feasibility of the design, anticipate construction conflicts, optimize the positioning of equipment, and ensure compliance with regulatory requirements. As a result, the research provides a practical and replicable tool for architects, engineers, and healthcare professionals, aimed at improving hospital infrastructure and strengthening the quality of diagnostic imaging services.

Keywords: BIM, X-ray, design guide, radiological safety, shielding, 3D modeling, regulations, biomedical equipment, patient workflows.

ÍNDICE

I.	Introducción	1
II.	Problema	2
III.	Justificación	3
IV.	Objetivos	4
IV-A.	Objetivo general	4
IV-B.	Objetivos específicos	4
V.	Marco Teórico	5
V-A.	Metodología BIM	5
V-A1.	Historia del BIM	5
V-A2.	Evolución de las Herramientas de Diseño	5
V-A3.	Rhino 3D	6
V-A4.	Consolidación del BIM (1990–2000)	6
V-A5.	Estándares y Regulaciones (2000–2015)	7
V-A6.	BIM en la Actualidad	7
V-A7.	Herramientas BIM según disciplina de la ingeniería	7
V-A8.	Aplicaciones de BIM en el Sector Salud	8
V-A9.	Aplicación de BIM en el diseño hospitalario	9
V-B.	Aplicación de la Metodología BIM en el Diseño de Áreas de Rayos X	9
V-B1.	Interoperabilidad y Modelado Paramétrico	9
V-B2.	Detección de Conflictos	9
V-B3.	Simulación y Validación	9
V-B4.	Documentación Automatizada	10
V-C.	Rayos X.	10
V-C1.	Tipos de Rayos X.	10
V-C2.	Principios Físicos de Producción	11
V-C3.	Efectos Biológicos de los Rayos X.	13
V-C4.	Interacciones de los rayos X con la materia	13
V-C5.	Espectro Electromagnético	14
V-D.	Parámetros técnicos	15
V-E.	Normativas para la Construcción de Áreas de Rayos X.	16
V-E1.	Normativas Nacionales	16
V-E2.	Normativas Internacionales.	17
V-F.	Diseño y Construcción de una Sala de Rayos X	19
V-F1.	Dimensiones Mínimas del Ambiente	19
V-F2.	Distribución Funcional de la Sala	19
V-F3.	Materiales para Blindaje Radiológico	19
V-F4.	Cálculo de Blindaje Radiológico	20
V-F5.	Parámetros de Diseño	22
V-F6.	Blindaje radiológico	22
V-F7.	Requisitos Técnicos y de Espacio	23
V-F8.	Requisitos de Protección Radiológica	23
V-G.	Equipos médicos empleados en el área de Rayos X	24
V-G1.	Equipamiento Común en Centros de Segundo Nivel	24
V-G2.	Densitometro	24
V-G3.	Fluoroscopio	26

V-G4.	Mamógrafo	27
V-G5.	Rayos X dental	29
V-G6.	Rayos X convencional	31
V-G7.	Extintores y Seguridad Contra Incendios.	32
V-H.	Estimación de costo de blindaje	32
V-I.	Seguridad Eléctrica en Equipos de Rayos X	32
V-I1.	Requisitos Generales de Seguridad (IEC 60601-1)	33
V-I2.	Entornos Especiales (IEC 60601-1-11:2015)	33
V-I3.	Normativas Complementarias	33
V-I4.	Recomendaciones de Diseño	33
VI.	Marco Metodológico	34
VI-A.	Procedimiento Metodológico	35
VI-B.	Distribución de áreas.	35
VI-B1.	Bloque A	36
VI-B2.	Bloque B	36
VI-B3.	Área de Recepción y Espera	36
VI-B4.	Área de Triage	36
VI-B5.	Área de Consulta	36
VI-B6.	Área Administrativa	36
VI-B7.	Área de Preparación y Recepción	36
VI-C.	Descripción de áreas y equipos.	36
VI-C1.	Área de Densitometría.	36
VI-C2.	Área de Fluoroscopia.	38
VI-C3.	Área de Mamografía.	39
VI-C4.	Área de Rayos X	40
VI-C5.	Área de Recepción y Espera	41
VI-C6.	Área de Triage	41
VI-C7.	Área de Consulta	41
VI-C8.	Área de Mando A	41
VI-C9.	Área de Mando B	41
VI-C10.	Área de Preparación y Recepción	41
VI-C11.	Área de Administración	41
VI-D.	Requisitos de Diseño y Seguridad.	42
VI-D1.	Protección Radiológica	42
VI-E.	Cálculo de blindaje.	42
VI-E1.	Cálculo de blindajes para el área de densitometría (STRATOS DR)	43
VI-E2.	Cálculo de blindajes para el área de fluoroscopia (Discovery FR-180)	45
VI-E3.	Cálculo de blindajes para el área de mamografía (DM 156)	47
VI-E4.	Cálculo de blindajes para sala de rayos x (TMS 320 R)	48
VI-F.	Requisitos Eléctricos.	50
VI-G.	Validación del Diseño	50
VII.	Resultados	51
VII-A.	Plano de distribución de Áreas	51
VII-A1.	Área de Recepción y Espera	54
VII-A2.	Área de Triage	54
VII-A3.	Área de Consulta	54
VII-A4.	Área de Mamografía	55
VII-A5.	Área de Mando A	55

VII-A6.	Área de Densitometría	56
VII-A7.	Área de Rayos X	56
VII-A8.	Área de Mando B	57
VII-A9.	Área de Fluoroscopia	57
VII-A10.	Área de Preparación y Recepción	57
VII-A11.	Área de Administración	58
VII-B.	Plano de distribución interna y equipamiento	59
VII-C.	Plano de blindaje de distribución equipos y especificación de blindaje	61
VII-D.	Flujo de ingreso	62
VII-D1.	Plano de flujo de ingreso del paciente	62
VII-D2.	Diagrama de flujo de ingreso del paciente	63
VII-D3.	Plano de flujo de ingreso del personal de salud	64
VII-D4.	Diagrama de flujo de ingreso del personal de salud	65
VII-E.	Diseño 3D	66
VIII.	Cronograma	70
IX.	Presupuesto	71
X.	Conclusiones	72
XI.	Recomendaciones	73
	Referencias	74
XII.	Anexos	80

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Esquema de un tubo de rayos X dentro de su carcasa protectora [41].	11
2.	Zona de exposicion en rayos x [42].	12
3.	Esquema del espectro electromagnético, mostrando la relación entre longitud de onda, frecuencia y forma de radiación [52].	14
4.	Densitómetro [87].	25
5.	Discovery RF-180 [92].	26
6.	Mamógrafo [96].	28
7.	Rayos X dental [101].	30
8.	Rayos x convencional [105].	31
9.	Plano de referencia utilizado para el modelado BIM del área de Rayos X [109].	34
10.	Boceto del diseño, mostrando la distribucion de las areas.	35
11.	Plano de dimensiones escala 1:100 para calculo de blindaje, autoría propia.	43
12.	Plano 2D de las diferentes áreas con sus respectivas medidas, autoría propia.	51
13.	Plano 2D de distribución de áreas por sección, autoría propia.	53
14.	Plano de distribución interna y equipamiento, autoría propia.	60
15.	Plano de blindaje de distribución equipos y especificación de blindaje, autoría propia.	61
16.	Plano de flujo de ingreso del paciente, autoría propia.	62
17.	Diagrama de flujo del ingreso del paciente, autoría propia.	63
18.	Plano de flujo de ingreso del personal de salud, autoría propia.	64
19.	Diagrama de flujo del ingreso del personal de salud, autoría propia.	65
20.	Vista Alzada Frontal, autoría propia.	66
21.	Vista Alzada Posterior, autoría propia.	67
22.	Vista Alzada Lateral derecho.	68
23.	Vista Alzada Lateral izquierda, autoría propia.	69
24.	Ficha técnica densitómetro (Stratos Dr) [87].	80
25.	Ficha técnica densitómetro (Stratos Dr) [87].	81
26.	Ficha técnica densitómetro (Stratos Dr) [87].	82
27.	Ficha técnica densitómetro (Stratos Dr) [87].	83
28.	Ficha técnica rayos X portátil (TMS 320) [105].	84
29.	Ficha técnica rayos X portátil (TMS 320) [105].	85
30.	Ficha técnica rayos X dental (Runyes)[101].	86
31.	Ficha técnica rayos X dental (Runyes)[101].	87
32.	Ficha técnica rayos X dental (Runyes)[101].	88
33.	Ficha técnica rayos X dental (Runyes)[101].	89
34.	Ficha técnica mamógrafo (DM156) [96].	90
35.	Ficha técnica mamógrafo (DM156)[96].	91
36.	Ficha técnica mamógrafo (DM156) [96].	92
37.	Ficha técnica discovery (RF-180) [92].	93
38.	Ficha técnica discovery (Rf-180) [92].	94
39.	Ficha técnica discovery (Rf-180) [92].	95
40.	Ficha técnica discovery (Rf-180) [92].	96
41.	Ficha técnica discovery (Rf-180) [92].	97

ÍNDICE DE TABLAS

1.	Herramientas de software BIM por fase del ciclo de vida [8].	5
2.	Requisitos del sistema para Rhino v8 [11]	6
3.	Hardware para uso de metodología BIM [15].	7
4.	Herramientas por disciplina de ingeniería [21].	8
5.	Bandas del espectro electromagnético y sus aplicaciones [55].	15
6.	Parámetros técnicos en Rayos X y sus efectos en la exposición [57]	16
7.	Normativas de construcción de áreas de Rayos X [62].	17
8.	Dimensiones mínimas del ambiente para salas de Rayos X [71].	19
9.	Factores de uso y ocupación para el cálculo de blindaje en salas de Rayos X [75].	20
10.	Parámetros máximos de operación y dosis emitida para cálculo de blindaje [75].	21
11.	Espesores sugeridos de plomo para salas de Rayos X [42].	23
12.	Comparación de materiales de blindaje y costos estimados [82].	23
13.	Muestra de centros con servicios de radiodiagnóstico en Ecuador [85].	24
14.	Preparación y consideraciones para diferentes estudios de densitometría [89].	25
15.	Preparación y consideraciones para estudios de radiológicos en Fluoroscopia [93].	27
16.	Preparación y consideraciones para estudios de mamografía [97].	29
17.	Preparación y consideraciones para estudios radiográficos dentales [102].	31
18.	Preparación y consideraciones para estudios radiográficos portátiles y abdominales [106].	32
19.	Requisitos de instalación para salas con equipos de rayos X [111].	39
20.	Parámetros y espesores finales (DXA – STRATOS DR), autoría propia.	45
21.	Espesores mínimos y especificados para fluoroscopia (Discovery RF180), autoría propia.	46
22.	Parámetros y espesores finales (mamógrafo DM156), autoría propia.	48
23.	Parámetros y espesores finales, autoría propia.(TMS 320), autoría propia.	50
24.	Áreas, superficies y volúmenes del servicio de diagnóstico por imágenes, autoría propia.	52
25.	Área de recepción y espera: secciones, superficies y volúmenes, autoría propia	54
26.	Área de triaje: secciones, superficies y volúmenes, autoría propia.	54
27.	Área de consulta: secciones, superficies y volúmenes, autoría propia.	55
28.	Área de Mamografía: secciones, superficies y volúmenes ,autoría propia.	55
29.	Área de Mando A: secciones, superficies y volúmenes, autoría propia.	56
30.	Área de Densitometría: secciones, superficies y volúmenes, autoría propia.	56
31.	Área de Rayos X: secciones, superficies y volúmenes, autoría propia.	57
32.	Área de Mando B: secciones, superficies y volúmenes, autoría propia.	57
33.	Área de Fluoroscopia: secciones, superficies y volúmenes, autoría propia.	57
34.	Área de Preparación y Recepción: secciones, superficies y volúmenes, autoría propia.	58
35.	Área Administrativa: secciones, superficies y volúmenes, autoría propia.	58
36.	Cronograma	70
37.	Presupuesto	71

I. INTRODUCCIÓN

El diseño de áreas de rayos X constituye un aspecto esencial dentro de la infraestructura hospitalaria, ya que de él depende no solo la seguridad radiológica de pacientes y profesionales de la salud, sino también la eficiencia en los flujos de trabajo clínico. En Ecuador, diversos establecimientos aún presentan deficiencias importantes relacionadas con el incumplimiento de normativas nacionales e internacionales, la disposición inadecuada de equipos, errores en los cálculos de blindaje y una zonificación incorrecta de espacios. Estas falencias, sumadas al uso limitado de herramientas digitales en la etapa de planificación, generan riesgos de exposición innecesaria a radiación, retrasos en la atención y mayores costos operativos debido a rediseños o sanciones.

Frente a esta situación, se vuelve necesario replantear la forma en que se diseñan las salas de rayos X en hospitales de segundo nivel. En este contexto, la metodología Building Information Modelling (BIM) surge como una alternativa innovadora que no solo permite crear representaciones tridimensionales del entorno construido, sino que también integra información técnica, normativa y funcional en un único modelo digital. BIM posibilita anticipar errores de diseño, calcular blindajes con precisión, optimizar la ubicación de equipos biomédicos y asegurar la correcta distribución de los espacios, promoviendo así la eficiencia y seguridad desde la fase de planificación.

El presente trabajo propone el desarrollo de una guía técnica de diseño y modelado para áreas de rayos X de segundo nivel, fundamentada en la metodología BIM y alineada con los estándares normativos vigentes. Esta guía no se limita a ofrecer criterios generales, sino que reúne especificaciones concretas sobre dimensiones mínimas, distribución funcional de áreas, requisitos eléctricos, materiales de blindaje y flujos de pacientes y personal. Además, incluye la validación de los lineamientos mediante la construcción de un modelo tridimensional que permite comprobar la viabilidad de las propuestas en un entorno digital.

De esta manera, la investigación no solo diagnostica los problemas existentes, sino que aporta una herramienta práctica y de aplicación inmediata para instituciones de salud, arquitectos, ingenieros y profesionales biomédicos. El resultado es una propuesta que busca mejorar la infraestructura hospitalaria, garantizar la seguridad radiológica, fortalecer la calidad del servicio de imagenología y contribuir a la sostenibilidad operativa de los establecimientos sanitarios.

II. PROBLEMA

En Ecuador, muchas áreas de rayos X aún no cumplen con los estándares normativos exigidos por las autoridades de salud, como los lineamientos del Consejo Nacional de Radioprotección, el Reglamento Sanitario Nacional o las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Esta deficiencia normativa puede derivar en una mala disposición de los equipos, errores en los cálculos de blindaje radiológico, inadecuada zonificación de áreas y deficiente ventilación o iluminación, lo que compromete directamente la seguridad radiológica, la eficiencia operativa y la salud del personal médico [1].

Por esa razón, uno de los principales problemas radica en la falta de cumplimiento de regulaciones tanto nacionales como internacionales, lo cual afecta no solo la seguridad radiológica sino también el flujo de trabajo dentro de las salas. En muchas ocasiones, se observa una disposición incorrecta de accesos, equipos y barreras físicas que no permiten una circulación fluida ni una atención adecuada. Esta situación puede generar exposiciones innecesarias a la radiación, retrasos en los procedimientos, dificultades en el ingreso o mantenimiento de equipos y costos operativos elevados [2].

A esto se suma la falta de uso de herramientas digitales, que permiten anticipar estos errores desde la fase de diseño. En la mayoría de los casos, las decisiones de diseño se toman de forma tradicional, sin considerar el modelado digital ni la integración de normativas en el proceso constructivo. Esto conlleva a improvisaciones en obra, rediseños costosos o incluso sanciones por incumplimientos normativos.

Según la Norma Técnica para las actividades de licenciamiento y operación en radiología intervencionista, radiodiagnóstico médico, odontológico y veterinario del Ministerio de Salud Pública del Ecuador (2022), los errores más frecuentes que impiden la obtención de la licencia institucional tipo C misma que sirva para habilitar a los establecimientos de salud a instalar y operar equipos generadores de radiación ionizante, garantizando que las condiciones de seguridad radiológica, infraestructura y protocolos cumplan con los estándares exigidos por la autoridad competente, incluyen la falta de cálculo de blindajes, mala zonificación, deficiente señalización, y ausencia de protocolos de mantenimiento o control de dosis. Estas fallas ponen en evidencia una brecha significativa entre el diseño proyectado y el cumplimiento de estándares mínimos de seguridad y funcionalidad en las salas de rayos X [3].

En este contexto, se vuelve urgente desarrollar una guía de diseño y modelado específica para áreas de rayos X, que integre la metodología de modelado de información de construcción (BIM), como herramienta para garantizar el cumplimiento normativo, una adecuada distribución de espacios y equipos, y un flujo de trabajo eficiente, contribuyendo a una mayor seguridad, funcionalidad y sostenibilidad de los servicios de imagenología en el país.

III. JUSTIFICACIÓN

La implementación de una guía de diseño y modelado de áreas de rayos X mediante la metodología BIM es esencial para mejorar la seguridad radiológica, el cumplimiento normativo, la eficiencia operativa y la calidad del servicio médico en las instituciones de salud en Ecuador.

La metodología BIM permite crear un modelo 3D inteligente del entorno construido, que contiene información detallada sobre la infraestructura, equipos biomédicos, instalaciones eléctricas y demás elementos relevantes para una correcta planificación. Esta herramienta favorece la integración de todos los sistemas necesarios para el funcionamiento adecuado de una sala de rayos X, permitiendo detectar interferencias, calcular blindajes con precisión, y asegurar una correcta zonificación según los estándares técnicos y normativos vigentes.

El uso de BIM en el diseño de áreas de rayos X tiene el potencial de:

1. Asegurar el cumplimiento normativo en materia de protección radiológica, distribución espacial y accesibilidad.
2. Optimizar la integración e instalación de equipos biomédicos de imagenología, mejorando la funcionalidad del espacio.
3. Reducir errores de diseño, como el mal cálculo de blindaje o la mala zonificación, que pueden comprometer la seguridad del personal.
4. Disminuir los costos operativos a largo plazo, evitando rediseños, correcciones o sanciones por incumplimiento.
5. Mejorar la planificación del flujo de trabajo médico, favoreciendo la atención continua, segura y eficiente.

A pesar de estos beneficios, el uso de BIM en el diseño de áreas de radiodiagnóstico aún no ha sido ampliamente adoptado en el sistema de salud ecuatoriano. La falta de guías técnicas específicas, sumada al desconocimiento sobre las potencialidades de esta metodología, ha llevado a que muchas instituciones realicen diseños improvisados, con escasa planificación y alta probabilidad de incumplimiento normativo.

Este proyecto busca responder a esa necesidad, desarrollando una guía técnica estructurada que integre la metodología BIM con el enfoque normativo aplicable en Ecuador, contribuyendo a mejorar la infraestructura hospitalaria, fortalecer la seguridad del personal médico y pacientes, y optimizar los procesos de diagnóstico por imagen.

IV. OBJETIVOS

IV-A. Objetivo general

Desarrollar una guía de diseño y modelado basada en la metodología BIM para un área de rayos X de segundo nivel, que garantice el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales, optimice la distribución espacial, integre adecuadamente los equipos biomédicos y mejore la seguridad y eficiencia operativa del entorno radiológico.

IV-B. Objetivos específicos

- Establecer las normativas, regulaciones, criterios técnicos y operativos necesarios para el diseño y funcionamiento de un área de rayos X.
- Realizar el diseño de una sala de rayos X de segundo nivel aplicando metodología BIM e integrando los requisitos normativos y técnicos establecidas en la guía.
- Validar la funcionalidad de la guía de diseño mediante la representación del área en un modelo tridimensional, físico o digital.

V. MARCO TEÓRICO

V-A. Metodología BIM

BIM es una metodología de trabajo colaborativa que permite la creación y gestión de representaciones digitales de las características físicas y funcionales de un proyecto. Con BIM, los profesionales pueden crear modelos tridimensionales con información sobre cada elemento que contiene el edificio, lo que facilita poder interactuar en tiempo real [4].

En el caso específico de los hospitales, BIM ofrece la posibilidad de optimizar el diseño de los espacios, analizar la eficiencia energética, coordinar la instalación de equipos médicos y gestionar el ciclo de vida del edificio [5].

V-A1. *Historia del BIM*: El concepto de modelado de información para la construcción no es reciente, tiene una larga trayectoria histórica, sus orígenes se remontan a las décadas de 1960 y 1970, periodo en el cual surgieron las primeras soluciones de diseño asistido por computadora (CAD) [6].

- 1962: Douglas Engelbart (inventor del mouse) propuso la idea de una arquitectura basada en computadoras que gestionara datos de diseño.
- 1975: Charles M. Eastman, uno de los padres del BIM, publicó un artículo titulado "The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design", que introducía el concepto de una base de datos integrada para modelar un edificio en 3D. Este trabajo fue una de las primeras visiones del BIM actual.

V-A2. Evolución de las Herramientas de Diseño:

- Años 1980: Aparecen los primeros programas CAD 2D como AutoCAD (1982), permitiendo reemplazar los planos físicos con representaciones digitales. Aunque revolucionarios, los sistemas CAD eran principalmente geométricos, sin contener datos de construcción integrados.
- 1987: La empresa Graphisoft lanza ArchiCAD, el primer software comercial que permite un "modelo virtual del edificio", marcando el primer uso funcional de lo que hoy se considera BIM [7].

La tabla 1, se presentan las principales fases BIM, las más utilizadas en cada una de ellas y ejemplos de aplicaciones específicas. Este desglose facilita comprender cómo el modelo digital evoluciona progresivamente desde la etapa de diseño (3D), pasando por la coordinación interdisciplinaria y la planificación temporal (4D), la presupuestación (5D), hasta llegar a la operación y mantenimiento (6D–7D).

Tabla 1
HERRAMIENTAS DE SOFTWARE BIM POR FASE DEL CICLO DE VIDA [8].

Fase BIM	Herramientas más usadas	Descripción	Ejemplos
Modelado 3D (Diseño)	Software de modelado paramétrico	Permiten crear representaciones digitales con atributos geométricos y de datos.	Autodesk Revit, ArchiCAD, Rhino, Vectorworks Architect, Allplan
Coordinación y detección de interferencias	Herramientas de coordinación y <i>clash detection</i>	Integran modelos de distintas disciplinas y detectan conflictos antes de la construcción.	Navisworks Manage, Solibri Model Checker, BIM-collab
Planificación 4D	Software con vinculación a cronogramas	Asocian elementos del modelo con tiempos de ejecución para simular procesos constructivos.	Synchro 4D, Navisworks Simulate, Bentley Open-Buildings
Presupuestación 5D	Integración de costes con el modelo	Extraen cantidades y vinculan precios para control presupuestario.	CostOS, Vico Office, Revit con <i>plug-ins</i> 5D
Operación y mantenimiento 6D–7D	Plataformas de gestión de activos	Usadas en fase de operación para mantenimiento preventivo y gestión energética.	Archibus, Planon, EcoDomus

V-A3. Rhino 3D:

Rhino 3D (Rhinoceros) es un software CAD basado en geometría NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines), desarrollado por Robert McNeel & Associates, utilizado para modelado 3D de alta precisión en arquitectura, diseño industrial, joyería, ingeniería y fabricación digital. Su motor NURBS permite describir curvas y superficies con exactitud matemática, sin las limitaciones de los polígonos. Rhino se utiliza en todo el ciclo de trabajo: creación, edición, análisis, renderizado, documentación, prototipado e intercambio de modelos [9].

Características principales

- **Compatibilidad:** Importa y exporta más de 30 formatos, incluyendo DWG, DXF, IGES, STEP, STL, OBJ y 3MF [9].
- **Precisión:** Capaz de manejar modelos desde milímetros hasta kilómetros sin pérdida de exactitud.
- **Extensibilidad:** Soporta *scripting* en Python y VBScript, además de un SDK para desarrollar *plugins* personalizados.
- **Renderizado:** Incluye un motor de render nativo y compatibilidad con motores como V-Ray, KeyShot y Enscape.
- **Diseño paramétrico:** Integración nativa con Grasshopper, plataforma de programación visual para modelado generativo [10].

Aplicaciones destacadas

- **Arquitectura:** Modelado de formas complejas, fachadas paramétricas, análisis de estructuras.
- **Diseño industrial:** Automotriz, naval, aeronáutico y de productos de consumo.
- **Joyería:** Modelado detallado y exportación para impresión 3D y microfundición.
- **Fabricación digital:** Corte CNC, impresión 3D, mecanizado.

La tabla 2 se especifican las configuraciones mínimas y sugeridas para el funcionamiento de Rhino v8. Estas consideraciones abarcan elementos como el sistema operativo, el procesador, la memoria RAM, la tarjeta gráfica, el almacenamiento y los periféricos, factores que condicionan la eficacia del software tanto en modelados sencillos como en renderizado de gran escala.

Tabla 2
REQUISITOS DEL SISTEMA PARA RHINO V8 [11]

Componente	Requerimiento mínimo	Requerimiento recomendado
Sistema operativo	Windows 10 o 11 (64-bit) / macOS 12 o superior	Windows 11 / macOS Sonoma
Procesador	Intel o AMD de 64 bits, 4 núcleos	Intel/AMD de última generación o Apple Silicon (Mac)
Memoria RAM	8 GB	16 GB o más
Tarjeta gráfica	Compatible con OpenGL 4.1, 4 GB de VRAM	OpenGL 4.5+, 8 GB VRAM para modelos grandes
Almacenamiento	5 GB libres en disco	SSD con espacio adicional para proyectos grandes
Periféricos	Ratón con rueda de desplazamiento	Ratón 3D o tableta gráfica para precisión extra

V-A4. *Consolidación del BIM (1990–2000)*: Durante este periodo, se desarrollan herramientas más sofisticadas y se refuerza la idea de un modelo tridimensional que integra no solo geometría, sino también información de materiales, tiempos, costos y fases de construcción [12].

- 1992: El término “Building Model” fue utilizado por G.A. van Nederveen y F. Tolman en un artículo académico.
- 2002: Autodesk populariza el término “Building Information Modeling” al lanzar un documento donde promueve Revit como una herramienta BIM.

- A partir de aquí, otras empresas como Bentley, Nemetschek y Trimble empiezan a desarrollar soluciones BIM.

V-A5. *Estándares y Regulaciones (2000–2015):*

- 2008–2013: Gobiernos como el de Reino Unido, Finlandia, Noruega y Singapur comienzan a exigir el uso de BIM para proyectos públicos.
- 2010: Se lanza la primera versión del estándar británico BS 1192, que luego daría paso a la serie ISO 19650, el estándar internacional de gestión de la información en proyectos BIM.
- 2013: Reino Unido anuncia que el uso de BIM será obligatorio en todos los contratos públicos a partir de 2016 (Nivel 2 BIM).
- 2015: El Foro Internacional de Construcción Inteligente (buildingSMART) promueve el uso de IFC (Industry Foundation Classes) como formato abierto para la interoperabilidad entre softwares BIM [13].

V-A6. *BIM en la Actualidad:* Actualmente, la metodología BIM es reconocida como una norma global en el sector de la construcción, siendo ampliamente utilizada en iniciativas relacionadas con arquitectura, ingeniería e infraestructura. Algunos de los avances más recientes comprenden:

- Integración con metodologías como Lean Construction y GIS.
- Uso de BIM 4D, 5D, 6D y 7D, que incorporan cronogramas, costos, sostenibilidad y gestión del ciclo de vida del activo.
- Implementación en Latinoamérica: Países como Chile, México, Brasil y Colombia ya tienen políticas públicas de adopción de BIM. En Ecuador, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas ha empezado iniciativas para su inclusión en licitaciones públicas [14].

La tabla 3 que se presenta a continuación se identifican los tipos de hardware más relevantes para la aplicación de BIM, junto con sus características, equipos sugeridos y usos a lo largo de las fases del ciclo de vida del proyecto. Dichos dispositivos, que abarcan desde estaciones de trabajo potentes hasta herramientas móviles y sistemas inmersivos de VR/AR, cumplen funciones específicas orientadas a mejorar la eficiencia en el diseño, la construcción, la gestión operativa y el mantenimiento de edificaciones e infraestructuras.

Tabla 3
HARDWARE PARA USO DE METODOLOGÍA BIM [15].

Tipo de hardware	Descripción	Ejemplos / Especificaciones recomendadas	Uso en BIM
Estaciones de trabajo	PCs de alto rendimiento con GPU dedicada	Intel i7/i9, 32–64 GB RAM, GPU NVIDIA RTX	Modelado y renderizado de grandes proyectos
Dispositivos de captura láser	Escáneres 3D LiDAR	Leica BLK360, Faro Focus	Nube de puntos para as-built
Drones	Vehículos aéreos no tripulados con cámara 4K o LiDAR	DJI Matrice 300 RTK, Parrot Anafi AI	Levantamientos topográficos y seguimiento de obra
Tabletas y móviles	Dispositivos para visualización en campo	iPad Pro, Samsung Galaxy Tab	Visualización AR/VR de modelos BIM
Equipos VR/AR	Dispositivos de realidad virtual y aumentada	Oculus Quest, Microsoft HoloLens	Revisión inmersiva de proyectos

V-A7. *Herramientas BIM según disciplina de la ingeniería:*

En el ámbito arquitectónico, las herramientas BIM constituyen un soporte esencial para el diseño paramétrico y la generación automatizada de documentación. Entre las plataformas más empleadas destacan Revit, ArchiCAD, Allplan y Rhino en conjunto con Grasshopper, que facilitan tanto la elaboración de creación de modelos tridimensionales como la integración de normativas locales en el diseño. Su aplicación práctica se la puede notar en proyectos como hospitales o centros educativos, donde se requiere coordinación interdisciplinaria [16].

Las soluciones BIM dirigidas a la ingeniería estructural permiten el análisis y la representación detallada de elementos en acero y hormigón. Programas como Tekla Structures y Advance Steel proporcionan herramientas avanzadas para el cálculo estructural y la optimización de conexiones. Asimismo, softwares como ETABS y SAP2000 pueden integrarse a entornos BIM para reforzar los análisis. Estas herramientas se aplican en la planificación de infraestructuras de gran escala, como edificaciones de varios niveles, y así garantizando seguridad y eficiencia en el uso de materiales [17].

Su porte radica en el cálculo de cargas, el trazado eficiente de ductos y la coordinación interdisciplinaria, reduciendo los conflictos durante la fase constructiva mediante la detección temprana de interferencias. Estas herramientas son especialmente significativas en instalaciones hospitalarias, donde los sistemas deben ajustarse a altos estándares de seguridad y eficiencia [18].

El uso de BIM no se limita a la fase de diseño o construcción, sino que también se desarrolla al mantenimiento y operación de las edificaciones. Herramientas como Archibus, Planon y Maximo de IBM permiten gestionar los activos, realizar mantenimiento preventivo y controlar los costos asociados al ciclo de vida de la infraestructura. Esta dimensión, conocida como BIM 7D, es ampliamente utilizada en hospitales y grandes centros logísticos, donde resulta indispensable una administración eficiente de los recursos físicos [19].

Además de las áreas tradicionales, existen aplicaciones BIM en campos complementarios. En geotecnia, softwares como PLAXIS y Bentley gINT permiten estudiar la interacción suelo-estructura. En sostenibilidad y eficiencia energética, herramientas como DesignBuilder, IES VE y Green Building Studio posibilitan la simulación de consumos energéticos y el análisis de certificaciones ambientales [20].

Las herramientas BIM, al estar separadas por disciplina, permiten una cercanía especializada a cada fase del ciclo de vida de un proyecto. La arquitectura se enfoca en el diseño y la normativa, las estructuras en la resistencia y seguridad, MEP en las instalaciones técnicas y la infraestructura en obras civiles. A su vez, disciplinas como la geotecnia, la sostenibilidad y la gestión de obra complementan este ecosistema. De esta manera, el uso integrado de estas soluciones posibilita el desarrollo de modelos federados BIM, que optimizan la coordinación interdisciplinaria, reducen errores y potencian la eficiencia en proyectos de alta complejidad [18].

La tabla 4 exponen las herramientas BIM más representativas por área de la ingeniería, subrayando sus características principales y casos de aplicación.

Tabla 4
HERRAMIENTAS POR DISCIPLINA DE INGENIERÍA [21].

Disciplina	Herramientas BIM específicas	Funcionalidades clave	Ejemplo de uso
Arquitectura	Revit, Rhino, ArchiCAD, Allplan	Modelado paramétrico, documentación automática	Diseño de áreas hospitalarias con normativa local
Estructuras	Tekla Structures, Advance Steel	Modelado de acero y hormigón, análisis estructural	Optimización de pórticos metálicos
MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing)	MagiCAD, CYPE MEP, Revit MEP	Modelado de redes, cálculo de cargas	Diseño HVAC con detección de interferencias
Infraestructura	Civil 3D, OpenRoads Designer	Modelado de carreteras, puentes	Integración con GIS y topografía
Facility Management	Archibus, Planon	Gestión de activos y mantenimiento	Gestión de un hospital con BIM 7D

V-A8. Aplicaciones de BIM en el Sector Salud:

El empleo de la metodología BIM en la planificación de hospitales y unidades de salud proporciona beneficios significativos, al dar acceso al modelado detallado de aspectos esenciales como las redes de gases médicos, las instalaciones electromecánicas, los blindajes, los flujos de circulación de usuarios y personal, así como la verificación

del cumplimiento normativo y los procesos de esterilización [22].

V-A9. Aplicación de BIM en el diseño hospitalario:

La planificación y construcción de hospitales y centros médicos representa un reto significativo para la industria, dado el alto grado de complejidad funcional y las rigurosas exigencias normativas que los caracterizan. El modelado BIM se ha convertido en un recurso esencial para enfrentar tales desafíos, pues facilita la coordinación de arquitectura, estructuras e instalaciones en un modelo centralizado [23].

Otro aspecto fundamental en los proyectos hospitalarios corresponde a la implementación de blindajes radiológicos. La metodología BIM facilita la simulación de los espesores requeridos de hormigón y plomo en zonas de diagnóstico por imagen, medicina nuclear y radioterapia, asegurando condiciones seguras para usuarios y personal sanitario, a la vez que respalda el cumplimiento de regulaciones internacionales y locales en materia de radioprotección [24].

El uso de modelos digitales favorece la planificación de la movilidad dentro de hospitales y centros de salud, optimizando trayectorias y disminuyendo los riesgos de contaminación cruzada. Gracias a estas simulaciones es posible representar flujos de esterilización, separar áreas limpias de las contaminadas y definir accesos independientes para personal sanitario, pacientes y materiales. Esto contribuye a incrementar la eficiencia en la operación y a consolidar las estrategias de control de infecciones [25].

V-B. Aplicación de la Metodología BIM en el Diseño de Áreas de Rayos X

El enfoque BIM se orienta a la creación y gestión de representaciones digitales que integran las dimensiones físicas y operativas de una edificación. En lo referente a las áreas destinadas a rayos X, BIM proporciona:

- Modelado 3D: Representación tridimensional precisa de los espacios, facilitando la visualización y planificación.
- Simulación de Flujos: Análisis de los flujos de personas y equipos, optimizando la distribución espacial.
- Integración de Normativas: Incorporación de requisitos normativos en el modelo, asegurando el cumplimiento desde la fase de diseño.
- Detección de Conflictos: Identificación de interferencias entre elementos del diseño, reduciendo errores en la construcción.
- Planificación de Costos y Tiempos: Estimación precisa de recursos necesarios, optimizando presupuestos y plazos [26].

V-B1. Interoperabilidad y Modelado Paramétrico:

Debido a la interoperabilidad que proporciona BIM, es posible integrar en un entorno común los modelos arquitectónicos, estructurales y de instalaciones, facilitando la coordinación interdisciplinaria y el cumplimiento de normativas en áreas técnicas de radiodiagnóstico. Por su parte, el modelado paramétrico ofrece la capacidad de configurar componentes mediante reglas geométricas, asociándolos a parámetros como densidad, espesores de blindaje o resistencia mecánica, los cuales resultan determinantes en el diseño de espacios de radiación [27].

V-B2. Detección de Conflictos:

Cuando en un mismo espacio confluyen infraestructuras críticas, tales como electricidad, climatización, redes de gases y blindajes, el uso de BIM facilita la identificación anticipada de conflictos entre sistemas. Gracias a ello, se minimizan fallos en la construcción que, de no preverse, resultarían costosos y potencialmente peligrosos [28].

V-B3. Simulación y Validación:

BIM permite simular el flujo de usuarios, circulación del personal médico y procesos de atención. Estas simulaciones apoyan la validación del diseño en cuanto a funcionalidad y cumplimiento de protocolos médicos y de bioseguridad [29].

V-B4. Documentación Automatizada:

BIM posibilita la generación automática y consistente con el modelo 3D de planos, secciones, detalles técnicos, cronogramas y presupuestos. Gracias a ello, se incrementa la precisión de la documentación entregada y se optimiza el tiempo requerido para la validación por organismos reguladores [30].

V-C. Rayos X.

Se denomina rayos X a una forma de radiación electromagnética de alta energía, semejante a la luz visible, aunque con una longitud de onda mucho más reducida. Esta condición les otorga la capacidad de penetrar materiales opacos, incluyendo tejidos biológicos, plásticos, madera y, en algunos casos, metales de baja densidad. Sus propiedades más relevantes son [31]:

- Longitud de onda corta: Entre 0.01 y 10 nanómetros.
- Alta energía y frecuencia: Esto les permite atravesar cuerpos y ser absorbidos en distintos grados según la densidad del material.
- Ionizantes: Tienen suficiente energía para ionizar átomos, lo que puede dañar tejidos biológicos si hay una exposición prolongada [32].

V-C1. Tipos de Rayos X.: Existen diferentes tipos de rayos X, según su energía, uso y la tecnología involucrada:

Según su energía:

Rayos X de baja energía:

- Presentan longitudes de onda relativamente mayores, lo que se traduce en una menor energía.
- Son absorbidos con facilidad por los materiales, lo que limita su capacidad de penetración en los tejidos.
- Se aplican principalmente en procedimientos diagnósticos, como radiografías dentales y estudios de huesos poco profundos [33].

Rayos X de alta energía:

- Presentan longitudes de onda más cortas y más alta energía, lo que les permite penetrar materiales más densos.
- Se usan en aplicaciones como la tomografía computarizada (TC) y en el tratamiento de ciertos tipos de cáncer (radioterapia) [33].

Según su uso:

Rayos X convencionales (Radiografía simple):

- Este tipo de rayos es usado principalmente en la medicina para crear imágenes bidimensionales del interior del cuerpo.
- En una placa de rayos X, se obtiene una imagen de la densidad de los diferentes tejidos del cuerpo. Los huesos aparecen blancos, mientras que los tejidos blandos son más oscuros.
- Se usan comúnmente para diagnosticar fracturas óseas, enfermedades pulmonares (como la neumonía) y otras patologías [34].

Rayos X de contraste:

- Se aplican con un medio de contraste (como el yodo o el bario) que facilita a resaltar áreas específicas del cuerpo, como el sistema digestivo, vascular o urinario.
- Este tipo de rayos X es importante en estudios como las radiografías de esófago, estómago, intestinos, y angiografía (para estudiar los vasos sanguíneos) [35].

Rayos X para Mamografía:

- La mamografía es un tipo especializado de radiografía utilizada para detectar cáncer de mama. Utiliza rayos X de baja energía y produce imágenes muy detalladas de los tejidos mamarios.
- Este tipo de estudio es crucial para la detección temprana de tumores [36].

Rayos X de Fluorescencia:

- Utilizados en técnicas de espectroscopía para identificar la composición de materiales, incluidos los elementos químicos presentes en un objeto.

- Son comunes en investigaciones científicas, como la identificación de elementos en muestras arqueológicas o geológicas [37].

Radioterapia con rayos X:

- Los rayos X de alta energía se utilizan en el tratamiento de ciertos tipos de cáncer, para destruir o dañar las células cancerígenas. Esta terapia se basa en el principio de que las células malignas son más sensibles a los rayos X que las células normales [38].

V-C2. *Principios Físicos de Producción:*

Generación de rayos X

Dentro de un tubo de rayos X, los electrones liberados en el filamento del cátodo se aceleran gracias a la diferencia de potencial (kVp) y colisionan con el blanco metálico del ánodo. Estas interacciones originan dos formas de radiación. Una de ellas es la radiación de frenado o Bremsstrahlung, la cual surge cuando los electrones son desacelerados por el campo eléctrico de núcleos de elevado número atómico, dando como resultado un espectro energético continuo, cuya energía máxima está definida por el voltaje aplicado. La radiación característica surge cuando un electrón proyectado impacta contra el blanco y expulsa a un electrón de una de sus capas internas. Al producirse la transición de un electrón externo hacia la vacante, se emiten fotones con energías específicas del material utilizado. En el caso de un tubo con blanco de tungsteno, el espectro se compone principalmente de radiación de frenado, sobre la cual destacan picos discretos propios de la radiación característica del tungsteno [39].

Componentes del tubo de rayos X

El tubo se ubica en una carcasa protectora revestida con plomo, diseñada para absorber la radiación secundaria y ofrecer estabilidad estructural. Dentro de esta carcasa se encuentra una envoltura metálica o de vidrio que asegura el vacío indispensable para el tránsito de electrones sin colisiones, la cual incluye una ventana fina destinada a la emisión del haz útil.

El electrodo negativo, denominado cátodo, se compone de uno o dos filamentos de tungsteno con adición de torio. Al calentarse a través de un circuito eléctrico, dichos filamentos liberan electrones por efecto termoiónico. Una copa de enfoque, generalmente de molibdeno o níquel, se encarga de dirigir esta nube de electrones hacia el punto focal situado en el ánodo. El ánodo, identificado como el electrodo positivo, cumple tres funciones esenciales: conducir la corriente, servir de objetivo para las interacciones entre electrones y átomos, y disipar el calor generado [40], como se presenta en la figura 1.

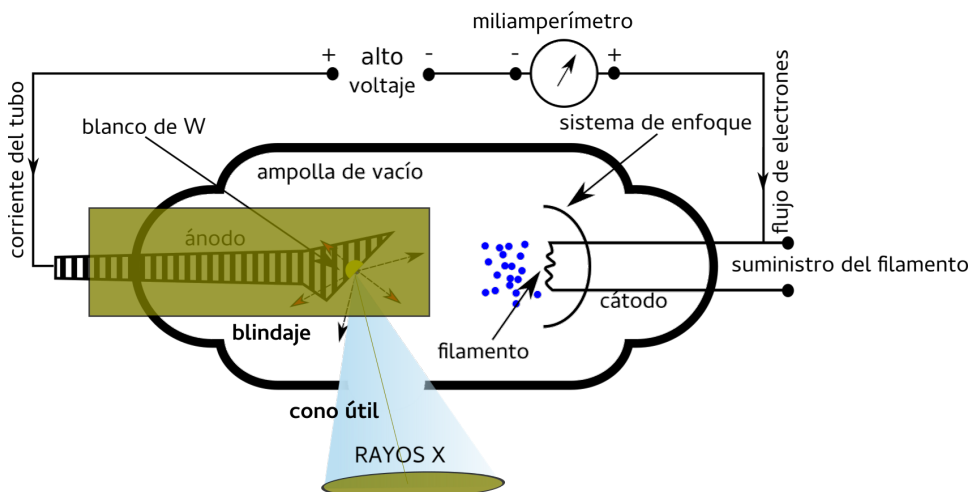


Figura 1. Esquema de un tubo de rayos X dentro de su carcasa protectora [41].

En radiología, la correcta identificación de las zonas de exposición es clave para el cálculo del blindaje. El haz de rayos X puede clasificarse en primario (dirigido al receptor), de fuga (emitido por el cabezal del tubo) y disperso (resultado de la interacción con el paciente u objetos). Para su control se emplean barreras primarias, destinadas al haz directo, y barreras secundarias, que protegen frente a la dispersión y la fuga. Esta diferenciación permite dimensionar el blindaje según el tipo y la dirección de la radiación, como se muestra en la figura [40], como se presenta en la figura ??.

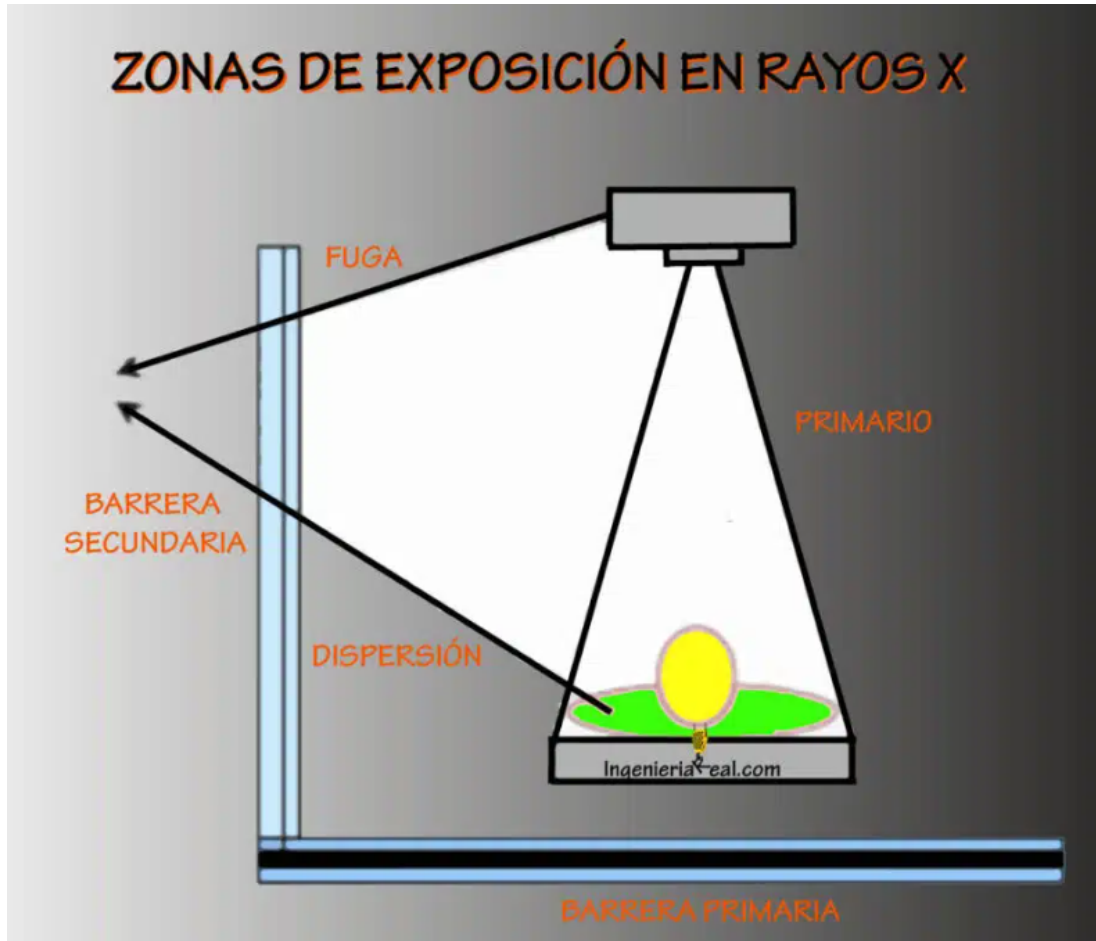


Figura 2. Zona de exposición en rayos x [42].

Parámetros eléctricos

La calidad y cantidad del haz de rayos X dependen directamente de los parámetros eléctricos. El kilovoltaje pico (kVp) regula la energía cinética de los electrones: un aumento en este valor incrementa la penetración del haz y la dosis absorbida, pero puede comprometer el contraste de la imagen por mayor dispersión. El miliamperaje (mA) define cuántos electrones alcanzan el ánodo por segundo; duplicar este parámetro implica duplicar los fotones emitidos y la dosis, sin modificar la distribución energética del espectro. El tiempo de exposición, a su vez, corresponde al lapso en que circula corriente entre cátodo y ánodo, y junto con el mA define el producto mAs, directamente proporcional al número de rayos X producidos. En radiografía se utilizan tiempos muy cortos (en milisegundos) para evitar artefactos de movimiento, ajustando el mA hacia arriba para conservar el mismo valor de mAs [43].

V-C3. Efectos Biológicos de los Rayos X:

Efectos deterministas (no estocásticos)

Se presentan únicamente cuando la dosis absorbida supera un umbral específico, incrementándose la severidad del daño conforme aumenta la exposición [44]. Entre los ejemplos más comunes se encuentran eritema cutáneo, alopecia, cataratas y esterilidad. Para prevenirlos, existen límites de dosis establecidos por normativa, como el valor anual permitido para el cristalino [45].

Efectos estocásticos

En este caso, no se reconoce un umbral definido; lo que varía con la dosis es la probabilidad de aparición del daño, mientras que la gravedad permanece independiente de ella. Entre los efectos más frecuentes se incluyen cáncer y alteraciones genéticas. El riesgo se explica bajo un modelo acumulativo y de naturaleza probabilística [46].

Radiosensibilidad celular y tisular

Las células con elevada actividad mitótica o con bajo grado de diferenciación presentan mayor susceptibilidad a la radiación, como ocurre con la médula ósea, los linfocitos y las células germinales. En contraste, tejidos como músculos y neuronas muestran mayor resistencia. La radiosensibilidad también se encuentra condicionada por la fase del ciclo celular —siendo la etapa G2/M la más vulnerable— y por la capacidad de reparación del ADN [47].

V-C4. Interacciones de los rayos X con la materia:

Efecto fotoeléctrico

El **efecto fotoeléctrico** tiene lugar cuando un fotón de rayos X transfiere la totalidad de su energía a un electrón de una capa interna del átomo (usualmente K o L). Como resultado, el electrón es expulsado (fotoelectrón) y el átomo queda ionizado. La probabilidad de este proceso aumenta con fotones de baja a media energía y en materiales con alto número atómico (Z), debido a la mayor energía de enlace. Este fenómeno resulta esencial en la radiología diagnóstica para generar contraste entre tejidos con distinta composición elemental, como sucede entre hueso y tejido blando [48].

Efecto Compton

El denominado efecto Compton ocurre cuando un fotón de rayos X interacciona con un electrón débilmente ligado de las capas externas de un átomo, transfiriéndole parte de su energía y modificando su trayectoria. El electrón liberado recibe el nombre de electrón de retroceso, mientras que el fotón dispersado conserva energía suficiente para seguir interactuando con la materia. Este fenómeno predomina en tejidos blandos con energías intermedias (30–150 keV), siendo la principal fuente de dispersión que reduce la calidad de la imagen y eleva la dosis recibida por el personal [49].

Producción de pares

La producción de pares se manifiesta cuando un fotón con energía superior a 1,022 MeV interactúa con el campo electromagnético del núcleo y se convierte en un par electrón–positrón. Aunque este proceso no tiene relevancia en radiología diagnóstica, al requerir energías muy superiores a las empleadas en rayos X médicos, adquiere importancia en la radioterapia de alta energía y en la física nuclear [50].

V-C5. Espectro Electromagnético:

El espectro electromagnético abarca todas las formas de radiación electromagnética, organizadas según su longitud de onda o frecuencia. Todas estas ondas viajan a la velocidad de la luz en el vacío, aunque difieren en energía, capacidad de penetración y aplicaciones [51], como se muestra en la figura [40], como se presenta en la figura 3.

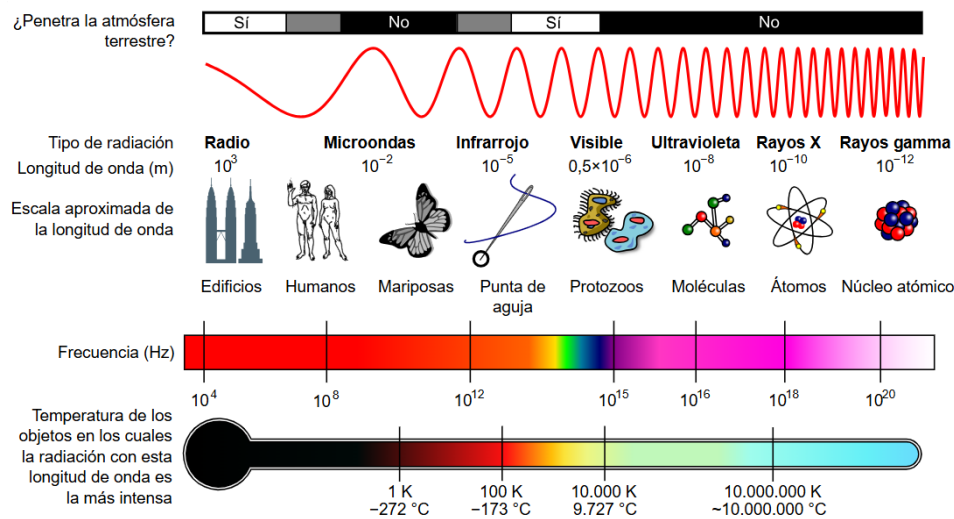


Figura 3. Esquema del espectro electromagnético, mostrando la relación entre longitud de onda, frecuencia y forma de radiación [52].

Principales bandas del espectro

En orden ascendente de frecuencia (y descendente de longitud de onda):

- **Ondas de radio:** Se extienden desde longitudes de onda de varios kilómetros hasta el rango milimétrico, con frecuencias menores a 300 GHz. Se emplean en radio, televisión, comunicaciones inalámbricas y sistemas de radar [53].
- **Microondas:** Comprenden longitudes de onda entre 1 mm y algunos centímetros, con frecuencias desde 300 MHz hasta decenas de GHz. Tienen aplicaciones en redes Wi-Fi, hornos de microondas, radares y comunicaciones vía satélite [54].
- **Infrarrojo (IR):** Cubre el rango de 780 nm a 1 mm, con frecuencias aproximadas entre 300 GHz y 430 THz. Se utiliza en sistemas de termografía, visión nocturna y telecomunicaciones ópticas [54].
- **Luz visible:** Incluye longitudes de onda entre 380 y 750 nm, con frecuencias de 400 a 790 THz. Es la única región perceptible por el ojo humano y se aplica en iluminación, fotografía y tecnologías ópticas [53].
- **Ultravioleta (UV):** Abarca de 10 a 400 nm, con frecuencias superiores a 790 THz. Se utiliza en procesos de esterilización, estudios biológicos y técnicas de espectroscopía [54].
- **Rayos X:** Se sitúan entre 10 pm y 10 nm, con frecuencias de 30 PHz a 30 EHz. Son esenciales en diagnóstico médico, investigaciones físicas y cristalografía [53].
- **Rayos gamma:** Con longitudes menores a 10 pm y frecuencias por encima de 30 EHz, encuentran aplicación en radioterapia, astronomía de altas energías y estudios de carácter nuclear [53].

La tabla 5 se sintetizan las bandas fundamentales del espectro electromagnético, señalando sus respectivos rangos de longitud de onda, frecuencias estimadas y usos más comunes. Esta clasificación evidencia la amplitud de aplicaciones de la radiación electromagnética en áreas como telecomunicaciones, imagen fotográfica, astronomía, estudios nucleares y, particularmente, en medicina diagnóstica mediante rayos X.

Tabla 5
BANDAS DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO Y SUS APLICACIONES [55].

Banda	Longitud de onda	Frecuencia aprox.	Aplicaciones comunes
Ondas de radio	> 1 mm (hasta km)	< 300 GHz	Radio, TV, comunicaciones inalámbricas, radar
Microondas	1 mm – varios cm	300 MHz – varios GHz	Wi-Fi, hornos de microondas, radares, comunicaciones satelitales
Infrarrojo (IR)	780 nm – 1 mm	300 GHz – 430 THz	Termografía, visión nocturna, telecomunicaciones ópticas
Visible	380–750 nm	400–790 THz	Visión humana, iluminación, fotografía, espectroscopía óptica
Ultravioleta (UV)	10–400 nm	> 790 THz	Esterilización, espectroscopía, estudios biológicos
Rayos X	10 pm – 10 nm	30 PHz – 30 EHz	Diagnóstico médico, física nuclear, cristalografía
Rayos gamma	< 10 pm	> 30 EHz	Radioterapia, astronomía, investigación nuclear

V-D. Parámetros técnicos

La dosis administrada al paciente y la calidad de la imagen radiográfica se encuentran limitadas por los parámetros técnicos seleccionados durante el procedimiento. Entre los más influyentes logran resaltar el kilovoltaje pico (kVp), la corriente (mA), el tiempo de exposición, la distancia fuente–imagen (SID), así como el uso de rejillas antiscatter y normas de ajuste como la regla del 15 por ciento. Estos factores determinan tanto la cantidad como la energía de los fotones del haz, modificando la penetración, el contraste, la nitidez y la protección radiológica [56].

- **kVp (kilovoltaje pico):** controla la energía y penetración del haz.
- **mA (miliamperios):** controla la cantidad de electrones emitidos y, por tanto, la intensidad del haz.
- **Tiempo de exposición:** determina la duración de la emisión.

En la tabla 6 se resumen los parámetros técnicos más relevantes, su vínculo con la exposición y sus efectos adicionales. Comprender estas variables permite al profesional obtener imágenes diagnósticas de calidad aplicando el principio ALARA, lo cual garantiza la menor dosis posible para el paciente.

Tabla 6
PARÁMETROS TÉCNICOS EN RAYOS X Y SUS EFECTOS EN LA EXPOSICIÓN [57]

Parámetro	Lo que controla	Relación con exposición	Efectos adicionales / Comentarios clave
kVp (kilovoltaje pico)	Energía máxima del haz; capacidad de penetración	Exposición \propto kVp ⁵	Aumentar kVp mejora la penetración pero reduce el contraste debido al efecto Compton; cada aumento del 15 % duplica la exposición
mA (miliamperios)	Cantidad de electrones emitidos \rightarrow producción de fotones	Relación lineal	Afecta directamente la señal (cantidad de fotones) y la SNR; no altera el contraste ni la energía del haz
Tiempo (s)	Duración de emisión del haz	Relación lineal	Mayor tiempo de exposición = más fotones, mayor dosis; tiempos largos pueden inducir movimiento y producir borrosidad
mAs (mA \times tiempo)	Total de fotones emitidos durante la exposición	Relación lineal	Permite mantener exposición constante intercambiando mA y tiempo (ley de reciprocidad)
Distancia (SID)	Separación entre tubo y receptor	Exposición \propto 1/SID ²	A mayor distancia, menor exposición; requiere compensación con mA o tiempo
Factor Bucky (grid)	Atenuación por rejilla antiscatter	Exposición \propto 1/Bucky	Mejora el contraste pero reduce la exposición; se compensa aumentando mA o mAs
Regla del 15 %	Ajuste rápido entre kVp y mAs	Aumentar kVp en 15 % \approx duplicar exposición	Permite reducir mAs a la mitad si se incrementa kVp en un 15 %

V-E. Normativas para la Construcción de Áreas de Rayos X.

Se denomina radiación ionizante a aquella capaz de arrancar electrones de los átomos, produciendo iones. En medicina, su uso es importante en diagnóstico y tratamiento, con los rayos X como una de sus formas más usadas. En radiodiagnóstico, esta radiación logra obtener imágenes internas del cuerpo humano, permitiendo detectar enfermedades.

Sin embargo, la exposición a radiación ionizante puede generar efectos adversos sobre la salud, como lesiones de quemaduras y efectos estocásticos (neoplasias). De ahí la necesidad de establecer y cumplir medidas de protección radiológica que mitiguen tales riesgo [58].

V-EI. Normativas Nacionales:

Las áreas de rayos X en instituciones de salud deben ser diseñadas para garantizar la seguridad radiológica, la eficiencia operativa y el bienestar del personal y los pacientes. El diseño adecuado de estas áreas implica:

- **Reglamento de Seguridad Radiológica (Decreto Supremo No. 3640, 1979):** Este reglamento establece lineamientos generales para la adquisición, utilización y control de equipos generadores de radiación ionizante, entre ellos las máquinas de rayos X. Su finalidad principal es proteger la salud y seguridad de la población, así como preservar el medio ambiente frente a la posible contaminación por elementos radiactivos de origen natural o antropogénico [59].
- **Ley Orgánica de Salud (2006):** En el artículo 121 se determina que las entidades públicas o privadas que cuenten con personal expuesto a radiación ionizante deben cumplir con la normativa emitida por el organismo competente en la materia o, en su defecto, acogerse a lo dispuesto en convenios internacionales vigentes [3].
- **Normas Técnicas del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR):** Elaboradas por la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN), regulan las actividades de licenciamiento y operación de prácticas relacionadas con radiaciones ionizantes, incluidas las de radiología médica y odontológica. Estas disposiciones contemplan la clasificación de prácticas según nivel de riesgo, los tipos de licencias institucionales y personales, así como los criterios de protección radiológica [3].

- **Resolución MPCEIP-SC-2020-0177-R:** Mediante esta resolución se aprueba y se oficializa con carácter obligatorio la Modificatoria 1 del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 186 (1R), el cual define los requisitos técnicos aplicables a equipos y sistemas electromédicos, incluyendo aquellos utilizados para la generación de rayos X [60].

La construcción y operación de instalaciones de radiodiagnóstico exige el cumplimiento estricto de normativas de seguridad radiológica, tanto nacionales como internacionales. Estas disposiciones establecen criterios técnicos que engloban aspectos de diseño arquitectónico, medidas de protección, procedimientos de control de calidad y mantenimiento de los equipos emisores de radiación ionizante [61].

La tabla 7 que se presenta a continuación resume las normativas más representativas, indicando su ámbito de aplicación, los elementos que regulan y los organismos emisores.

Tabla 7
NORMATIVAS DE CONSTRUCCIÓN DE ÁREAS DE RAYOS X [62].

Norma / Guía	Alcance	Aspectos que regula	Organismo emisor
Reglamento Sanitario de Radioprotección del Ecuador	Aplicación de medidas de protección radiológica en instalaciones con equipos emisores de radiación ionizante	Blindaje estructural, diseño de salas, control de dosis ocupacional y pública, señalización	Ministerio de Salud Pública del Ecuador
Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2266	Requisitos técnicos para instalaciones de radiodiagnóstico médico	Especificaciones de grosor de blindaje, ubicación de barreras primarias y secundarias, control de fugas	INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización)
Guía ARCSA-GS-05-2017	Habilitación y control de establecimientos de salud con equipos de rayos X	Procedimientos de inspección, mantenimiento preventivo, requisitos de infraestructura	ARCSA (Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria)
NCRP Report No. 147	Cálculo de blindajes en instalaciones de diagnóstico médico	Determinación de espesores de plomo u hormigón, carga de trabajo, distancia y uso	NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements, EE.UU.)
IAEA Safety Standards Series No. SSG-46	Protección radiológica en instalaciones de diagnóstico y terapia	Recomendaciones sobre diseño seguro, señalización, ventilación, flujo de pacientes	IAEA (International Atomic Energy Agency)
IEC 60601-1-3	Requisitos particulares de seguridad para equipos de rayos X	Seguridad eléctrica, control de exposición, indicadores y alarmas	IEC (International Electrotechnical Commission)
Código de Regulaciones Federales 21 CFR 1020	Control de emisiones de equipos de rayos X en EE.UU.	Límites de radiación de fuga, requisitos de colimación, filtración	FDA (Food and Drug Administration, EE.UU.)
Directiva 2013/59/Euratom	Normas básicas de seguridad para protección contra radiaciones ionizantes en Europa	Límites de dosis, clasificación de áreas controladas y supervisadas, protección de trabajadores	Unión Europea

V-E2. Normativas Internacionales.:

ISO 19650: Gestión de la Información en Proyectos de Construcción

Las normas que componen la serie ISO 19650 establecen un marco de referencia para la administración de la información en todas las fases del ciclo de vida de un activo construido utilizando BIM. Su aplicación busca promover la colaboración entre las partes involucradas y asegurar la consistencia y fiabilidad de la información generada y compartida [63].

- ISO 19650-1: Conceptos y principios.
- ISO 19650-2: Fase de entrega de los activos.
- ISO 19650-4: Intercambio de información.
- ISO 19650-6: Información sobre salud y seguridad.

IEC 60601: Seguridad y Rendimiento Esencial de Equipos Médicos Eléctricos

La serie IEC 60601 establece requisitos para la seguridad básica y el rendimiento esencial de equipos médicos eléctricos, incluyendo aquellos utilizados en radiología [64].

IEC 81346: Principios de Estructuración y Designación de Referencias

La norma IEC 81346 define reglas para sistemas de designación de referencia, facilitando la organización y documentación de instalaciones complejas, como las salas de rayos X. Su aplicación en BIM permite una representación clara y estandarizada de los componentes y sistemas [65].

DICOM: Estándar para Imágenes Médicas Digitales

El estándar de DICOM es fundamental para la captura, almacenamiento y distribución de imágenes médicas. Su integración con BIM permite una gestión eficiente de la información de imágenes médicas dentro del modelo digital del edificio [66].

COBie: Intercambio de Información para la Gestión de Instalaciones

COBie es un estándar diseñado para facilitar el intercambio de información sobre activos y operaciones desde el proceso constructivo hacia la fase de uso y mantenimiento. En el contexto de proyectos BIM en el sector salud, asegura que los datos necesarios para la administración y mantenimiento de equipos médicos incluidos los sistemas de rayos X estén correctamente registrados y actualizados [67].

Normativas Nacionales e Internacionales Aplicable

Reglamento de Seguridad Radiológica (Decreto 3640) Este reglamento establece los requisitos para la protección contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes, incluyendo:

- **Blindaje:** Las paredes, piso y techo hacia los cuales pudiera apuntarse el haz útil de radiación deben tener barreras primarias de una altura mínima de dos metros sobre el nivel del piso.
- **Control de Accesos:** Se deben proveer de barreras secundarias en todas las paredes, pisos y techos que, por restricciones en la orientación del haz útil de radiación, no puedan ser afectadas directamente por dicho haz.
- **Equipos:** Cada tubo de rayos X debe estar encerrado en una cubierta tal que la exposición proveniente de fuga de radiación medida a una distancia de 1 metro del foco no exceda 100 mR en 1 hora [68].

Norma Técnica IR.003.2013-2012

Esta norma establece requisitos específicos para los equipos de rayos X, incluyendo:

- **Identificación:** Todo equipo debe disponer de placas o inscripciones visibles que aseguren su identificación precisa y legible, indicando marca, modelo o tipo, así como el número de serie correspondiente.
- **Colimación:** Es obligatorio que cuenten con un sistema de colimación que limite el campo de radiación únicamente a la zona de interés clínico.
- **Filtración:** La filtración total no debe ser inferior a 2,5 mm de Al, de los cuales al menos 1,5 mm de Al deben ser permanentes, con excepción de los equipos de mamografía.
- **Soporte ajustable:** Deben poseer un soporte regulable para el cabezal, que garantice la estabilidad del tubo durante la realización de una exposición [69].

Acuerdo MERNNR-MERNNR-2022-0004-AM.

Este acuerdo introduce modificaciones a la “Norma Técnica para las Actividades de Licenciamiento y Operación en Radiología Intervencionista, Radiodiagnóstico Médico, Odontológico y Veterinario”, en las que se destacan los siguientes aspectos:

- **Licencias:** La CEEA es la entidad encargada de otorgar licencias a las instituciones en las que se instalen equipos de rayos X, a los profesionales que los operen o que asuman la responsabilidad sobre su seguridad, así como al personal paramédico vinculado a dichas actividades.

- **Inspecciones:** Tanto las nuevas instalaciones como aquellas ya existentes que no hayan sido objeto de revisión deberán someterse a inspecciones realizadas por un inspector acreditado de la CEEA [70].

V-F. Diseño y Construcción de una Sala de Rayos X

V-F1. Dimensiones Mínimas del Ambiente:

Para las salas de rayos X, el diseño arquitectónico debe contemplar requisitos mínimos de espacio y blindaje que aseguren la protección radiológica y el correcto funcionamiento del servicio. Dichas condiciones permiten instalar y movilizar los equipos de manera adecuada, facilitan el trabajo del personal sanitario y brindan a los pacientes un ambiente seguro y confortable [68].

- Sala de rayos X: mínimo 3.5 m x 4.5 m.
- Altura mínima del blindaje: 2.10 m desde el nivel del suelo.

Estos lineamientos, recogidos en guías internacionales como el OPS WHIS-RAD y en disposiciones normativas de ámbito nacional e internacional, resultan fundamentales para cumplir con los estándares de seguridad ocupacional y la funcionalidad de la infraestructura hospitalaria, se sintetizan las recomendaciones generales en cuanto a superficie mínima, altura de blindaje, protección en techos, espacios destinados a fluoroscopia y la separación requerida entre la consola y el paciente que se presenta en la siguiente tabla 8.

Tabla 8
DIMENSIONES MÍNIMAS DEL AMBIENTE PARA SALAS DE RAYOS X [71].

Aspecto	Recomendación	Justificación / Observaciones
Superficie mínima de sala	Aproximadamente 16 m ²	Según manual OPS WHIS-RAD; suficiente para instalación y protección, pero se recomienda 24 m ² para mejor maniobrabilidad y menor exposición
Altura del blindaje (paredes)	No menor de 2.10 m desde el suelo	Garantiza protección y continuidad del blindaje en muros y puertas
Protección en techo	Usualmente requerida adicionalmente	Considerando que el blindaje de paredes alcanza 2.10 m y se debe evitar filtración por arriba
Superficie recomendada para fluoroscopia	Aproximadamente 25 m ²	Acomodar equipos tipo cabina y asegurar espacio operativo
Distancia consola-paciente	Al menos 2 m	Evita exposición directa al operador y mejora la disposición funcional

V-F2. Distribución Funcional de la Sala:

Una sala de rayos X debe contar con las siguientes áreas:

- Área de examen: donde se ubica el equipo de rayos X y el paciente.
- Área de espera: para pacientes y acompañantes.
- Vestidores y baños: para la preparación del paciente.
- Área de revelado o interpretación de imágenes: con condiciones adecuadas de iluminación y espacio.

La distribución debe permitir una circulación eficiente y segura del personal y los pacientes [72].

V-F3. Materiales para Blindaje Radiológico:

El blindaje es esencial para proteger a las personas de la radiación dispersa. Los materiales comúnmente utilizados incluyen:

- Plomo: en láminas o vinilo, con un espesor de 2 a 3 mm.
- Hormigón: con densidad adecuada para absorber la radiación.
- Placas de plomo-laminado: para paredes y techos.

- Vidrio plomado: para ventanas de observación.
 - Pinturas o recubrimientos especiales: para cubrir superficies de plomo y evitar la contaminación [68].
- Es importante que el blindaje sea continuo y sin interrupciones, incluyendo puertas, ventanas y juntas estructurales.

V-F4. *Cálculo de Blindaje Radiológico*: El blindaje radiológico tiene como finalidad reducir la exposición a la radiación ionizante a niveles aceptables para el personal médico, pacientes y público general, cumpliendo con los principios de protección radiológica establecidos por el OIEA y la ICRP, en especial el principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable) [73].

Para estimar el espesor de material requerido en las barreras primarias y secundarias de una sala de rayos X, se utiliza la ecuación 1 derivada del **NCRP Report No. 147** y del manual expresada como:

$$P = \frac{WUT}{d^2} \cdot B \quad (1)$$

Donde:

- *P*: Nivel de diseño de radiación o límite de exposición permitido (mSv/semana).
- *W*: Carga de trabajo, expresada en mA·min/semana.
- *U*: Factor de uso, proporción del tiempo que el haz incide en la barrera.
- *T*: Factor de ocupación, proporción del tiempo que un área adyacente está ocupada.
- *d*: Distancia desde el punto de origen del haz hasta el punto protegido (en metros).
- *B*: Factor de atenuación del blindaje requerido [74].

En la tabla 9, se visualiza los valores de factores de uso y ocupación para el cálculo de blindaje.

Tabla 9
FACTORES DE USO Y OCUPACIÓN PARA EL CÁLCULO DE BLINDAJE EN SALAS DE RAYOS X [75].

Factores de uso (U)	
Barrera primaria (haz directo hacia la pared/-piso/techo)	1.0
Barrera secundaria (radiación dispersa o fuga)	1.0
Techo (cuando no hay ocupación arriba)	0.25
Piso (cuando no hay ocupación abajo)	0.25
Factores de ocupación (T)	
Áreas con permanencia continua (oficinas, salas de espera, puestos de trabajo)	1.0
Salas de examen contiguas (uso frecuente)	0.5
Corredores y pasillos con tránsito moderado	0.2
Áreas de servicio (cuartos de archivo, depósitos, baños)	0.05
Áreas con acceso restringido o uso ocasional (techos, patios)	0.025
Áreas no ocupadas (espacios cerrados sin acceso)	0.0

El factor de atenuación B se relaciona con el espesor del blindaje x mediante la fórmula 2:

$$B = 10^{-\frac{x}{TVL}} \Rightarrow x = TVL \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{B} \right) \quad (2)$$

Donde:

- x : Espesor requerido del material blindado (en mm o cm).
- TVL : *Tenth Value Layer*, o capa de atenuación que reduce la radiación a un 10 % de su valor original (depende del material y energía del haz).

Los valores de TVL dependen del tipo de material (plomo, hormigón, acero) y de la energía de los rayos X. Por ejemplo, para una energía de 100 kVp:

- Plomo: $TVL \approx 0,3$ mm.
- Hormigón: $TVL \approx 6,5$ cm.

Para el diseño de blindajes en instalaciones de radiodiagnóstico es necesario tomar en cuenta los parámetros de operación de los equipos emisores de rayos X y la dosis generada en el haz primario. Estos valores son indispensables en la determinación de espesores de materiales protectores como plomo o concreto, de acuerdo con las recomendaciones internacionales (IAEA, NCRP, IEC) y la normativa nacional vigente.

La tabla 10 se sintetizan los parámetros técnicos más relevantes de los equipos comúnmente empleados en radiología diagnóstica.

Tabla 10
PARÁMETROS MÁXIMOS DE OPERACIÓN Y DOSIS EMITIDA PARA CÁLCULO DE BLINDAJE [75].

Equipo	Tensión máx. (kVp)	Corriente máx. (mA)	Carga de trabajo máx. (mA·min/semana)	Dosis en haz primario (mGy/exposición)
Densitómetro DXA STRATOS DR	80	0,5	5	<0,002
Sistema RF Discovery RF180	125	630	10 000	50–100 (radiografía); 20–40 mGy/min (fluoroscopia continua)
Mamógrafo digital	35	200	500	3–5 (por imagen)
Rayos X dental Runyes Toshiba	70	7	50	3–5
Rayos X portátil TMS 320	125	320	1 000	2–6

Magnitudes y unidades para el blindaje: diferencias entre Gy y Sv

Gray (Gy) es unidad de dosis absorbida: energía depositada por la radiación por unidad de masa ($1\text{Gy}=1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Sievert (Sv) es la unidad empleada para expresar la dosis equivalente o efectiva, incorporando factores de ponderación biológicos (w_R, w_T) con el fin de estimar el riesgo asociado a la radiación. En el caso del blindaje estructural para instalaciones de rayos X diagnósticos, los cálculos se realizan sobre magnitudes físicas como fluencia, kerma o dosis en aire y la carga de trabajo. Posteriormente, estos valores se contrastan con las metas de diseño establecidas en función de los límites de dosis efectivos (mSv) aplicables a áreas controladas y no controladas [76].

Dosis absorbida (Gy) Magnitud física: energía depositada por kg de material. Se usa directamente en modelos de atenuación y en especificaciones de detectores/materiales.

Dosis equivalente/efectiva (Sv). La dosis efectiva se define como la formula 3

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}, \quad (3)$$

con w_R (tipo de radiación) y w_T (tejido). Para rayos X, $w_R \approx 1$, por lo que numéricamente $Gy \approx Sv$ en tejidos, aunque las magnitudes representan conceptos distintos (físico vs. biológico).

En el dimensionamiento de muros/puertas/ventanas plomadas para rayos X diagnósticos:

- Se modela la atenuación usando magnitudes físicas (por ejemplo, kerma o tasa de dosis en aire, carga de trabajo, distancia, uso y ocupación).
- Se verifica el cumplimiento comparando la dosis resultante en áreas adyacentes con metas de diseño expresadas en $mSv/semana$ o $mSv/año$, derivadas de límites de dosis.

Así, se calcula con Gy (o kerma) y se comprueba con Sv. En otras palabras, Gy es la base física de los números del blindaje; Sv conecta con el riesgo y la normativa.

V-F5. *Parámetros de Diseño:*

- **Nivel de diseño (P):** Para áreas ocupadas por el público, $P = 0,02$ mSv/semana; para áreas controladas, $P = 0,1$ mSv/semana.
- **Carga de trabajo (W):** Depende del número de exámenes por semana y la técnica utilizada. Valores típicos van de 100 a 500 mA·min/semana.
- **Factores U y T :** Dependen del diseño y la ocupación de las áreas adyacentes. Por ejemplo:
 - $U = 1$ para paredes directamente impactadas por el haz.
 - $T = 1$ para oficinas; $T = 0,25$ para pasillos [74].

V-F6. *Blindaje radiológico:*

El blindaje radiológico constituye un elemento esencial en las instalaciones médicas que emplean equipos de rayos X, pues asegura la protección tanto del personal como de los pacientes. Para este propósito, se utilizan distintas barreras de protección, entre las que destacan los vidrios plomados, las placas de plomo, el hormigón de alta densidad y los dispositivos de protección personal, como los chalecos y las gafas plomadas.

Vidrios plomados

Este tipo de material se fabrica de acuerdo con normativas internacionales, como la **DIN EN 61331-2** y la **IEC 61331-2**, que certifican su capacidad de blindaje equivalente a espesores de plomo que van desde 1,25 mm hasta 6 mm, dependiendo del grosor y del tipo de vidrio [77]. Por ejemplo, un vidrio RD 50 de 8,1 mm puede ofrecer una protección equivalente que oscila entre 1,4 mm y 6 mm de Pb, en función de la energía de los rayos X empleados.

Chalecos plomados

Los delantales utilizados en radiología cuentan, por lo general, con una equivalencia protectora de 0,25 mm Pb, alcanzando hasta 0,50 mm Pb en la zona de solape frontal. Su uso debe estar supervisado por un físico médico, dado que la eficacia depende tanto de la energía del haz como del estado de conservación del material [78]. Por esta razón, se recomienda realizar controles periódicos mediante inspecciones fluoroscópicas que permitan identificar grietas o deterioro que reduzcan la capacidad protectora.

Gafas plomadas

Este tipo de protección ocular incorpora cristales con una equivalencia de 0,5 mm Pb, lo que permite disminuir la dosis absorbida por el cristalino entre 8 y 10 veces en la parte frontal, y entre 2 y 3 veces en los laterales cuando incluyen protección lateral [79]. Este aspecto resulta especialmente crítico en los procedimientos de radiología intervencionista, donde la exposición ocular es más elevada.

Hormigón de alta densidad

Se emplea como elemento de blindaje estructural en salas de radioterapia y en áreas que operan con equipos de alto voltaje. Gracias a su densidad superior a la del concreto convencional, este material proporciona una atenuación eficaz de la radiación dispersa [80].

Placas de plomo

Las láminas de plomo, disponibles en espesores que varían entre 0,5 mm y 3 mm Pb, se utilizan habitualmente en muros, puertas y cabinas. Aunque ofrecen un alto nivel de protección, presentan desventajas relacionadas con su peso considerable y la toxicidad del material [81], como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11
ESPESORES SUGERIDOS DE PLOMO PARA SALAS DE RAYOS X [42].

Rayos X (kVp)	Mínimo espesor (mm)	Mínimo espesor (pulgadas)	Peso por pie ² (lb)
75	1.0	0.039	10.5
100	1.5	0.059	4
125	2.0	0.079	5
150	2.5	0.093	7
175	3.0	0.118	8
200	4.0	0.157	10
225	2.0	0.197	13
300	9.0	0.354	24
400	15.0	0.591	38
600	34.0	1.343	81
900	51.0	2.000	120

La tabla 12 se visualiza la comparativa estimando costo entre vidrio plomado, hormigón y placas de plomo.

Tabla 12
COMPARACIÓN DE MATERIALES DE BLINDAJE Y COSTOS ESTIMADOS [82].

Material	Equivalencia Pb típica	Ventajas	Limitaciones	Costo estimado
Vidrio plomado (12 mm)	1,25 – 2,6 mm Pb	Transparente, permite visión directa del paciente	Muy caro, pesado, requiere marcos especiales	USD 290 – 330/m ²
Hormigón alta densidad	Según cálculo profesional	Económico en grandes volúmenes, robusto	No transparente, requiere estructura	USD 120 – 150/m ³
Placa/Lámina de plomo	0,5 – 3 mm Pb	Flexible, fácil de instalar en puertas y muros	Pesado, tóxico, difícil de manipular	USD 150/m ²

V-F7. Requisitos Técnicos y de Espacio:

Cada equipo requiere un área específica que debe considerar:

- Dimensiones mínimas del equipo y de operación.
- Espacios de circulación.
- Ubicación del operador con visibilidad segura.
- Aislamiento de áreas contaminadas o con exposición.

V-F8. Requisitos de Protección Radiológica:

Para garantizar la seguridad, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Blindaje continuo: sin interrupciones en muros, puertas, ventanas y juntas.
- Mamparas de protección: con dimensiones mínimas de 2.1 m de altura y 1 m de ancho, con visor de al menos 30 cm x 30 cm.
- Puertas blindadas: con cerraduras que impidan accesos no autorizados.
- Señalización adecuada: con señales de advertencia en puertas y áreas de riesgo.

- Cumplimiento del principio ALARA: minimizar la exposición a la radiación mediante control de tiempo, distancia y blindaje [83].

V-G. Equipos médicos empleados en el área de Rayos X

V-G1. Equipamiento Común en Centros de Segundo Nivel:

Los equipos de imagenología más habituales en este tipo de centros incluyen:

- Densitometría.
- Mamógrafo.
- Fluoroscopia.
- Rayos X dental.
- Rayos X convencional.

Los servicios de radiodiagnóstico en Ecuador se concentran en instituciones hospitalarias y clínicas de referencia, donde se dispone de tecnologías avanzadas como radiografía digital, tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (RM), medicina nuclear (NM) y otras modalidades de imagen especializadas. Estas unidades de salud se ubican principalmente en Quito, Guayaquil y Cuenca, ciudades que concentran la infraestructura hospitalaria más desarrollada del país [84].

En la tabla 13 se presenta una selección representativa de centros de salud ecuatorianos reconocidos por la variedad de servicios, refleja la relevancia del radiodiagnóstico en la práctica médica nacional y su contribución esencial en la detección y tratamiento de enfermedades.

Tabla 13
MUESTRA DE CENTROS CON SERVICIOS DE RADIODIAGNÓSTICO EN ECUADOR [85].

Centro / Razón social	Ciudad	Servicio destacado
Hospital Metropolitano	Quito	Servicio de Imagen (RX, TC, RM, NM)
Hospital Vozandes Quito	Quito	Imagenología y Radiodiagnóstico
Hospital de los Valles	Quito	Imagen (RX, fluoroscopia, panorámica)
SOLCA Núcleo Quito	Quito	Imagenología oncológica
Omni Hospital	Guayaquil	Diagnóstico por Imágenes
Clínica Kennedy (CDI)	Guayaquil	Centro de Diagnóstico por Imágenes
Hospital Luis Vernaza (JBG)	Guayaquil	Centro de Diagnóstico por Imágenes
Interhospital	Guayaquil	Centro de Imágenes (24h)
Hospital Roberto Gilbert (JBG)	Guayaquil	Diagnóstico por Imágenes (pediatría)
SOLCA Cuenca	Cuenca	Radiología / Mamografía / RX

V-G2. Densitometro:

Se denomina densitómetro al equipo que permite cuantificar la densidad óptica de una sustancia o superficie, entendida como la fracción de luz absorbida o transmitida por ella. Su aplicación es clave en diversas disciplinas, entre ellas la fotografía, la industria gráfica, el aseguramiento de la calidad en procesos industriales, la investigación en biomedicina y la práctica del diagnóstico por imágenes [86].

En la Figura 4 se observa un densitómetro óseo basado en la técnica DXA, instrumento clínico diseñado para medir la densidad mineral de los huesos y estimar la probabilidad de desarrollo de osteoporosis o de fracturas asociadas.



Figura 4. Densitómetro [87].

Tipos principales de densitómetros:

- Densitómetro ópticos: Usados en impresión y fotografía para controlar la calidad tonal y de color. 1992: El término “Building Model” fue utilizado por G.A. van Nederveen y F. Tolman en un artículo académico.
- Densitómetro de transmisión y reflexión: Miden la densidad óptica de películas, papeles o tintas.
- Densitómetros médicos (DXA): Dispositivos especializados para diagnóstico clínico de densidad mineral ósea.

La densitometría ósea es un procedimiento de diagnóstico orientado a valorar la densidad mineral del hueso, con el fin de identificar tempranamente enfermedades como la osteoporosis. Este examen puede realizarse en distintas modalidades: densitometría central (columna lumbar y cadera), periférica (antebrazo) o de composición corporal, cada una con pautas particulares de preparación y aplicaciones clínicas específicas.

El principio de funcionamiento del densitómetro DXA se basa en que los tejidos blandos y los huesos absorben los rayos X en diferente proporción. Al medir esta absorción diferencial y aplicar algoritmos calibrados, el equipo determina la cantidad de minerales presentes en el hueso [88].

En la tabla 14, se detallan los aspectos más importantes para la preparación del paciente en cada modalidad, junto con consideraciones prácticas que mejoran la calidad técnica del estudio y la comodidad del examinado.

Tabla 14
PREPARACIÓN Y CONSIDERACIONES PARA DIFERENTES ESTUDIOS DE DENSITOMETRÍA [89].

Tipo de estudio / prueba	Preparación del paciente	Observaciones / Consideraciones
Densitometría ósea (cadera y columna)	No portar objetos metálicos, ayuno no necesario, informar sobre historial médico.	Paciente en posición supina, mínima movilidad.
Densitometría periférica (antebrazo)	Retirar reloj, pulseras o ropa ajustada.	Útil para pacientes con limitaciones de movilidad.
Evaluación de composición corporal	Preparación estándar.	Puede requerir ropa ligera y sin accesorios.

V-G3. Fluoroscopia:

Se trata de un sistema de radiografía y fluoroscopia de control remoto, desarrollado por GE Healthcare, cuyo diseño prioriza un alto rendimiento diagnóstico con una dosis reducida de radiación. Gracias a su versatilidad, permite la realización de estudios en distintas especialidades, incluyendo gastroenterología, aparato musculoesquelético, tórax y pulmones, pediatría, urología, ginecología y traumatología [90].

Principio de funcionamiento:

El sistema combina un detector digital plano de 43×43 cm (17×17 "") con tecnología de silicio amorfo y yoduro de cesio, lo que permite la conversión eficiente de los rayos X en señales digitales de alta resolución. Integra funciones avanzadas como fluoroscopia continua y pulsada, radiografía digital, tomosíntesis, angiografía por sustracción digital y reconstrucción automática de imágenes. La radiografía se basa en la atenuación diferencial de los rayos X al atravesar los tejidos, produciendo una imagen que refleja la densidad y composición de las estructuras internas. La fluoroscopia añade visualización en tiempo real, fundamental para estudios dinámicos y procedimientos intervencionistas [91].

La Figura 1 presenta un sistema de fluoroscopia con telemando, utilizado en el ámbito del radiodiagnóstico para generar imágenes dinámicas en tiempo real a través de rayos X. Este tipo de tecnología integra una mesa radiográfica motorizada, que permite ubicar al paciente en diversas posiciones, junto con un arco emisor-receptor que incorpora tanto el tubo de rayos X como el detector digital.



Figura 5. Discovery RF-180 [92].

Diseño y componentes principales:

- Mesa universal 90/90 motorizada, con altura regulable y acceso posterior total, facilitando la transferencia del paciente.
- Tubo de rayos X con ánodo rotatorio y capacidad para alcanzar distancias foco-imagen (SID) de hasta 180 cm.
- Collimador automático con pantalla táctil, que permite ajustar el campo de radiación y reducir dosis.

- Consola de control remoto con joysticks y pantalla táctil de 23" para control integrado de generador, mesa y procesado de imágenes.
- Software de posprocesamiento con ajuste de contraste, brillo, inversión de escala de grises, filtros espaciales y mediciones ortopédicas.

Aplicaciones clínicas

Es un equipo polivalente que soporta:

- Radiología general (tórax, abdomen, extremidades).
- Fluoroscopia diagnóstica (tracto gastrointestinal, genitourinario, estudios pediátricos).
- Tomosíntesis para la obtención de cortes virtuales con menor superposición estructural.
- Angiografía por sustracción digital (DSA) para evaluación vascular.
- Reconstrucciones panorámicas automáticas para columna y extremidades inferiores.

En la tabla 15 se sintetizan las principales recomendaciones de preparación del paciente y las consideraciones técnicas específicas para cada tipo de estudio.

Tabla 15
PREPARACIÓN Y CONSIDERACIONES PARA ESTUDIOS DE RADIOLÓGICOS EN FLUOROSCOPIA [93].

Tipo de estudio / prueba	Preparación del paciente	Observaciones / Consideraciones
Radiografía de tórax (PA y lateral)	Retirar objetos metálicos, ropa sin cierres metálicos, postura erguida.	Indicar inspiración profunda; colimación ajustada para reducir dosis.
Fluoroscopia gastrointestinal con bario	Ayuno 8 h, explicar sabor y consistencia del contraste.	Monitorear ingestión; usar fluoroscopia pulsada para minimizar dosis.
Tránsito intestinal	Ayuno 8 h, posible laxante previo.	Programar tiempos de adquisición; hidratación posterior.
Urografía excretora	Ayuno, hidratación previa, suspender ciertos medicamentos si es necesario.	Verificar función renal; controlar reacciones al contraste.
Radiografía de columna	Retirar objetos metálicos, mantener inmovilización.	Ajustar kV/mAs según región y biotipo.
Radiografía de extremidades	Descubrir zona, retirar joyas, calzado, relojes.	Colimación estricta y soporte inmovilizador si es necesario.
Tomosíntesis	Igual que en radiografía convencional.	Ajustar ángulo y barrido según protocolo.
Angiografía por sustracción digital (DSA)	Ayuno, canalización venosa, explicar procedimiento y efectos del contraste.	Monitoreo hemodinámico; medicación disponible para reacciones adversas.
Estudios pediátricos	Explicar procedimiento a tutores, retirar objetos metálicos, inmovilización suave.	Uso de parámetros pediátricos y protección con blindaje y colimación.

V-G4. Mamógrafo:

El mamógrafo es un equipo médico que emplea rayos X de baja energía con el propósito de detectar, analizar y realizar el seguimiento de posibles alteraciones en el tejido mamario. Su función principal es la identificación temprana del cáncer de mama, permitiendo reconocer lesiones en fases iniciales, incluso antes de que puedan ser detectadas por palpación clínica, lo que incrementa significativamente las probabilidades de un tratamiento exitoso y contribuye a disminuir la mortalidad asociada [94].

Principios de la técnica:

El fundamento de la mamografía radica en la capacidad de los rayos X para atenuarse de manera diferencial al atravesar las diversas estructuras de la mama. Tanto el tejido adiposo como el tejido glandular, junto con posibles

lesiones benignas o malignas, absorben la radiación en distinta proporción, generando contrastes que son captados y transformados en imágenes de alta definición. Para lograr una mayor nitidez y reducir la dosis administrada al paciente, se utilizan haces de rayos X con baja capacidad de penetración, comúnmente producidos mediante ánodos de molibdeno o rodio, combinados con filtros que optimizan el espectro energético [95].

La Figura 6 presenta un mamógrafo digital, un dispositivo diseñado específicamente para la detección precoz del cáncer de mama mediante la utilización de rayos X de baja dosis.



Figura 6. Mamógrafo [96].

Equipamiento:

El equipo de mamografía está conformado principalmente por:

- **Estativo de mamografía:** Soporte estructural encargado de mantener en posición el tubo de rayos X y el sistema de detección de la imagen.
- **Tubo de rayos X:** Diseñado para trabajar con energías bajas y equipado con filtros específicos que optimizan el espectro utilizado en la mamografía.
- **Sistema de compresión:** Mecanismo que sujeta y aplana la mama durante la exploración, disminuyendo el espesor del tejido y la radiación dispersa, lo que se traduce en una mejora de la calidad diagnóstica y en una reducción de la dosis absorbida por la paciente.
- **Detector de imagen:** Puede operar con sistemas analógicos (película radiográfica) o digitales (CR o DR). Los detectores digitales ofrecen ventajas como un mayor rango dinámico, posibilidad de corrección y procesamiento posterior de las imágenes.
- **Consola de control:** Unidad de mando desde la cual el operador ajusta los parámetros de exposición y supervisa las imágenes obtenidas en tiempo real.
- **Sistema PACS/RIS:** Infraestructura informática destinada al almacenamiento, distribución y gestión integral de las imágenes y de los informes radiológicos asociados.

Aplicaciones clínicas:

La mamografía tiene múltiples aplicaciones en la práctica clínica, entre las que destacan:

- Implementación en programas de tamizaje poblacional, dirigidos a la detección temprana de lesiones en mujeres asintomáticas.
- Uso como herramienta diagnóstica complementaria en pacientes con signos clínicos o hallazgos sospechosos.
- Control evolutivo y seguimiento de mujeres previamente tratadas por cáncer de mama.
- Realización de procedimientos intervencionistas mínimamente invasivos, como las biopsias estereotácticas, cuando el sistema está equipado para ello.

En la tabla 16 se exponen las recomendaciones esenciales relacionadas con la preparación previa y las principales consideraciones técnicas para cada modalidad.

Tabla 16
PREPARACIÓN Y CONSIDERACIONES PARA ESTUDIOS DE MAMOGRAFÍA [97].

Tipo de estudio / prueba	Preparación del paciente	Observaciones / Consideraciones
Mamografía de cribado	No usar desodorante, talco ni cremas en axilas y mamas el día del estudio; retirar joyas y collares.	Realizar preferentemente entre el día 5 y 12 del ciclo menstrual para reducir dolor.
Mamografía diagnóstica	Igual que en cribado; explicar la duración y compresiones necesarias.	Evaluar área específica con proyecciones adicionales si se requiere.
Magnificación mamográfica	Preparación estándar; informar sobre compresión adicional.	Mejora visualización de microcalcificaciones.
Biopsia estereotáctica	Ayuno ligero si se indica; informar al paciente sobre procedimiento y anestesia local.	Asegurar consentimiento informado control de sangrado posterior.
Control postquirúrgico	Preparación estándar; informar sobre posible molestia en cicatriz.	Comparar con estudios previos para evaluar evolución.

V-G5. Rayos X dental:

El equipo de rayos X dental es un sistema de diagnóstico por imágenes que emplea radiación ionizante para poder visualizar con detalle las estructuras dentarias, así como los huesos maxilares y mandibulares. Este tipo de tecnología constituye un recurso esencial en la práctica odontológica, ya que ayudara la detección temprana de variaciones orales, la planificación de tratamientos y el seguimiento evolutivo de diversas patologías [98].

Principio de funcionamiento:

El funcionamiento de los equipos de rayos X dentales se fundamenta en la generación de radiación electromagnética dentro del espectro de los rayos X. Esta radiación se produce en un tubo radiogénico donde un haz de electrones, emitido desde el cátodo y acelerado por una diferencia de potencial, impacta contra un ánodo de tungsteno [99]. La formación de la imagen radiográfica se respalda en el principio de atenuación diferencial: los tejidos de alta densidad, como el esmalte dental y el hueso, absorben una mayor proporción de rayos X en comparación con los tejidos blandos [100].

Componentes principales:

- Cabezal de tubo de rayos X: Contiene el tubo, filtros y colimador.
- Brazo articulado: Permite posicionar el cabezal de forma precisa.
- Panel de control: Con selección automática o manual de parámetros de exposición.
- Interruptor de disparo: Permite activar la exposición a distancia segura.

- Montaje fijo o móvil: Se adapta a la configuración de la clínica.

La Figura 7 muestra un equipo de rayos X intraoral utilizado en odontología, diseñado para la adquisición de radiografías periapicales, oclusales y bite-wing.



Figura 7. Rayos X dental [101].

Aplicaciones clínicas:

- Radiografías periapicales (detección de caries interproximales, lesiones periapicales).
- Radiografías oclusales (fracturas, cuerpos extraños, alteraciones óseas).
- Control postoperatorio en endodoncia e implantología.
- Evaluaciones previas a extracciones o tratamientos ortodóncicos.

En la tabla 17 se presentan las recomendaciones esenciales relacionadas con la preparación del paciente, tales como la remoción de prótesis dentales, objetos metálicos o la realización de una adecuada higiene oral antes del estudio.

Tabla 17
PREPARACIÓN Y CONSIDERACIONES PARA ESTUDIOS RADIOGRÁFICOS DENTALES [102].

Tipo de estudio / prueba	Preparación del paciente	Observaciones / Consideraciones
Radiografía periapical	Retirar prótesis removibles, piercings o joyas cercanas. Colocar al paciente en posición sentada o de pie.	Indicar al paciente que no se mueva durante la exposición.
Radiografía oclusal	Retirar prótesis y objetos metálicos. Colocar película o sensor en posición indicada.	Ajustar tiempo de exposición según densidad del tejido.
Radiografía bite-wing (interproximal)	Higiene oral previa. Colocar el posicionador en la boca del paciente.	Ideal para detección de caries interproximales y cálculo supragingival.
Control postoperatorio	Preparación estándar. Comparar con radiografía previa.	Útil para verificar resultados de endodoncia o implantes.

V-G6. Rayos X convencional:

Se trata de un sistema de rayos X móvil de alta frecuencia, diseñado por Technix S.p.A., que integra portabilidad, precisión y capacidad diagnóstica para la adquisición de imágenes radiográficas en diferentes contextos hospitalarios y clínicos. Su diseño está basado a la radiología general en pacientes que no pueden ser movilizados a una sala estática de rayos X, lo que posibilita la realización de estudios directamente en áreas como hospitalización, quirófanos o unidades de cuidados intensivos [103].

Principio de funcionamiento

El equipo portátil de rayos X provoca radiación ionizante por medio de un tubo con ánodo rotatorio, alimentado por un generador de alta frecuencia (40 kHz), capaz de emitir un haz estable con un rizado inferior al 2%. Al atravesar el organismo, los rayos X son atenuados en función de la densidad y composición de los tejidos, lo que permite adquirir imágenes diagnósticas tanto en sistemas analógicos como digitales. El uso de alta frecuencia mejora la homogeneidad del haz, mejorando la resolución de la imagen y evitando dosis innecesarias de radiación. La integración de la imagen se basa en la atenuación diferencial, donde estructuras de alta densidad, como hueso y esmalte dental, absorben mayor cantidad de radiación en comparación con los tejidos blandos, generando contrastes que son registrados por película radiográfica o detectores digitales [104].

En la Figura 8 se muestra el equipo radiográfico convencional utilizado comúnmente para este tipo de estudios.



Figura 8. Rayos x convencional [105].

Diseño y movilidad:

Cuenta con:

- Columna giratoria y brazo móvil que permiten un posicionamiento flexible del cabezal.
- Ruedas delanteras de 100 mm y traseras de 300 mm para fácil desplazamiento.
- Sistema de freno tipo “dead man” que asegura el bloqueo del equipo al soltar el control.
- Pedal para superar obstáculos como cables o umbrales.

Su movilidad lo convierte en una herramienta ideal para la radiología portátil, especialmente en pacientes encamados o en procedimientos quirúrgicos.

Aplicaciones clínicas:

- Estudios radiológicos de tórax, abdomen y extremidades.
- Radiología en pacientes críticos o en aislamiento.
- Imágenes de control postquirúrgico.
- Radiología en salas de emergencia y cuidados intensivos.

En la tabla 18 se presentan las recomendaciones más relevantes para la preparación del paciente en estudios con equipos de rayos X portátiles.

Tabla 18
PREPARACIÓN Y CONSIDERACIONES PARA ESTUDIOS RADIOGRÁFICOS PORTÁTILES Y ABDOMINALES [106].

Tipo de estudio / prueba	Preparación del paciente	Observaciones / Consideraciones
Radiografía de tórax portátil	Retirar objetos metálicos, mantener posición erguida o decúbito según condición.	Ajustar kV y mAs para reducir dosis.
Radiografía de extremidades	Descubrir la zona, retirar joyas o prendas.	Uso de colimación estricta.
Control postquirúrgico	Preparación estándar, verificar con imágenes previas.	Ideal para UCI y quirófano.
Radiografía abdominal	Ayuno de 6 h si se requiere contraste.	Cuidar inmovilización para evitar repeticiones.

V-G7. Extintores y Seguridad Contra Incendios.:

Ubicación de extintores:

1. Colocar extintores de tipo ABC en cada zona de trabajo, cerca de las puertas de acceso a las salas de rayos X, mamografía y otras áreas críticas.
2. Distancia máxima entre extintores: 15 metros.
3. Los extintores deben estar visibles y en áreas accesibles para el personal en caso de emergencia.
4. Las áreas de radiología deben tener sistemas de alarma contra incendios, como detectores de humo y alarmas sonoras.

V-H. Estimación de costo de blindaje

V-I. Seguridad Eléctrica en Equipos de Rayos X

Los sistemas de rayos X que se emplean en las instituciones de salud requieren el cumplimiento de rigurosas normas de seguridad eléctrica, debido a la elevada potencia con la que operan y a la sensibilidad de sus componentes electrónicos. Estas precauciones son indispensables para evitar fallas en el funcionamiento del equipo y reducir los riesgos derivados de su uso. Además, la seguridad eléctrica es un aspecto clave para la protección del paciente y

del personal sanitario, ya que contribuye a minimizar tanto los accidentes eléctricos como la exposición innecesaria a radiación ionizante [107].

La normativa internacional **IEC 60601-1-11:2015**, junto con otras normas como la **IEC 60601-1**, **IEC 60364-7-710** y el código **NFPA 99**, establece los requisitos técnicos mínimos para asegurar la seguridad básica y el rendimiento esencial de los equipos electromédicos, incluyendo los utilizados para radiodiagnóstico.

V-II. Requisitos Generales de Seguridad (IEC 60601-1):

La norma **IEC 60601-1** define los principios fundamentales de seguridad eléctrica aplicables a todos los equipos electromédicos. Algunos de sus requisitos más relevantes incluyen:

- Aislamiento eléctrico adecuado entre partes activas y el paciente.
- Protección contra descargas eléctricas directas e indirectas.
- Control de sobrecargas y fallas a tierra.
- Corrientes de fuga dentro de los límites permitidos.
- Clasificación de las partes aplicadas según tipo B, BF o CF [64].

V-I2. Entornos Especiales (IEC 60601-1-11:2015):

La **IEC 60601-1-11:2015** complementa la norma general al establecer requisitos para equipos utilizados en entornos de atención domiciliaria o semi-controlada, como puede ser una sala de rayos X en centros de salud de segundo nivel. Entre sus criterios se destacan:

- Diseño resistente a humedad, polvo y variaciones térmicas.
- Alarmas visuales y sonoras ante fallas eléctricas.
- Facilidad de desconexión segura y mantenimiento.
- Integración con fuentes de energía de respaldo (UPS) [64].

V-I3. Normativas Complementarias:

Existen otras normativas que complementan los requerimientos de seguridad eléctrica en ambientes médicos:

- **IEC 60364-7-710:** Requisitos para instalaciones eléctricas en locales médicos, incluyendo transformadores de aislamiento, sistemas TN-S, y monitoreo continuo de aislamiento.
- **NFPA 99:** Clasificación de sistemas eléctricos según nivel de riesgo, respaldo energético para equipos críticos, y supervisión de calidad eléctrica.
- **IEC 61010-1:** Aplicable a sistemas de monitoreo y control conectados a equipos de imagenología [108].

V-I4. Recomendaciones de Diseño:

Para cumplir con los estándares de seguridad eléctrica, se recomienda:

- Instalación de líneas eléctricas independientes para cada equipo de rayos X.
- Uso de interruptores termomagnéticos y diferenciales calibrados.
- Sistema de puesta a tierra con resistencia menor a 5 ohmios.
- Canalización blindada para evitar interferencias electromagnéticas.
- Protección contra picos de voltaje y descargas atmosféricas.
- Coordinación entre planos eléctricos y el modelo BIM del proyecto.
- Supervisión a través de sensores o sistemas SCADA integrados.

La incorporación de estos criterios en el diseño de las áreas de rayos X no solo garantiza el cumplimiento normativo, sino que también simplifica riesgos eléctricos y asegura la secuencia operativa de los servicios de imagenología [108].

VI. MARCO METODOLÓGICO

El presente marco metodológico describe el proceso seguido para el diseño y modelado BIM de un área de Rayos X de segundo nivel, tomando como referencia el boceto arquitectónico mostrado en la Figura 9 adjunta. Se adopta la metodología Building Information Modeling (BIM) y se emplea Rhino como herramienta principal, con el objetivo de optimizar el uso del espacio y asegurar el cumplimiento de las normativas internacionales y locales de bioseguridad.

La investigación se plantea con un enfoque mixto, de carácter aplicado y descriptivo. En la componente cuantitativa se verifican parámetros medibles (espesores de blindaje, distancias funcionales); en la componente cualitativa se recogen y analizan criterios operativos como el flujo de trabajo del personal de salud y paciente, se describirán las áreas funcionales, los equipos y las especificaciones técnicas, rigiéndose en las normas nacionales e internacionales.

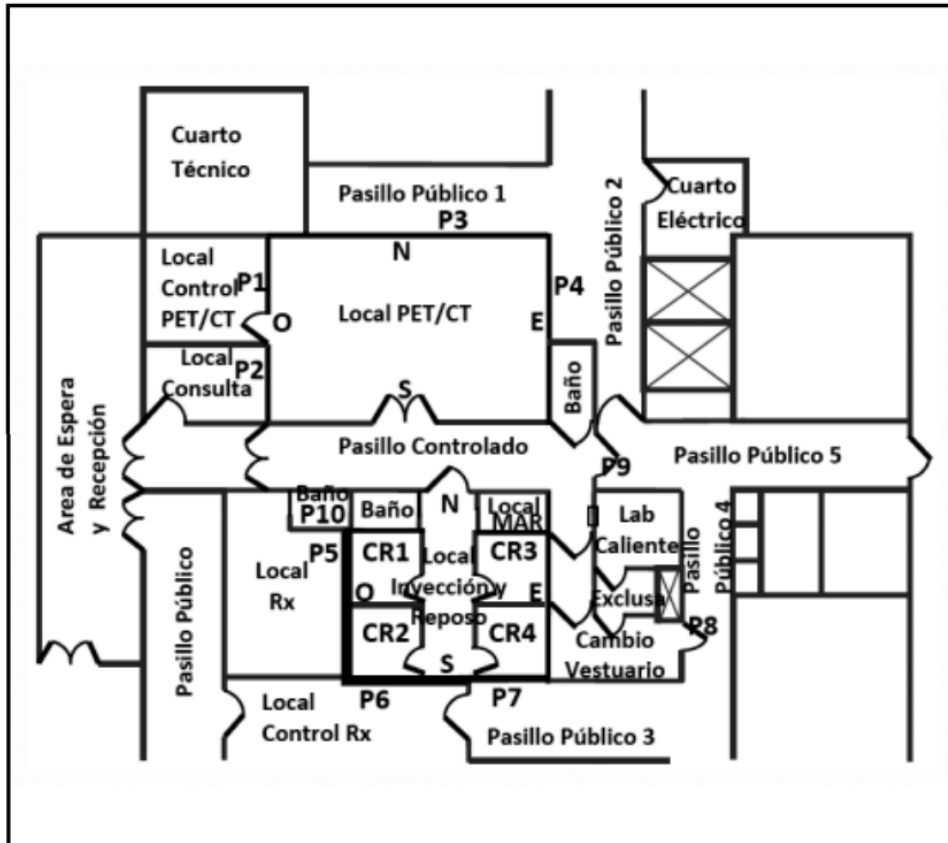


Figura 9. Plano de referencia utilizado para el modelado BIM del área de Rayos X [109].

VI-A. Procedimiento Metodológico

El desarrollo del proyecto contempla las siguientes fases:

- **Fase I – Diagnóstico normativo y técnico:** Recolección de normativa aplicable y análisis de requerimientos técnicos.
- **Fase II – Diseño conceptual:** Definición de los componentes espaciales y técnicos del área de rayos X.
- **Fase III – Modelado BIM:** Desarrollo del modelo tridimensional mediante software especializado, incorporando parámetros normativos.
- **Fase IV – Validación del diseño:** Simulación de flujo de trabajo y verificación normativa del prototipo propuesto.
- **Fase V – Elaboración de la guía:** Sistematización de los resultados y elaboración de una guía técnica ilustrada para el diseño de áreas de rayos X con enfoque BIM.

VI-B. Distribución de áreas.

En la Figura 10 se presenta el boceto del diseño arquitectónico del centro de diagnóstico por imágenes, en el cual se han distribuido estratégicamente las áreas de exámenes, apoyo, recepción y administrativas. La disposición responde a criterios de accesibilidad, flujo eficiente de pacientes y cumplimiento de las normativas de seguridad y protección radiológica (NCRP 147, IAEA SSG-46, ISO 15189).

Este diseño busca optimizar los tiempos de atención y reducir recorridos innecesarios, minimizando así la fatiga del personal y mejorando la experiencia del paciente. Las áreas se han ubicado considerando su interrelación funcional, la cercanía a zonas de control y la necesidad de aislar los ambientes con riesgo radiológico. La zonificación también permite un control efectivo de accesos y garantiza la privacidad durante los procedimientos.



Figura 10. Boceto del diseño, mostrando la distribución de las áreas.

VI-B1. Bloque A:

Dentro del bloque A, situado en la parte central izquierda tenemos el área de mamografía, densitometría, amplio espacio con accesibilidad de camillas, reduce tiempos de preparación y exposición. La localización facilita el cumplimiento de distancias y protecciones para equipos de baja energía y en medio de estas dos áreas se encuentra el área de mando para operar y monitorizar ambas salas desde una posición protegida, lo que posibilita supervisión directa.

VI-B2. Bloque B:

Dentro del bloque B, situado en la parte central derecha tenemos el área de rayos X y fluoroscopia, la ubicación limita el tránsito no esencial por zonas de exposición y facilita la implementación de barreras primarias y secundarias (muros, puertas y visor) según el cálculo de blindaje. Se garantiza accesibilidad para camillas y en medio de estas dos áreas se encuentra el área de mando para operar ambos ambientes desde una única estación protegida, mejorando eficiencia y coordinación.

VI-B3. Área de Recepción y Espera:

Ubicada estratégicamente junto a la entrada principal, permite la admisión inmediata y orientación del paciente, reduciendo tiempos de registro y evitando cruces de flujos. La disposición favorece accesibilidad universal, control visual del aforo.

VI-B4. Área de Triage:

En el diseño de áreas resulta fundamental contemplar un espacio de triaje que garantice la valoración inicial y clasificación de los pacientes antes de acceder a los procedimientos específicos. Este ambiente debe responder a criterios funcionales de flujo y organización [110]. Esta situado próximo a la entrada y al área de consulta, habilita la clasificación temprana de los pacientes según urgencia, mejorando tiempos de respuesta y seguridad. La posición evita tránsitos innecesarios por áreas diagnósticas y permite un control de accesos eficaz.

VI-B5. Área de Consulta:

Proxima al triaje, facilita la transición inmediata desde la evaluación inicial hacia la valoración médica, disminuyendo recorridos y tiempos de espera. La proximidad también permite retroalimentación rápida con admisión ante necesidades de priorización o reagendamiento.

VI-B6. Área Administrativa: En la franja inferior izquierda, alejada de zonas con radiación, asegura condiciones de trabajo adecuadas para gestión, archivo y coordinación. La separación física evita interferencias con los circuitos clínicos y mantiene confidencialidad.

VI-B7. Área de Preparación y Recepción: Ubicada en la franja inferior derecha, en contacto funcional con las áreas clínicas. Permite preparación previa (cambio, verificación de checklist, consentimientos) y reduce tiempos entre admisión y procedimiento. Su proximidad agiliza retornos rápidos ante necesidades de re-preparación o incidencias.

VI-C. Descripción de áreas y equipos.

VI-C1. Área de Densitometría:

Densitometro STRATOS DR

Sala de DXA para medición de densidad ósea.

Contiene: mesa DXA con generador/tubo, consola integrada con vidrio plomado, vestidor con lavamanos, silla de acompañante, un baño.

Criterios de diseño: flujos cortos desde preparación; baja exigencia de blindaje; visibilidad desde Mando A.
Normativas aplicables:

- **IAEA SSG-46** (en DXA usualmente basta barrera secundaria; evaluar distancias y ocupación).

- **NCRP 147** (método *P-W-U-T* para justificar, si corresponde, vidrio plomado de baja equivalencia en visor).
- **IEC 60601-1** (seguridad eléctrica general; integración DICOM en la cadena de valor).

Dimensiones mínimas recomendadas:

- Geometría de haz: Fan Beam (haz en abanico).
- Energías duales: 43 keV y 70 keV (DXA).
- Punto focal: 0,6 × 0,6 mm.
- Colimación del tubo: hojas de plomo; campo máx. aprox. 18 mm × 2,5 mm; distancia tubo-paciente 270 mm; grosor de hojas 4 mm.
- Software/analytics: módulos para FRAX, morfometría, análisis estructural de cadera, curvas de referencia; conectividad DICOM (Worklist, Push/Print, exportación JPG/PDF), modo multiestación.
- Dosis (equipamiento DXA de muy baja dosis):
 - Operador a 1 m: “despreciable”
 - Paciente (típico): cadera menor a 0,5 microSv; columna mayor 2 microSv; antebrazo menor a 0,01 microSv; cuerpo entero menor a 0,4 microGy de dosis en la superficie de entrada.
- Tiempos de examen orientativos: cadera y columna en decenas de segundos (modos rápido/normal/precisión); cuerpo entero 3–6 min (según modo y pixel).

Requisitos de sala e instalación

Se debe facilitar la accesibilidad del paciente, maniobra del operador y circulación segura.

- Dimensiones útiles: mayor igual a 3,0 m × 3,5 m, altura mayor igual a 2,4 m.
- Zonas: mesa del densitómetro (área de examen) + puesto de operador con visibilidad directa del paciente (puede ser dentro de la sala; si lo separas, usa visor con vidrio plomado estándar).
- Radio libre de 80 cm mínimo a ambos lados de la mesa para posicionamiento; acceso cómodo a cabecera y laterales.
- Vestidores dentro del área, por motivos de flujo ambulatorio.
- Señalización de área con radiación ionizante en puerta.

Requisitos eléctricos y Tierra independiente.

- Circuito dedicado (tablero hospitalario): interruptor termomagnético + diferencial; puesta a tierra mayor igual 0.5 ohmios, como nos menciones la norma IEC 60364-7-710 (instalaciones hospitalarias); UPS para consola y adquisición. Estos lineamientos siguen IEC 60601 (seguridad eléctrica de equipos electromédicos).
- Red: puerto LAN para DICOM y RIS/PACS; compatibilidad Worklist (según ficha)
- Ambiente: temperatura y humedad dentro de rangos de confort clínico, típicamente 18–26°C, HR 30–70
- Alimentación/potencia: Como práctica segura, reserva circuito único a 120/230 V–50/60 Hz con capacidad mayor que la carga nominal y UPS menor igual 1 kVA para consola/PC.

Protección radiológica:

- Debido a su baja carga de trabajo y energía, el DXA no requiere blindaje adicional más allá del propio recinto, siempre que se respete la distancia, colimación y tiempo de exposición.
- Cálculo simplificado de blindaje según NCRP 147 / IAEA SSG-46 para justificar el diseño.
- Aplicación del principio ALARA y cumplimiento de la Ley Orgánica de Salud (Art. 121) y normativa MERNNR vigente.

Control de calidad y mantenimiento:

- Aceptación (instalación): verificación de geometría, calibración con *phantom*, pruebas de conectividad DICOM.
- Constancia:
 - Diaria/semanal: escaneo de *phantom*, verificación de varianza BMD, chequeo de pixel.

- Mensual/trimestral: uniformidad, repetibilidad, revisión de colimación.
- Anual: auditoría física, recalibración y actualización de software.

Requisitos de personal y flujo:

- Operador capacitado en DXA y protección radiológica, con dosímetro personal.
- EPP adicional no requerido en uso rutinario si se respeta distancia ≥ 1 m.
- Flujo recomendado: vestidor → sala DXA → salida, con accesibilidad para pacientes con movilidad reducida.

VI-C2. Área de Fluoroscopia.:

Normativa aplicable:

- **NCRP 147** (altas cargas de trabajo; dimensionamiento de muros, puertas y visores).
- **IAEA SSG-46** (optimización de dosis al paciente; protección del personal en tiempo real).
- **IEC 60601-2-54** (requisitos particulares para sistemas de radiografía/fluoroscopia).

Requisitos de instalación

- Sala mínima: 5,20 m × 4,85 m, altura libre $\geq 2,95$ m.
- Mesa: 246 × 80 cm; altura 47,3–100 cm; capacidad hasta 266 kg; recorridos: longitudinal ± 50 cm, transversal $\pm 17,5$ cm.
- Alimentación: 400 V AC trifásico, 50/60 Hz, máx. 115 kVA; protección: magnetotérmico diferencial 63 A; puesta a tierra $\leq 0,1 \Omega$.
- Conectividad: DICOM Store, Print, Worklist, MPPS, DOSE SR; red Ethernet 1 Gbps; integración RIS/PACS.

Protección radiológica

- Muros, puertas y visor con equivalencia ≥ 2 mm Pb en zonas expuestas.
- Señalización, luz de “equipo en uso” y control de accesos.

Flujo de pacientes

- Cumplimiento de **ALARA**, Reglamento de Seguridad Radiológica (Ecuador) y **MERNNR 2022**.

1. Ingreso desde sala de espera o traslado en camilla.
2. Transferencia directa a la mesa por acceso posterior.
3. Ejecución del estudio.
4. Salida hacia recuperación o alta.

Control de calidad (QA/QC)

- **Aceptación:** verificación geométrica (SID, colimación), uniformidad, calibración, conectividad DICOM.
- **Diario:** chequeo de imagen fluoroscópica y colimación.
- **Mensual:** uniformidad, resolución, rendimiento de funciones avanzadas.
- **Anual:** auditoría completa, medición de dosis y recalibración.

Aspectos clave para metodología BIM

- Modelar geometría exacta de la mesa, recorridos y SID máximo (180 cm) para coordinar con arquitectura e instalaciones.
- Incluir requerimientos de espacio para accesibilidad posterior y maniobra de camillas.
- Incorporar especificaciones de blindaje como capas de muro con equivalencias Pb en el modelo.
- Simular flujos de pacientes y personal para validar ergonomía y seguridad radiológica.

VI-C3. Área de Mamografía.:

Mamógrafo DM156

Sala para mamografía digital y, según necesidad, procedimientos guiados.

Contiene: estativo del mamógrafo, consola de adquisición, vestidor interno con lavamanos, un baño, asiento para paciente, visor/ventana de mando.

Criterios de diseño: acceso directo desde preparación; privacidad; control visual desde Mando A.

Normativa aplicable:

- **NCRP 147** (cálculo de blindajes secundarios para mamografía; bajo kVp).
- **IAEA SSG-46** (protección radiológica en diagnóstico médico: organización, señalización, accesos).
- **IEC 60601-2-45** (requisitos particulares de seguridad para mamografía).

Requisitos de instalación

Las salas destinadas a equipos de rayos X están regulados con el propósito de garantizar tanto la seguridad del personal y los pacientes como el correcto desempeño del equipamiento. Dichas directrices contemplan criterios sobre las dimensiones mínimas de las salas, las medidas de blindaje radiológico, las condiciones eléctricas y de climatización, además de las cargas estructurales asociadas al peso de los equipos, como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19
REQUISITOS DE INSTALACIÓN PARA SALAS CON EQUIPOS DE RAYOS X [111].

Aspecto	Requisito
Sala de procedimientos	Lado menor mínimo 3,20 m (3,80 m si hay intervencionismo). Altura libre mínima 3,00 m en obra nueva y 2,50 m en reforma.
Espacio libre	2 m alrededor del equipo y acceso cómodo para pacientes encamadas.
Cabinas vestidoras	Al menos dos por sala, una accesible (Decreto 293/2009, CTE DB-SUA). Superficie 2-4 m ² , altura libre 3,00 m (mínimo 2,50 m en reforma).
Peso máximo del equipo	500 kg instalado.
Protección radiológica	Muros, puertas y ventanas con equivalencia mínima de 2 mm Pb; tras estativo mural, zona con 3 mm Pb (RD 783/2001 y RD 1085/2009).
Alimentación eléctrica	3/N/PE, AC 400 V \pm 10 %, 50 Hz \pm 5 %. Potencia adaptada al equipo; instalación conforme a REBT 2002 e ITC-BT028.
Climatización	Según RITE; disipación térmica de 5-15 kW.

Flujo de pacientes

1. Solicitud de la prueba por programa de detección, consulta o ingreso.
2. Citación, entrega de información y consentimiento informado.
3. Recepción y cambio en cabina vestidor.
4. Preparación inmediata y posicionamiento.
5. Ejecución del estudio y registro en PACS.
6. Traslado y alta.

Protección radiológica y señalización

- Barreras de plomo según estudio de protección radiológica.
- Solapamiento correcto en puertas y ventanas plomadas.
- Señalización luminosa: luz blanca (equipo listo), luz roja (irradiación en curso).
- Cumplimiento RD 783/2001 y UNE 23077.

Aspectos clave para metodología BIM

- Modelar dimensiones exactas de sala, cabinas y equipo, considerando radios de giro, espacio para camillas y acceso del personal.
- Incluir capas de blindaje con equivalencias Pb en el modelo BIM.
- Asociar parámetros eléctricos, disipación térmica y requisitos de climatización como propiedades del objeto.
- Representar y validar en el modelo BIM el flujo de pacientes y personal para garantizar privacidad y seguridad.
- Integrar elementos de señalización y control en el modelo para coordinación con especialidades de electricidad y protección radiológica.

VI-C4. Área de Rayos X:

Equipos: rayos X dental Runyes y rayos X TMS 320 R portátil

Sala para radiografía general y uso de equipo portátil.

Contiene: unidad Runyes (brazo/estativo), base de posicionamiento, panel de control; espacio de estacionamiento y maniobra para TMS 320 R; colimador iluminado, pantallas móviles si aplica, visor/ventana de mando B, vestidor con lavamanos y un baño.

Criterios de diseño: acceso controlado; ruta libre para el portátil; almacenamiento seguro de cables y accesorios.

Normativa aplicable:

- **NCRP 147** (barreras primarias/secundarias según carga de trabajo y factores U , T).
- **IAEA SSG-46 / SRS** (uso seguro de equipos móviles; señalización y control de accesos).
- **IEC 60601-2-65** (equipo dental intraoral) y **IEC 60601-2-43** (equipos radiográficos móviles).

Requisitos de instalación y sala compartida

- Sala mínima: 3,5 m × 3,0 m; altura \geq 2,50 m.
- Espacio libre perimetral \geq 1,0 m alrededor del portátil para maniobra.
- Zona de estacionamiento para TMS 320 cuando no esté en uso, sin obstruir circulación.
- Alimentación:
 - Runyes: 220–240 V, 50/60 Hz, circuito independiente.
 - TMS 320: 115/230 V \pm 10 %, 50/60 Hz, máx. 16 A, conexión a toma estándar; resistencia de línea $<$ 1 Ω .

Protección radiológica y señalización

- Señalización luminosa: luz blanca (listo), luz roja (emisión en curso).
- Puerta con visor plomado o sistema de monitoreo visual.
- Cumplimiento de Reglamento de Seguridad Radiológica (Ecuador), MERNNR 2022 y **ALARA**.

Flujo de pacientes

1. Recepción y preparación en zona previa.
2. Posicionamiento en sillón o camilla según equipo.
3. Ejecución del estudio (Runyes para intraoral, TMS 320 para estudios móviles).
4. Salida o traslado a otra sala.

Control de calidad (QA/QC)

- **Runyes:** pruebas diarias de consistencia de imagen; mensual de dosis y alineación del haz.
- **TMS 320:** aceptación (calibración, conectividad, uniformidad), diaria (imagen de prueba), mensual (uniformidad, resolución), anual (auditoría completa).

Aspectos clave para metodología BIM

- Modelar en 3D la geometría de ambos equipos y su espacio de maniobra en la misma sala.

- Definir en el modelo las zonas de estacionamiento y operación del TMS 320.
- Incorporar capas de blindaje en los muros y puertas según cálculo radiológico.
- Simular flujo de trabajo para evitar interferencias cuando ambos equipos estén en uso.

VI-C5. Área de Recepción y Espera:

Es punto de admisión y orientación del paciente.

Contiene: sala de espera amplia, ubicada en el acceso principal, baños públicos separados para hombres y mujeres, continuo a la sala de espera, sillas de espera de 3 personas; total de aforo de 27 personas sentadas, control de turnos visualizados en el televisor.

Criterios de diseño: accesibilidad universal desde la entrada, control visual del aforo, privacidad en datos personales y conexión directa con triaje y consulta.

VI-C6. Área de Triaje:

Contiene: recepción y evaluación inicial, donde se registran y orientan a los pacientes, sala de observación breve, para casos que requieren atención rápida, baño de uso personal para las personas dentro del area de triaje, sala de equipo médico para almacenamiento de insumos como: tensiómetro, oxímetro, báscula/tallímetro, sillas de rueda, Criterios de diseño: tiene entrada directa para ingreso de camillas, tiene proximidad al area de recepción y consulta para derivaciones inmediatas con flujos cortos y controlados.

VI-C7. Área de Consulta:

Esta ambientado para valoración médica y entrega de indicaciones.

Contiene: modulo de información y asignación de turnos con ventanilla directa al area de espera para informaciones breves y cobros, escritorio con dos sillas para una atención personalizada, un baño para personas con movilidad reducida.

Criterios de diseño: esta cercano al area de recepción para reagendamientos.

VI-C8. Área de Mando A:

Monitoreo que opera entre el aera de Mamografía y DXA.

Contiene: estación de trabajo con monitores diagnósticos, visor plomado, dos baños

Criterios de diseño: visibilidad directa a salas contiguas, barrera fija con vidrio plomado.

VI-C9. Área de Mando B:

Monitoreo que opera entre el aera de Rayos X y Fluoroscopia.

Contiene: estación de trabajo con monitores diagnósticos, visor plomado, dos baños.

Criterios de diseño: visibilidad directa a salas contiguas, barrera fija con vidrio plomado.

VI-C10. Área de Preparación y Recepción:

Contiene: sala de equipo médico, estación de enfermería, cuenta con un espacio amplio destinado a pacientes que requieren preparación previa o recuperación posterior a un procedimiento y dos baños para personal y pacientes.

Criterios de diseño: esta próxima a las áreas radiológicas, facilita la preparación previa de pacientes para procedimientos diagnósticos.

VI-C11. Área de Administración:

Contiene: sala de jefatura, sala de informes con su baño respectivo, sala de reuniones con su baño respectivo.

Criterios de diseño: alejada de las zonas de exposición radiológica, garantizando la seguridad del personal administrativo y un ambiente adecuado para tareas de gestión.

VI-D. *Requisitos de Diseño y Seguridad.*

VI-D1. *Protección Radiológica:*

Blindaje de paredes y puertas:

1. Plomo: Es el material más utilizado para el blindaje de rayos X. Se recomienda un espesor de 2 a 3 mm Pb para las paredes, puertas y ventanas en contacto con el haz directo.
2. Las puertas deben ser de madera o acero con 1.5 mm Pb equivalente, y contar con un sistema de cierre automático.
3. Hormigón: Utilizado en zonas donde se requiere una mayor densidad para absorber la radiación.

Ventanas:

En las áreas donde se permita la observación, las ventanas deben tener vidrio plomado con un espesor de 2 mm Pb equivalente.

Señalización:

Deben colocarse señales de advertencia de radiación en todas las puertas y accesos a las áreas de exposición, con visibilidad clara.

Normas aplicables:

1. NCRP Report No. 147: guías para blindaje radiológico.
2. ISO 9001: gestión de calidad para equipos de protección radiológica.

VI-E. *Cálculo de blindaje.*

El cálculo de blindaje en las áreas radiológicas se fundamentan en la definición precisa de las dimensiones de la sala y la correcta localización de los equipos que emiten radiación. La elaboración de un plano gráfico permite reconocer los puntos de incidencia del haz primario, las zonas de radiación secundaria y los espacios contiguos que requieren medidas de protección. Con esta información se determinan las distancias de referencia y los ángulos de proyección, como se observa en la Figura 11, se determinan las dimensiones de las salas radiológicas para aplicar los criterios de blindaje.

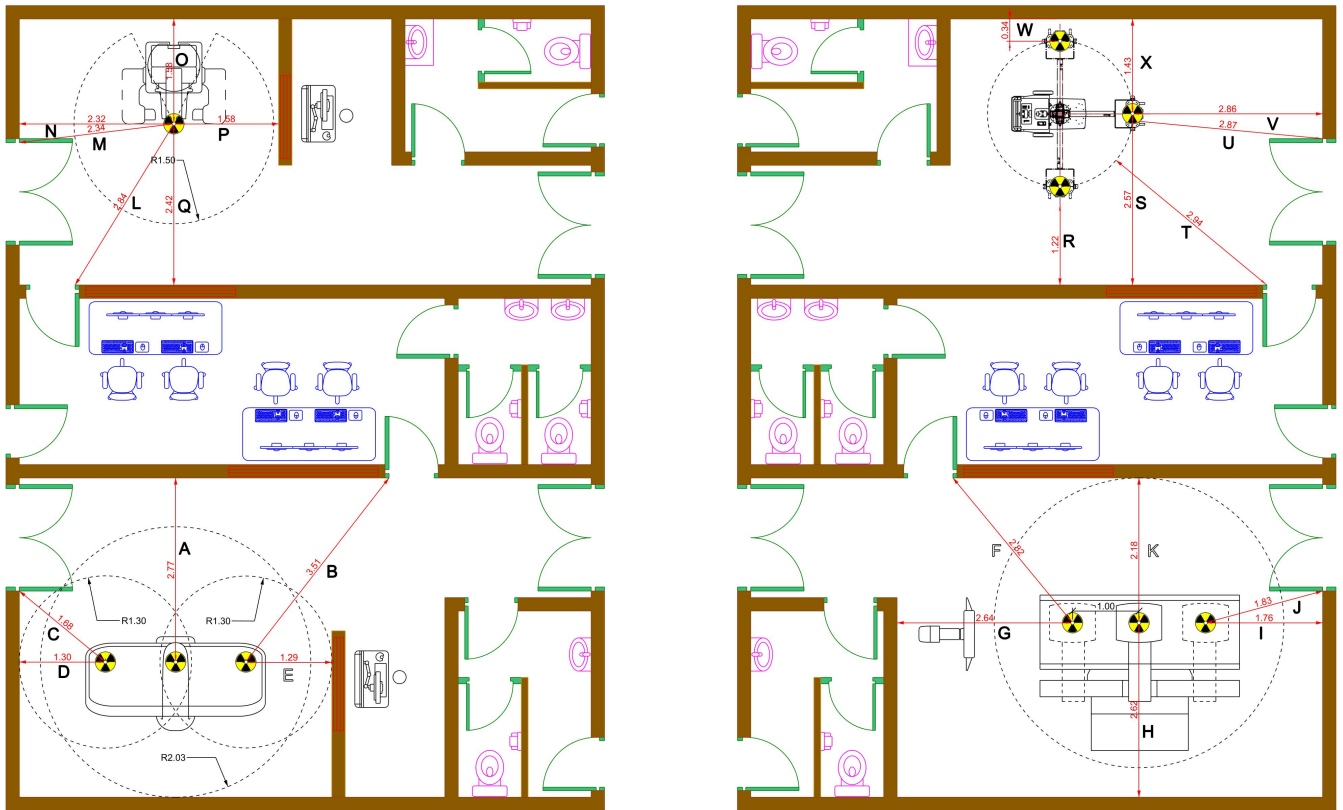


Figura 11. Plano de dimensiones escala 1:100 para cálculo de blindaje, autoría propia.

VI-E1. Cálculo de blindajes para el área de densitometría (STRATOS DR):

Para densitometría ósea (DXA), el haz de radiación se detiene en el propio detector, por lo que el cálculo de blindaje únicamente contempla las barreras secundarias, es decir, aquellas que protegen frente a la radiación dispersa y la fuga del tubo. Para este tipo de diseño se emplean supuestos precautorios, con el objetivo de reforzar las condiciones de seguridad radiológica.

- Dosis de diseño semanal: área controlada $P_c = 0,10$ mSv/sem; área no controlada $P_u = 0,02$ mSv/sem.
- Ocupación: oficina o puesto de trabajo $T = 1$; pasillo $T = 0,2$.
- Factor de uso $U = 1$ (radiación dispersa/fuga).
- Fracción de dispersión a $\sim 90^\circ$: $a = 1 \times 10^{-3}$ (conservador para 70–100 kVp).
- Carga de trabajo semanal: $W = 0,2$ mA · min/sem (DXA).

TVL (100–120 kVp): $TVL_{Pb} = 0,83$ mm, $TVL_{conc} = 146$ mm.

Distancias: $d_A = 2,77$ m, $d_B = 3,51$ m, $d_C = 1,68$ m, $d_D = 1,30$ m, $d_E = 1,29$ m.

Fórmulas de diseño:

$$P = \frac{WUT}{d^2} \cdot B \quad (4)$$

$$B = \frac{P d^2}{WUT} \quad (5)$$

$$n = \log_{10} \left(\frac{1}{B} \right) \quad (6)$$

$$t = n \times TVL_{material} \quad (7)$$

Procedimiento: Para cada punto usar la ecuación 5 para hallar B , luego la ecuación 6 y 7, y redondear al espesor comercial inmediato superior.

A — Vidrio plomado (oficina controlada): Datos: $d=2,77$ m, $P=0,1$, $T=1$, material Pb-eq (vidrio).

$$B_A = \frac{0,1 (2,77)^2}{5 \cdot 1 \cdot 1} = \mathbf{0,153}$$

$$n_A = \log_{10}(1/0,153) = \mathbf{0,814} \Rightarrow t_{A,\text{mín}} = 0,814 \times 0,83 = \mathbf{0,676 \text{ mm Pb-eq}}$$

Especificado: 1,0 mm Pb-eq (vidrio plomado comercial)

B — Puerta (pasillo no controlado): Datos: $d=3,51$ m, $P=0,02$, $T=1/5$, Pb en hoja.

$$B_B = \frac{0,02 (3,51)^2}{5 \cdot 1 \cdot (1/5)} = \mathbf{0,246}$$

$$n_B = \log_{10}(1/0,246) = \mathbf{0,608} \Rightarrow t_{B,\text{mín}} = 0,608 \times 0,83 = \mathbf{0,505 \text{ mm Pb-eq}}$$

Especificado: 1,0 mm Pb-eq

C — Puerta (antesala/pasillo no controlado): Datos: $d=1,68$ m, $P=0,02$, $T=1/5$, Pb en hoja.

$$B_C = \frac{0,02 (1,68)^2}{5 \cdot 1 \cdot (1/5)} = \mathbf{0,0564}$$

$$n_C = \log_{10}(1/0,0564) = \mathbf{1,248} \Rightarrow t_{C,\text{mín}} = 1,248 \times 0,83 = \mathbf{1,036 \text{ mm Pb-eq}}$$

Especificado: 1,5 mm Pb-eq (redondeo conservador)

D — Pared (baños, no controlado): Datos: $d=1,30$ m, $P=0,02$, $T=1/20$, material: hormigón.

$$B_D = \frac{0,02 (1,30)^2}{5 \cdot 1 \cdot (1/20)} = \mathbf{0,135}$$

$$n_D = \log_{10}(1/0,135) = \mathbf{0,869} \Rightarrow t_{D,\text{mín}} = 0,869 \times 146 = \mathbf{126,88 \text{ mm hormigón}}$$

Especificado: 150 mm de hormigón.

E — Vidrio plomado (área controlado): Datos: $d=1,29$ m, $P=0,1$, $T=1$, material: Pb-eq (vidrio)

$$B_E = \frac{0,1 (1,29)^2}{5 \cdot 1 \cdot 1} = \mathbf{0,033}$$

$$n_E = \log_{10}(1/0,033) = \mathbf{1,481} \Rightarrow t_{E,\text{mín}} = 1,481 \times 0,83 = \mathbf{1,230 \text{ mm Pb - eq}}$$

Especificado: 1,5 mmPb - eq (vidrio plomado).

En la tabla 20 se muestra el espesor que se usará para el blindaje.

Tabla 20
PARÁMETROS Y ESPESORES FINALES (DXA – STRATOS DR), AUTORÍA PROPIA.

Punto	Superficie	d (m)	P	T	$t_{\text{mín}}$	$t_{\text{especificado}}$
A	Vidrio (oficina)	2.77	0.10	1	0.676 mm Pb-eq	1.0 mm Pb-eq
B	Puerta (pasillo)	3.51	0.02	1/5	0.505 mm Pb-eq	1.0 mm Pb-eq
C	Puerta (antesala)	1.68	0.02	1/5	1.036 mm Pb-eq	1.5 mm Pb-eq
D	Pared (baños)	1.30	0.02	1/20	126.88 mm conc.	150 mm conc.
E	Vidrio (área pública)	1.29	0.02	1/20	1.23 mm Pb-eq.	1.5 mm Pb-eq

VI-E2. Cálculo de blindajes para el área de fluoroscopia (Discovery FR-180):

- Sólo **barreras secundarias** (dispersión + fuga).
- Trabajo efectivo conservador: $W_{\text{ef}} = 20 \text{ mA} \cdot \text{min/sem.}$
- Factor de uso: $U = 1.$
- Niveles semanales de diseño P : área **controlada** 0,1 mSv/sem; área **no controlada** 0,02 mSv/sem.
- Ocupación T : control = 1; pasillo/área pública = 1/5; baños = 1/20.
- TVL (100–120 kVp, criterio conservador): $\text{TVL}_{\text{Pb}} = 0,83 \text{ mm}$; $\text{TVL}_{\text{conc}} = 146 \text{ mm}$.
- Distancias desde el foco:

$$\text{Puertas: } d_F = 2,82 \text{ m, } d_J = 1,83 \text{ m.}$$

$$\text{Vidrio: } d_K = 2,18 \text{ m.}$$

$$\text{Paredes: } d_G = 2,64 \text{ m, } d_H = 2,62 \text{ m, } d_I = 1,76 \text{ m.}$$

- Asignación de destinos: **F, J** (puertas a área no controlada, $T=1/5$); **K** (vidrio a sala de control, $T=1$); **G** (pared hacia baños, $T=1/20$); **H y I** (paredes hacia área pública, $T=1/5$).

Ecuaciones de diseño:

$$P = \frac{WUT}{d^2} B \quad (8)$$

$$B = \frac{P d^2}{WUT} \quad (9)$$

$$n = \log_{10} \left(\frac{1}{B} \right) \quad (10)$$

$$t = n \times \text{TVL}_{\text{material}} \quad (11)$$

Procedimiento: Para cada punto usar la ecuación 9 para hallar B , luego la ecuación 10 y 11, y redondear al espesor comercial inmediato superior.

K — Vidrio plomado (a sala de control, área controlada).: Datos: $d=2,18 \text{ m}$, $P=0,1$, $T=1$, material Pb-eq.

$$B_K = \frac{0,1 (2,18)^2}{20} = \mathbf{0,023762}$$

$$n_K = \log_{10}(1/0,023762) = \mathbf{1,6241} \Rightarrow t_{K,\text{mín}} = 1,6241 \times 0,83 = \mathbf{1,348 \text{ mm Pb-eq}}$$

Especificado: 1,5 mm Pb-eq (visor)

F — Puerta (no controlada).: $d=2,82 \text{ m}$, $P=0,02$, $T=1/5$, Pb-eq.

$$B_F = \frac{0,02 (2,82)^2}{20 (1/5)} = \mathbf{0,039762}$$

$$n_F = \log_{10}(1/0,039762) = \mathbf{1,4005} \Rightarrow t_{F,\text{mín}} = 1,4005 \times 0,83 = \mathbf{1,162 \text{ mm Pb-eq}}$$

Especificado: 1,5 mm Pb-eq

J — Puerta (no controlada): $d=1,83$ m, $P=0,02$, $T=1/5$, Pb-eq.

$$B_J = \frac{0,02 (1,83)^2}{20 (1/5)} = \mathbf{0,0167445}$$

$$n_J = \log_{10}(1/0,0167445) = \mathbf{1,7761} \Rightarrow t_{J,\text{mín}} = 1,7761 \times 0,83 = \mathbf{1,474}$$
 mm Pb-eq

Especificado: 1,5 mm Pb-eq

G — Pared (hacia baños): $d=2,64$ m, $P=0,02$, $T=1/20$, material: hormigón.

$$B_G = \frac{0,02 (2,64)^2}{20 (1/20)} = \mathbf{0,139392}$$

$$n_G = \log_{10}(1/0,139392) = \mathbf{0,8558} \Rightarrow t_{G,\text{mín}} = 0,8558 \times 146 = \mathbf{124,94}$$
 mm hormigón

Especificado: 150 mm de hormigón

H — Pared (área no controlada): $d=2,62$ m, $P=0,02$, $T=1/5$, hormigón.

$$B_H = \frac{0,02 (2,62)^2}{20 (1/5)} = \mathbf{0,034322}$$

$$n_H = \log_{10}(1/0,034322) = \mathbf{1,4644} \Rightarrow t_{H,\text{mín}} = 1,4644 \times 146 = \mathbf{213,81}$$
 mm hormigón

Especificado: 225 mm de hormigón

I — Pared (área no controlada): $d=1,76$ m, $P=0,02$, $T=1/5$, hormigón.

$$B_I = \frac{0,02 (1,76)^2}{20 (1/5)} = \mathbf{0,015488}$$

$$n_I = \log_{10}(1/0,015488) = \mathbf{1,8100} \Rightarrow t_{I,\text{mín}} = 1,8100 \times 146 = \mathbf{264,26}$$
 mm hormigón

Especificado: 300 mm de hormigón

En la tabla 21 se muestra el espesor que se usara para el blindaje.

Tabla 21
ESPEORES MÍNIMOS Y ESPECIFICADOS PARA FLUOROSCOPIA (DISCOVERY RF180), AUTORÍA PROPIA.

Punto	Superficie	d (m)	P (mSv/sem)	T	$t_{\text{mín}}$	$t_{\text{especificado}}$
F	Puerta (pública)	2.82	0.02	1/5	1.162 mm Pb-eq	1.5 mm Pb-eq
G	Pared (baños)	2.64	0.02	1/20	124.94 mm conc.	150 mm conc.
H	Pared (pública)	2.62	0.02	1/5	213.81 mm conc.	225 mm conc.
I	Pared (pública)	1.76	0.02	1/5	264.26 mm conc.	300 mm conc.
J	Puerta (pública)	1.83	0.02	1/5	1.474 mm Pb-eq	1.5 mm Pb-eq
K	Vidrio (control)	2.18	0.10	1	1.348 mm Pb-eq	2.0 mm Pb-eq

VI-E3. Cálculo de blindajes para el área de mamografía (DM 156):

Se dimensionan **barreras secundarias** (dispersión + fuga) para una sala de mamografía con equipo DM156 (20–40 kV, generador de 5 kW).

- Trabajo efectivo semanal (conservador): $W_{ef} = 5 \text{ mA} \cdot \text{min}/\text{sem}$.
- Factor de uso: $U = 1$.
- Nivel de referencia semanal: área controlada $P = 0,1 \text{ mSv}/\text{sem}$; área no controlada $P = 0,02 \text{ mSv}/\text{sem}$.
- Ocupación: control $T = 1$; pasillo/antesala $T = 1/5$.
- TVL de referencia (diseño conservador): $\text{TVL}_{\text{Pb}} = 0,83 \text{ mm}$; $\text{TVL}_{\text{hormi}} = 146 \text{ mm}$.
- Distancias desde el punto focal (según plano): $d_Q = 2,42 \text{ m}$, $d_P = 1,58 \text{ m}$, $d_L = 2,84 \text{ m}$, $d_M = 2,34 \text{ m}$, $d_N = 2,32 \text{ m}$, $d_O = 1,58 \text{ m}$.

Ecuaciones de diseño:

$$P = \frac{WUT}{d^2} B \quad (12)$$

$$B = \frac{P d^2}{WUT} \quad (13)$$

$$n = \log_{10} \left(\frac{1}{B} \right) \quad (14)$$

$$t = n \times \text{TVL}_{\text{material}} \quad (15)$$

Procedimiento: Para cada punto usar la ecuación 13 para hallar B , luego la ecuación 14 y 15, y redondear al espesor comercial inmediato superior.

Q — Vidrio plomado (hacia control): Datos: $d=2,42 \text{ m}$, $P=0,1$, $T=1$, material Pb-eq.

$$B_Q = \frac{0,1 (2,42)^2}{5 \cdot 1 \cdot 1} = 0,117128$$

$$n_Q = \log_{10}(1/0,117128) = 0,9313, \quad t_{Q,\text{mín}} = 0,9313 \times 0,83 = \mathbf{0,773 \text{ mm Pb-eq}}$$

Especificado: 1,0 mm Pb-eq

P — Vidrio plomado (hacia control): Datos: $d=1,58 \text{ m}$, $P=0,1$, $T=1$.

$$B_P = \frac{0,1 (1,58)^2}{5} = 0,049928, \quad n_P = \log_{10}(1/0,049928) = 1,3017$$

$$t_{P,\text{mín}} = 1,3017 \times 0,83 = \mathbf{1,080 \text{ mm Pb-eq}}$$

Especificado: 1,5 mm Pb-eq

L — Puerta (pasillo no controlado): Datos: $d=2,84 \text{ m}$, $P=0,02$, $T=1/5$.

$$B_L = \frac{0,02 (2,84)^2}{5 \cdot (1/5)} = 0,161312, \quad n_L = \log_{10}(1/0,161312) = 0,7923$$

$$t_{L,\text{mín}} = 0,7923 \times 0,83 = \mathbf{0,658 \text{ mm Pb-eq}}$$

Especificado: 1,0 mm Pb-eq

M — Puerta (pasillo/antesala no controlado): Datos: $d=2,34$ m, $P=0,02$, $T=1/5$.

$$B_M = \frac{0,02 (2,34)^2}{5 \cdot (1/5)} = 0,109512, \quad n_M = \log_{10}(1/0,109512) = 0,9605$$

$$t_{M,\text{mín}} = 0,9605 \times 0,83 = \mathbf{0,797 \text{ mm Pb-eq}}$$

Especificado: 1,0 mm Pb-eq

N — Pared (no controlada): Datos: $d=2,32$ m, $P=0,02$, $T=1/5$, material: hormigón.

$$B_N = \frac{0,02 (2,32)^2}{5 \cdot (1/5)} = 0,107648, \quad n_N = \log_{10}(1/0,107648) = 0,9680$$

$$t_{N,\text{mín}} = 0,9680 \times 146 = \mathbf{141,33 \text{ mm de hormigón}}$$

Especificado: 150 mm de hormigón

O — Pared (no controlada): Datos: $D = 1,58$ m, $P=0,02$, $T=1/5$, material: hormigón.

$$B_O = \frac{0,02 (1,58)^2}{5 \cdot (1/5)} = 0,049928, \quad n_O = \log_{10}(1/0,049928) = 1,3016$$

$$t_{O,\text{mín}} = 1,3016 \times 146 = \mathbf{190,04 \text{ mm de hormigón}}$$

Especificado: 200 mm de hormigón

En la tabla 22 se muestra el espesor que se usara para el blindaje.

Tabla 22
PARÁMETROS Y ESPESORES FINALES (MAMÓGRAFO DM156), AUTORÍA PROPIA.

Punto	Superficie	d (m)	P (mSv/sem)	T	$t_{\text{mín}}$	$t_{\text{especificado}}$
L	Puerta (pasillo)	2.84	0.02	1/5	0.658 mm Pb-eq	1.0 mm Pb-eq
M	Puerta (antesala/pasillo)	2.34	0.02	1/5	0.797 mm Pb-eq	1.0 mm Pb-eq
N	Pared (no controlada)	2.32	0.02	1/5	141.33 mm conc.	150 mm conc.
O	Pared (no controlada)	2.33	0.02	1/5	140.89 mm conc.	200 mm conc.
P	Vidrio (control)	1.58	0.10	1	1.080 mm Pb-eq	1.5 mm Pb-eq
Q	Vidrio (control)	2.42	0.10	1	0.773 mm Pb-eq	1.0 mm Pb-eq

VI-E4. Cálculo de blindajes para sala de rayos x (TMS 320 R):

- Sólo **barreras secundarias** (dispersión + fuga).
- Trabajo efectivo conservador: $W_{\text{ef}} = 10 \text{ mA} \cdot \text{min/sem.}$
- Factor de uso: $U = 1$.
- Niveles semanales de diseño P : controlada 0,1 mSv/sem, no controlada 0,02 mSv/sem.
- Ocupación T : control = 1; pasillo/área pública = 1/5; baños = 1/20.
- TVL (100–120 kVp, criterio conservador): $\text{TVL}_{\text{Pb}} = 0,83 \text{ mm}$, $\text{TVL}_{\text{conc}} = 146 \text{ mm}$.
- Distancias desde el foco (según plano): $d_W = 1,43 \text{ m}$, $d_X = 1,43 \text{ m}$, $d_R = 1,22 \text{ m}$, $d_S = 2,57 \text{ m}$, $d_T = 2,94 \text{ m}$, $d_V = 2,86 \text{ m}$.

Asignación de superficies.:

- **Paredes:** W (baños, $T=1/20$), X (pública, $T=1/5$), R (control, $T=1$).
- **Puertas:** T y V (pasillo/área pública, $T=1/5$).
- **Vidrio:** S (hacia control, $T=1$).

Ecuaciones de diseño:

$$P = \frac{WUT}{d^2} B \quad (16)$$

$$B = \frac{P d^2}{WUT} \quad (17)$$

$$n = \log_{10} \left(\frac{1}{B} \right) \quad (18)$$

$$t = n \times \text{TVL}_{\text{material}} \quad (19)$$

Procedimiento: Para cada punto usar la ecuación 17 para hallar B , luego la ecuación 18 y 19, y redondear al espesor comercial inmediato superior.

S — Vidrio plomado (control): $d=2,57$ m, $P=0,1$, $T=1$, material Pb-eq.

$$B_S = \frac{0,1(2,57)^2}{10} = 0,066049. \quad n_S = \log_{10}(1/0,066049) = 1,1801. \quad t_{S,\text{mín}} = 1,1801 \times 0,83 = \mathbf{0,980} \text{ mm Pb-eq}$$

Especificado: 1,5 mm Pb-eq

T — Puerta (no controlada): $d=2,94$ m, $P=0,02$, $T=1/5$.

$$B_T = \frac{0,02(2,94)^2}{10(1/5)} = 0,086436. \quad n_T = 1,0633. \quad t_{T,\text{mín}} = 1,0633 \times 0,83 = \mathbf{0,883} \text{ mm Pb-eq}$$

Especificado: 1,0 mm Pb-eq

V — Puerta (no controlada): $d=2,86$ m, $P=0,02$, $T=1/5$.

$$B_V = \frac{0,02(2,86)^2}{10(1/5)} = 0,081796. \quad n_V = 1,0873. \quad t_{V,\text{mín}} = 1,0873 \times 0,83 = \mathbf{0,902} \text{ mm Pb-eq.}$$

Especificado: 1,0 mm Pb-eq

W — Pared (baños): $d=1,43$ m, $P=0,02$, $T=1/20$, hormigón.

$$B_W = \frac{0,02(1,43)^2}{10(1/20)} = 0,081796. \quad n_W = 1,0873. \quad t_{W,\text{mín}} = 1,0873 \times 146 = \mathbf{158,75} \text{ mm de hormigón}$$

Especificado: 200 mm de hormigón

X — Pared (pública): $d=1,43$ m, $P=0,02$, $T=1/5$, hormigón.

$$B_X = \frac{0,02(1,43)^2}{10(1/5)} = 0,020449. \quad n_X = 1,6893. \quad t_{X,\text{mín}} = 1,6893 \times 146 = \mathbf{246,65} \text{ mm de hormigón.}$$

Especificado: 250 mm de hormigón

R — Pared (control): $d=1,22$ m, $P=0,1$, $T=1$, hormigón.

$$B_R = \frac{0,1(1,22)^2}{10} = 0,014884. \quad n_R = 1,8273. \quad t_{R,\text{mín}} = 1,8273 \times 146 = \mathbf{266,79} \text{ mm de hormigón}$$

Especificado: 300 mm de hormigón

En la tabla 23 se muestra el espesor que se usara para el blindaje.

Tabla 23
PARÁMETROS Y ESPESORES FINALES, AUTORÍA PROPIA.(TMS 320), AUTORÍA PROPIA.

Punto	Superficie	d (m)	P (mSv/sem)	T	$t_{\text{mín}}$	$t_{\text{especificado}}$
R	Pared (control)	1.22	0.10	1	266.79 mm conc.	300 mm conc.
S	Vidrio (control)	2.57	0.10	1	0.980 mm Pb-eq	1.5 mm Pb-eq
T	Puerta (pública)	2.94	0.02	1/5	0.883 mm Pb-eq	1.0 mm Pb-eq
V	Puerta (pública)	2.86	0.02	1/5	0.902 mm Pb-eq	1.0 mm Pb-eq
W	Pared (baños)	1.43	0.02	1/20	158.75 mm conc.	200 mm conc.
X	Pared (pública)	1.43	0.02	1/5	246.65 mm conc.	250 mm conc.

VI-F. Requisitos Eléctricos.

Instalaciones eléctricas

1. Cada equipo debe tener un circuito independiente con interruptores termomagnéticos y diferenciales para protección de fallos eléctricos.
2. UPS (Sistemas de respaldo eléctrico): instalación de UPS para mantener operativos los equipos esenciales durante cortes de energía. La tensión de la sala debe ser 220 V o 380 V trifásico para los equipos de diagnóstico.
3. Tierra de protección: sistema de puesta a tierra de menor igual que 5 ohmios.
4. La tensión de la sala debe ser 220 V o 380 V trifásico para los equipos de diagnóstico.

Normas aplicables:

1. IEC 60364: Requisitos para instalaciones eléctricas en hospitales.
2. NFPA 70 (NEC): Código eléctrico nacional para instalaciones hospitalarias.

VI-G. Validación del Diseño

La validación del diseño se realizará a través de:

- Verificación de cumplimiento de normas de blindaje, zonificación y distribución espacial.
- Revisión mediante listas de chequeo normativas.
- Simulaciones operativas del flujo médico y técnico.
- Visualización final del modelo mediante maqueta digital.

VII. RESULTADOS

El diseño arquitectónico del área de diagnóstico por imágenes se desarrolló bajo la metodología BIM, utilizando el software Rhinoceros 7 como herramienta principal de modelado tridimensional. Esta metodología permitió integrar en un mismo entorno virtual la planificación espacial, los criterios normativos y los requerimientos técnicos de cada modalidad de imagenología, garantizando un diseño preciso y fácilmente verificable.

VII-A. Plano de distribución de Áreas

La figura 12 presenta la distribución general del diseño, donde se observa la organización inicial de los ambientes y la base en se estructuraron las áreas específicas del proyecto.

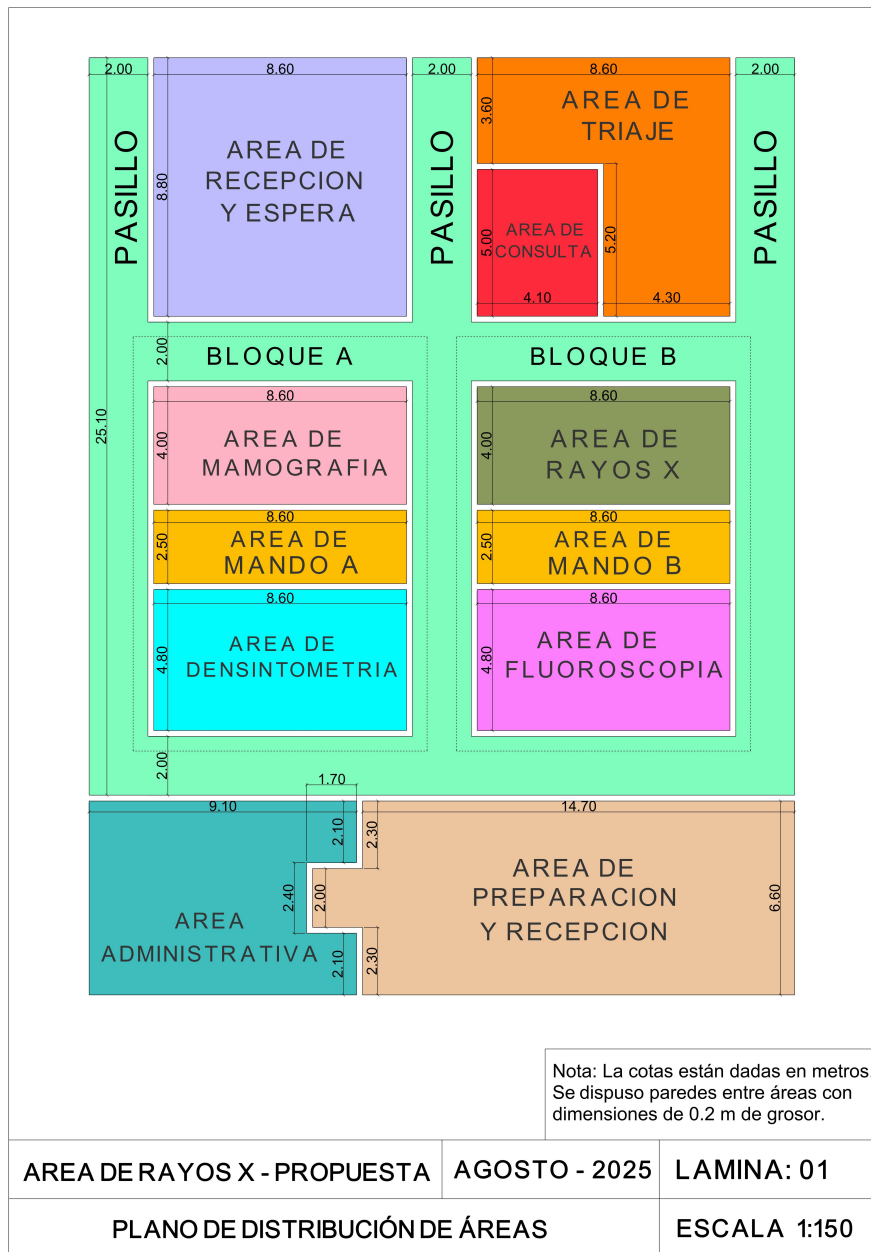


Figura 12. Plano 2D de las diferentes áreas con sus respectivas medidas, autoría propia.

En la parte central de l figura 12se ubican los dos bloques más relevantes, que concentran los equipos médicos. El Bloque A está destinado a las modalidades de mamografía y densitometría ósea, además de su correspondiente área de mando. El Bloque B concentra la sala de rayos X convencional y la sala de fluoroscopia, también con su área de mando independiente. Esta disposición permite que cada modalidad opere de forma autónoma, garantizando tanto la seguridad del personal como la privacidad y comodidad de los pacientes.

En la zona perimetral se localizan los espacios de soporte: área de recepción y espera en la parte superior izquierda, área de triaje y consulta en el costado derecho, y un área amplia de preparación y recepción de pacientes en la parte inferior. En el extremo inferior izquierdo se dispuso un bloque administrativo con oficinas, sala de reuniones y espacios de gestión, lo que asegura que las labores de coordinación y gestión del servicio no interfieran con la dinámica clínica de las salas de examen.

En la Tabla 24 se detallan las dimensiones de cada una de las áreas contempladas en el diseño general. Los valores de superficie y volumen han sido calculados en base a las cotas arquitectónicas, considerando una altura de 3.0 m en todo el proyecto.

Tabla 24
ÁREAS, SUPERFICIES Y VOLÚMENES DEL SERVICIO DE DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES, AUTORÍA PROPIA.

Nombre de Área	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Recepción y Espera	75.68	227.04
Triaje	53.32	159.96
Consulta	20.49	61.47
Mamografía	34.40	103.20
Mando A	21.50	64.50
Densitometría	41.28	123.84
Rayos X Convencional	34.40	103.20
Mando B	21.50	64.50
Fluoroscopia	41.28	123.84
Preparación y Recepción	100.42	301.26
Administración	55.98	167.94

La figura 13 presenta una distribución más detallada de los espacios que conforman el área de diagnóstico por imágenes. En esta vista se distinguen las áreas complementarias de ingreso y admisión, junto con ambientes específicos que complementan el funcionamiento de las salas principales, como cabinas de mando, vestuarios, baños y estaciones de control. Así mismo, se incluyen zonas de apoyo administrativo y una sala de observación prolongada, prevista para ofrecer un espacio de vigilancia clínica en procedimientos que lo requieran. Esta subdivisión del esquema general permite apreciar cómo el diseño integra de manera ordenada los recintos auxiliares, aportando al cumplimiento de los requerimientos técnicos y de seguridad que exigen este tipo de instalaciones.



Figura 13. Plano 2D de distribución de áreas por sección, autoría propia.

VII-A1. Área de Recepción y Espera:

Este espacio constituye la primera zona de contacto entre los usuarios y el servicio. Su ubicación estratégica, próxima al acceso principal y conectada con los pasillos de circulación, asegura un flujo ordenado hacia los distintos bloques diagnósticos, sus elementos principales, entre ellos los módulos de asientos, la cercanía con los servicios higiénicos diferenciados por género y el sistema digital de control de turnos visible en pantalla.

La tabla 25 sintetiza las dimensiones y capacidades de la sala, permitiendo una visión cuantitativa del aforo y la distribución física del área.

Tabla 25
ÁREA DE RECEPCIÓN Y ESPERA: SECCIONES, SUPERFICIES Y VOLÚMENES, AUTORÍA PROPIA

Sección	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Baño de Hombres	13.33	40.00
Baño de Mujeres	13.33	40.00
Sala de Espera	48.40	145.20
Recepción	4.13	12.40
Evaluación Inicial	11.35	34.05

VII-A2. Área de Triage:

En el área de triaje se dispuso un conjunto de espacios destinados a garantizar la correcta valoración del paciente antes de su ingreso a las salas de examen. La primera zona corresponde a una pequeña recepción que funciona como estación de enfermería, desde donde el personal de salud coordina el flujo y realiza los controles iniciales. A continuación, la sala de evaluación inicial está equipada con los instrumentos necesarios para la toma de signos vitales y mediciones antropométricas, incluyendo tensiómetros, balanzas con tallímetro y pulsioxímetros.

De manera complementaria, se diseñó una sala de observación breve, pensada para mantener al paciente bajo vigilancia durante un tiempo prudencial en caso de inestabilidad, asegurando que llegue en condiciones óptimas al procedimiento radiológico. Finalmente, se incluyó una sala de equipos médicos destinada al almacenamiento de insumos y dispositivos de apoyo, como sillas de ruedas, tensiómetros y otros materiales de uso frecuente en esta fase de preparación. Las dimensiones generales de la sala se resumen en la tabla 26, donde se especifica la superficie y capacidad del área.

Tabla 26
ÁREA DE TRIAJE: SECCIONES, SUPERFICIES Y VOLÚMENES, AUTORÍA PROPIA.

Sección	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Sala de Observación Breve	19.78	59.34
Sala de Equipo Médico	13.06	39.18
Baño	3.36	10.08

VII-A3. Área de Consulta:

El área de consultas se diseñó como un espacio de carácter administrativo y de atención al usuario, orientado a brindar soporte tanto en la gestión de los estudios como en la comunicación con los pacientes. En primer lugar, se dispone de la unidad de información y asignación de turnos, concebida como una ventanilla de servicio donde se realizan procesos clave como la entrega de turnos, la gestión de cobros y la devolución de resultados junto con la valoración correspondiente de los estudios. De manera complementaria, se incluyó un ambiente de atención personalizada, destinado a consultas más amplias y específicas, en el que se pueden resolver inquietudes relacionadas con los exámenes, aclarar indicaciones y proporcionar orientación detallada a los usuarios. Finalmente, se incorporó

un baño exclusivo para el personal administrativo, asegurando condiciones de comodidad y funcionalidad para quienes desempeñan sus labores en esta área. Las dimensiones generales de la sala se resumen en la tabla 27, donde se especifica la superficie y capacidad del área.

Tabla 27
 ÁREA DE CONSULTA: SECCIONES, SUPERFICIES Y VOLÚMENES, AUTORÍA PROPIA.

Sección	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Sala de información y asignación de turnos	5.52	16.56
Atención personalizada	10.72	32.16
Baño	3.15	9.45

VII-A4. Área de Mamografía:

El área de mamografía está destinada a estudios de las glándulas mamarias, orientados al diagnóstico temprano de alteraciones y enfermedades. La sala principal ofrece dimensiones adecuadas para la instalación del equipo y la movilidad del paciente y del personal técnico, garantizando un entorno cómodo y seguro. De forma contigua se ubica una cabina de control, donde el técnico acciona el equipo y guía al paciente, manteniendo comunicación directa durante el procedimiento. El conjunto se complementa con un baño y un vestidor adyacentes, que brindan privacidad y facilitan la preparación antes y después del examen. Así, el área de mamografía integra seguridad, funcionalidad y confort, cumpliendo con los criterios normativos para este tipo de estudios.

Las dimensiones generales del espacio se sintetizan en la tabla 28, donde se especifican superficie útil y capacidad del área.

Tabla 28
 ÁREA DE MAMOGRAFÍA: SECCIONES, SUPERFICIES Y VOLÚMENES ,AUTORÍA PROPIA.

Sección	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Sala de Examen Radiográfico 1	24.06	72.18
Cabina de Mando 1	3.30	9.90
Baño	1.52	4.56
Vestuario	3.71	11.13

VII-A5. Área de Mando A:

El área de mando A se ubica contigua a las salas de mamografía y densitometría ósea, y concentra las consolas y estaciones de trabajo para la operación de los equipos. Su proximidad permite mantener comunicación directa con el paciente y supervisión desde el puesto de control, en un ambiente de dimensiones suficientes para una operación ordenada. Como apoyo, incorpora un baño de uso exclusivo del personal técnico, ubicado dentro del mismo núcleo para no interferir con el tránsito asistencial y asegurar condiciones adecuadas durante la jornada.

Las dimensiones generales del espacio se sintetizan en la tabla 29, donde se consignan superficies y capacidad del área.

Tabla 29
 ÁREA DE MANDO A: SECCIONES, SUPERFICIES Y VOLÚMENES, AUTORÍA PROPIA.

Sección	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Monitoreo y control 1	8.00	24.00
Monitoreo y control 2	8.00	24.00
Baño	5.00	15.00

VII-A6. Área de Densitometría:

El área de densitometría ósea está destinada a la realización de estudios de medición de la densidad mineral ósea, fundamentales para la detección temprana de patologías como la osteoporosis. La sala principal cuenta con dimensiones amplias que permiten la correcta instalación del equipo y la movilidad del paciente y del personal técnico, garantizando comodidad y seguridad en el procedimiento. De forma contigua se incorpora una cabina de control, destinada al manejo de la consola y a la supervisión del examen por parte del técnico, lo que facilita la comunicación cercana con el paciente. Como complemento, se incluyen un baño y un vestidor anexos, diseñados para ofrecer privacidad y agilizar la preparación previa al estudio, así como la comodidad posterior. En conjunto, esta área integra funcionalidad, seguridad y confort, cumpliendo con los estándares normativos establecidos para este tipo de procedimientos. Las dimensiones generales del ambiente se detallan en la tabla 30, donde se especifican superficie y capacidad del área.

Tabla 30
 ÁREA DE DENSITOMETRÍA: SECCIONES, SUPERFICIES Y VOLÚMENES, AUTORÍA PROPIA.

Sección	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Sala de Examen Radiográfico 2	30.43	91.29
Cabina de Mando 2	3.75	11.25
Vestuario	3.71	11.13
Baño	1.62	4.86

VII-A7. Área de Rayos X:

El área de rayos X convencional está destinada a la realización de estudios radiográficos generales, siendo una de las unidades más utilizadas dentro del servicio. La sala principal ofrece dimensiones adecuadas para la instalación del equipo y la movilidad de camillas, pacientes y personal, lo que permite un desarrollo seguro y ordenado de los procedimientos. De manera adyacente se integra una cabina de control, desde la cual el técnico opera el sistema y mantiene supervisión directa del examen, garantizando tanto la seguridad radiológica como la orientación al paciente durante el proceso. Como apoyo adicional, se han incorporado un baño y un vestidor, diseñados para brindar privacidad y facilitar la preparación del usuario antes de la exposición. Esta configuración asegura un ambiente funcional, accesible y alineado con los requisitos normativos establecidos para salas de radiodiagnóstico. Las dimensiones generales del área se presentan en la tabla 31, donde se especifican superficie y capacidad del espacio.

Tabla 31
 ÁREA DE RAYOS X: SECCIONES, SUPERFICIES Y VOLÚMENES, AUTORÍA PROPIA.

Sección	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Sala de Examen Radiográfico 3	24.50	73.50
Cabina de Mando 3	3.30	9.90
Baño	1.52	4.56
Vestuario	3.81	11.43

VII-A8. Área de Mando B:

El área de mando B se encuentra vinculada a las salas de rayos X convencional y fluoroscopia, y constituye el espacio de operación y control de ambos equipos. Su ubicación estratégica permite al personal técnico manejar las consolas en condiciones de seguridad, manteniendo comunicación visual y supervisión directa de los procedimientos. El ambiente cuenta con dimensiones suficientes para el uso ordenado de estaciones de trabajo y equipamiento complementario, evitando interferencias durante la operación. Como apoyo, dispone de un baño destinado al personal técnico, lo que asegura comodidad y funcionalidad sin necesidad de salir del área controlada. Esta configuración garantiza eficiencia en la gestión operativa y refuerza las medidas de protección radiológica. Las dimensiones generales de esta cabina se presentan en la tabla 32, donde se especifican la superficie y la capacidad del área.

Tabla 32
 ÁREA DE MANDO B: SECCIONES, SUPERFICIES Y VOLÚMENES, AUTORÍA PROPIA.

Sección	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Monitoreo y control 3	8.00	24.00
Monitoreo y control 4	8.00	24.00
Baño	5.00	15.00

VII-A9. Área de Fluoroscopia:

El área de fluoroscopia se destina a la realización de estudios dinámicos en tiempo real, particularmente útiles en procedimientos contrastados y exploraciones que requieren observación continua. La sala principal ha sido diseñada con dimensiones suficientes para la instalación del equipo de telemando, permitiendo además la movilidad segura del paciente y del personal asistencial. Como apoyo directo, se han incorporado un baño y un vestidor anexos, que brindan comodidad y privacidad al usuario en la preparación previa al estudio. Esta disposición sencilla pero funcional asegura que la sala cumpla con los requerimientos técnicos y normativos propios de este tipo de procedimientos especializados.

Las dimensiones generales de esta sala se detallan en la tabla 33, donde se especifican superficie y capacidad.

Tabla 33
 ÁREA DE FLUOROSCOPIA: SECCIONES, SUPERFICIES Y VOLÚMENES, AUTORÍA PROPIA.

Sección	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Sala de Examen Radiográfico 4	34.68	104.04
Vestuario	3.71	11.13
Baño	1.62	4.86

VII-A10. Área de Preparación y Recepción:

El área de preparación y recepción está concebida como un espacio destinado a la atención de pacientes más delicados o provenientes de otros hospitales, ofreciendo un entorno amplio que permite tiempos de observación más prolongados cuando la condición clínica lo requiere. El diseño incluye dos baños diferenciados para garantizar accesibilidad y comodidad, así como una estación de enfermería estratégicamente ubicada, que facilita la supervisión integral de los pacientes en todo el recinto. Además, se incorpora una sala de equipos médicos con la finalidad de almacenar insumos y dispositivos de apoyo, cumpliendo la misma función complementaria prevista en el área de triaje. Esta organización refuerza la seguridad y funcionalidad del conjunto, al brindar un ambiente preparado para la recepción, estabilización y cuidado de pacientes antes de someterse a los estudios de imagen. Las dimensiones generales del área se presentan en la tabla 34, donde se consignan la superficie y la capacidad.

Tabla 34
 ÁREA DE PREPARACIÓN Y RECEPCIÓN: SECCIONES, SUPERFICIES Y VOLÚMENES, AUTORÍA PROPIA.

Sección	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Sala de preparación y observación prolongada	81.84	245.52
Baño	3.15	9.45
Estación de enfermería	3.96	11.88
Baño	3.15	9.45
Sala de Equipo Médico	6.40	19.20

VII-A11. Área de Administración:

El área administración reúne los espacios destinados a la gestión, coordinación y soporte del servicio de diagnóstico por imágenes. En este sector se encuentra la sala de informes, donde el personal especializado procesa y organiza los resultados de los estudios, los cuales son remitidos posteriormente al área de consultas para su revisión y entrega al paciente. Contigua a ella se ubica la jefatura, concebida como el despacho del supervisor o responsable del área, desde donde se lleva a cabo la dirección operativa y la coordinación del equipo de trabajo. El conjunto se completa con una sala de reuniones que incluye un baño propio, destinada tanto a la planificación interna como a encuentros clínicos o administrativos. Esta disposición garantiza que las labores de gestión se desarrollen en un entorno adecuado, separado de las áreas técnicas y asistenciales, evitando interferencias con el flujo de pacientes y reforzando la eficiencia en la organización del servicio. Las dimensiones generales del área se sintetizan en la tabla 35, donde se consignan la superficie y la capacidad del espacio.

Tabla 35
 ÁREA ADMINISTRATIVA: SECCIONES, SUPERFICIES Y VOLÚMENES, AUTORÍA PROPIA.

Sección	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Sala de informes	27.01	81.03
Baño	3.15	9.45
Jefatura	8.38	25.14
Baño	3.15	9.45
Sala de reuniones	11.42	34.26
Baño	3.15	9.45

VII-B. *Plano de distribución interna y equipamiento*

La figura 14 permite observar como cada área ha sido equipada con el mobiliario y los objetos necesarios para su funcionamiento, además de la disposición de las puertas que conectan y aseguran accesibilidad en todo el conjunto.

En la zona de recepción y espera se distinguen claramente las 28 sillas distribuidas en hileras, lo que garantiza un espacio organizado para pacientes y acompañantes. A un costado, los baños diferenciados por género incorporan varias cabinas y lavamanos, con puertas de anchos suficientes para permitir el acceso de personas en silla de ruedas, cumpliendo con los criterios de accesibilidad universal.

El área de triaje y consulta se complementa con escritorios y sillas destinados al personal de enfermería y administrativo, además de recintos con baños individuales y espacios de observación breve equipados con camillas. Este equipamiento asegura que el área esté preparada tanto para la atención rápida como para la permanencia temporal de pacientes que requieran supervisión.

En los bloques centrales de diagnóstico se distribuyen las salas de rayos X, mamografía, densitometría y fluoroscopia. En cada una de ellas se observa la integración de baños y vestidores anexos, indispensables para la preparación de los pacientes, así como áreas de control con escritorios y estaciones de trabajo que permiten la operación técnica. Estos espacios se articulan con salas de monitoreo que concentran puestos de observación y equipos complementarios, ubicadas estratégicamente en la parte posterior de las salas de examen.

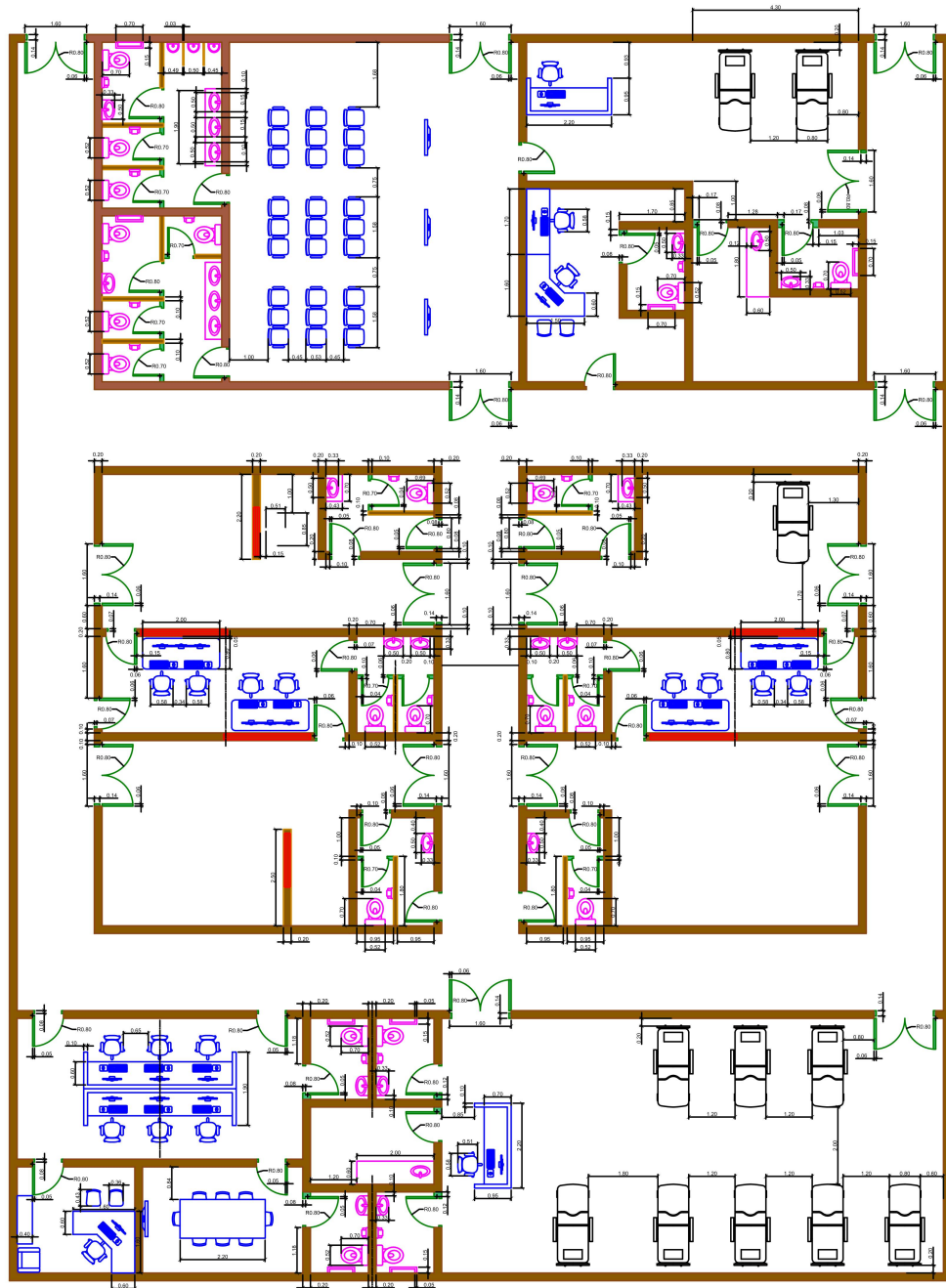
El área de preparación y recepción clínica se caracteriza por su amplitud y por incluir baños diferenciados, sala de equipos médicos y una estación de enfermería central, lo que refuerza su rol como punto de atención para pacientes con necesidades especiales.

En el sector administrativo se identifican espacios equipados con escritorios, mesas de reuniones y varias sillas, destinados al trabajo del personal en la validación de informes, coordinación interna y planificación clínica. La sala de reuniones incluye además un baño propio, lo que asegura mayor independencia de esta zona respecto a las áreas clínicas.

Por último, en el área de observación prolongada se dispone de camillas alineadas con una separación adecuada para la atención simultánea de varios pacientes. La presencia de una estación de enfermería cercana asegura la supervisión permanente, mientras que los baños adyacentes ofrecen comodidad durante la estancia de observación.

En cuanto a los accesos, la fachada principal contempla cuatro puertas claramente diferenciadas: una destinada a emergencias, otra como entrada principal de pacientes y acompañantes, una tercera para el ingreso de equipos médicos y finalmente una puerta de doble hoja que permite la entrada y salida de camillas, favoreciendo la movilidad de pacientes en condiciones más delicadas. De manera interna, las puertas fueron dimensionadas para responder a diferentes necesidades: las de 0,80 m aseguran accesibilidad para usuarios en silla de ruedas, mientras que las puertas de 1,60 m de doble hoja permiten el paso de mobiliario grande, camillas y equipos especializados.

En conjunto, la distribución interna evidencia una organización clara, donde cada espacio está provisto del mobiliario necesario y las puertas cumplen un rol estratégico tanto en accesibilidad como en seguridad y funcionalidad del servicio.



AREA DE RAYOS X - PROPUESTA	AGOSTO - 2025	LAMINA: 03
PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS POR SECCIÓN		ESCALA 1:150

Figura 14. Plano de distribución interna y equipamiento, autoría propia.

VII-C. Plano de blindaje de distribución equipos y especificación de blindaje

Los espesores de blindaje determinados se rigen bajo las recomendaciones internacionales establecidas por la NCRP Report No. 147 (Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities, 2004) y por las guías del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), en conjunto con la normativa nacional del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, la cual exige cumplir con los límites de dosis ocupacionales y en áreas públicas.

En la figura 15 se observa el uso diferenciado de los materiales según el requerimiento de cada superficie: láminas de plomo de 1.0 y 1.5 mm Eq Pb para muros y puertas, vidrio plomado de 1.5 mm Eq Pb en ventanas de observación, y concreto con un espesor de 20 cm para paredes estructurales. Esta distribución asegura un diseño optimizado que cumple con los criterios técnicos y regulatorios de protección radiológica.

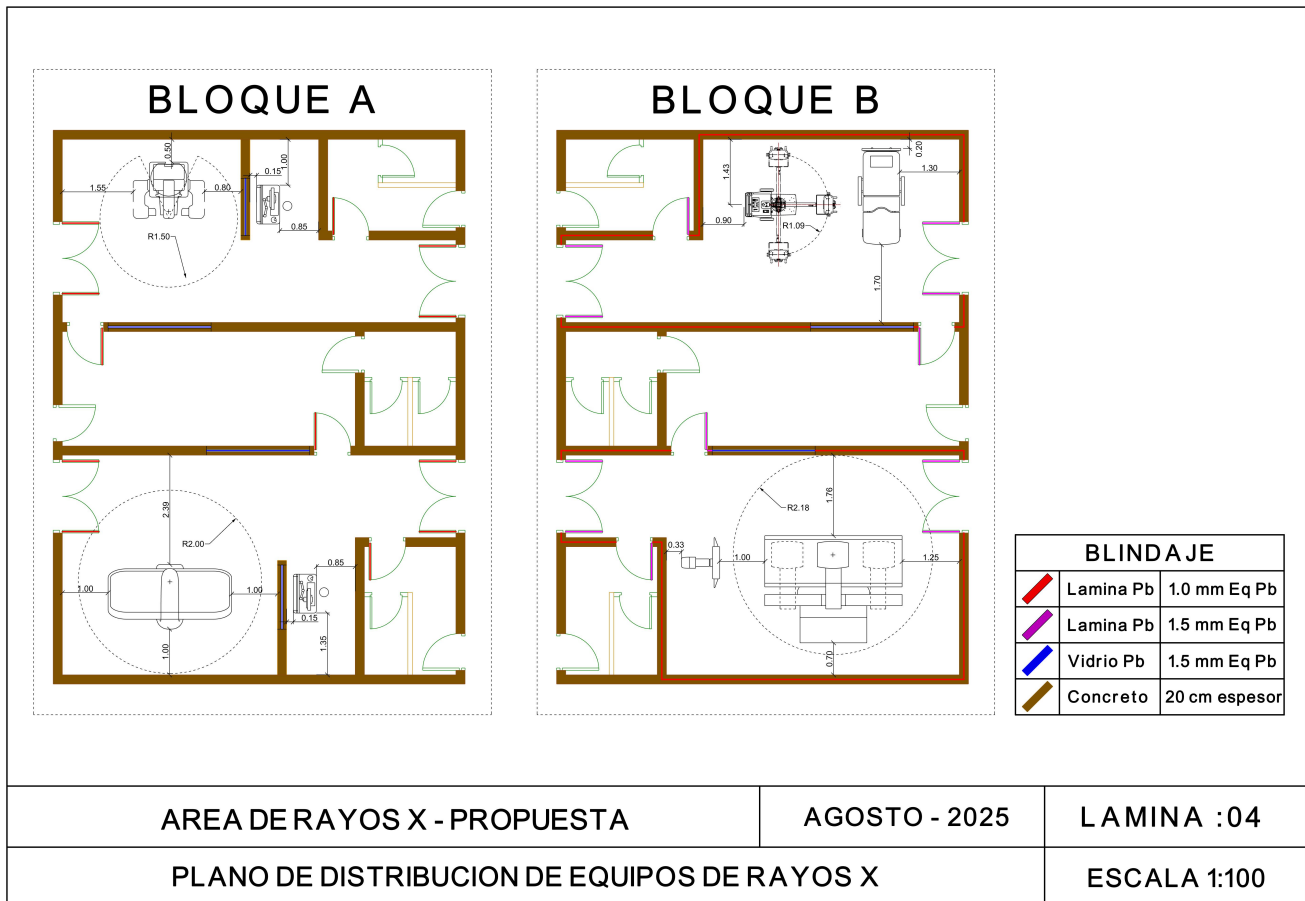


Figura 15. Plano de blindaje de distribución equipos y especificación de blindaje, autoría propia.

Los resultados obtenidos se muestran los espesores mínimos requeridos de blindaje para cada superficie, considerando la distancia al punto de emisión, los factores de ocupación (T) y los niveles de protección (P) establecidos por la normativa. A partir de estos valores calculados, se definieron los espesores finales de los materiales de blindaje.

Es importante señalar que se aplicó un criterio de redondeo comercial, ya que no existen en el mercado láminas de plomo con espesores menores a 1.0 mm. Por esta razón, valores como 0.505 mm Pb-eq o 0.676 mm Pb-eq fueron redondeados a 1.0 mm Pb-eq, garantizando tanto la disponibilidad del material como un margen adicional de seguridad radiológica. De igual forma, cuando el cálculo arrojó espesores superiores a 1.2 mm, se seleccionaron láminas de 1.5 mm o 2.0 mm Pb-eq según correspondía.

En el caso de las paredes, varios cálculos indicaban espesores de hormigón mayores a 30 cm, mientras que en el diseño arquitectónico se establecieron muros de 20 cm. Para compensar esta diferencia estructural, se reforzó el

blindaje añadiendo placas de plomo equivalentes, logrando así cumplir con los niveles de atenuación exigidos por la normativa sin alterar significativamente la estructura de la edificación.

VII-D. Flujo de ingreso

VII-D1. Plano de flujo de ingreso del paciente:

El plano de flujo de ingreso del paciente, facilita la visualización de la organización interna y mejora la eficiencia operativa al evitar desplazamientos innecesarios y cruces entre pacientes. De igual forma, asegura el cumplimiento de las normas de bioseguridad hospitalaria y refuerza la protección radiológica en cada etapa del proceso asistencial, como nos muestra la figura 16.

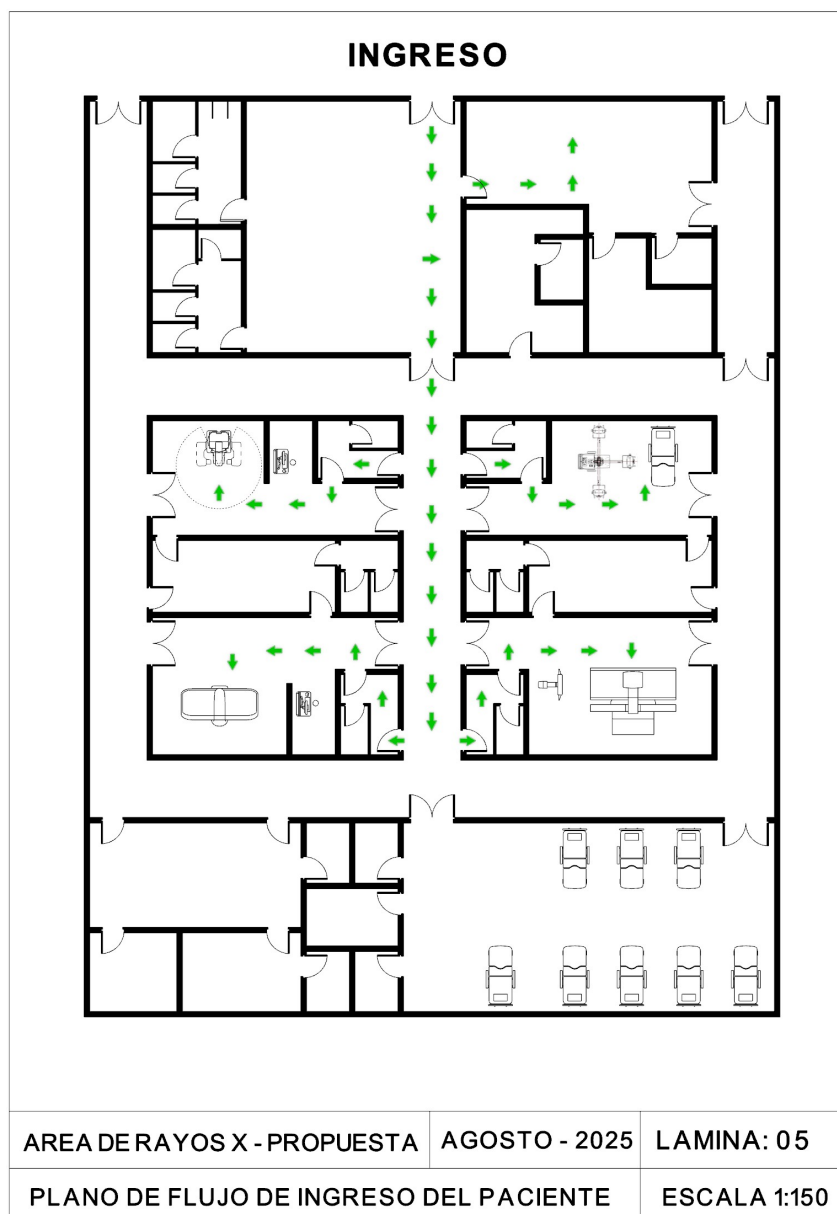


Figura 16. Plano de flujo de ingreso del paciente, autoría propia.

VII-D2. Diagrama de flujo de ingreso del paciente:

El siguiente diagrama de flujo que muestra la figura 17, se observa el itinerario que sigue el paciente dentro del servicio de diagnóstico por imágenes, dividido en tres etapas principales: ingreso, evaluación y estudios.

En la fase de Ingreso, el usuario se dirige a la recepción y sala de Espera, donde se realiza el registro administrativo y la organización de turnos. Luego, en la etapa de Evaluación, el paciente pasa por el área de Triage para una revisión inicial y, si corresponde, a la Consulta médica para la indicación del procedimiento específico. Finalmente, en la fase de Estudios, se lo deriva a las salas especializadas correspondientes: mamografía, densitometría ósea, rayos X o fluoroscopia, según el requerimiento diagnóstico.

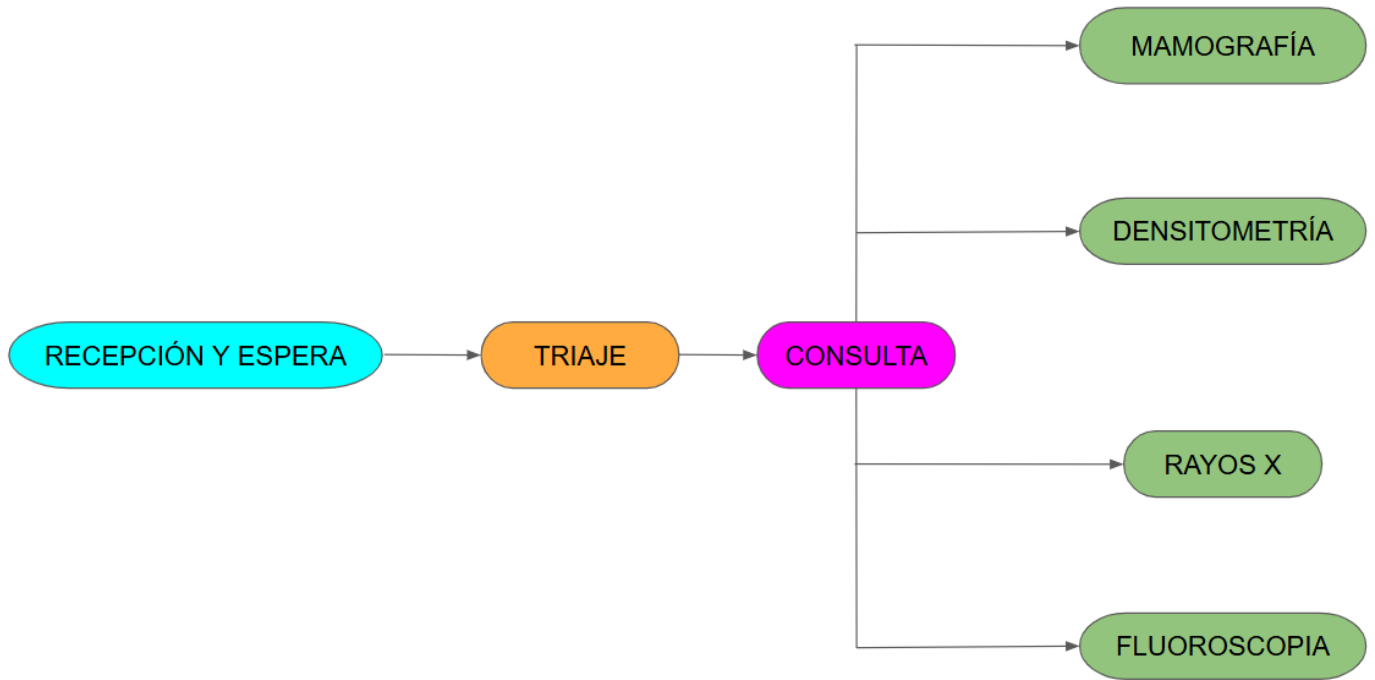


Figura 17. Diagrama de flujo del ingreso del paciente, autoría propia.

VII-D3. Plano de flujo de ingreso del personal de salud:

El esquema de circulación muestra el recorrido ordenado dentro de la unidad de diagnóstico por imágenes, señalando mediante flechas la dirección de desplazamiento desde el área de ingreso principal hacia los distintos espacios funcionales. Este diseño busca garantizar un tránsito fluido, evitando cruces innecesarios y reduciendo los tiempos de desplazamiento. La distribución de los pasillos permite una conexión eficiente entre salas de atención, áreas técnicas y zonas de apoyo, asegurando que tanto pacientes como personal de salud sigan rutas claras y seguras, como se visualiza en la figura 19.

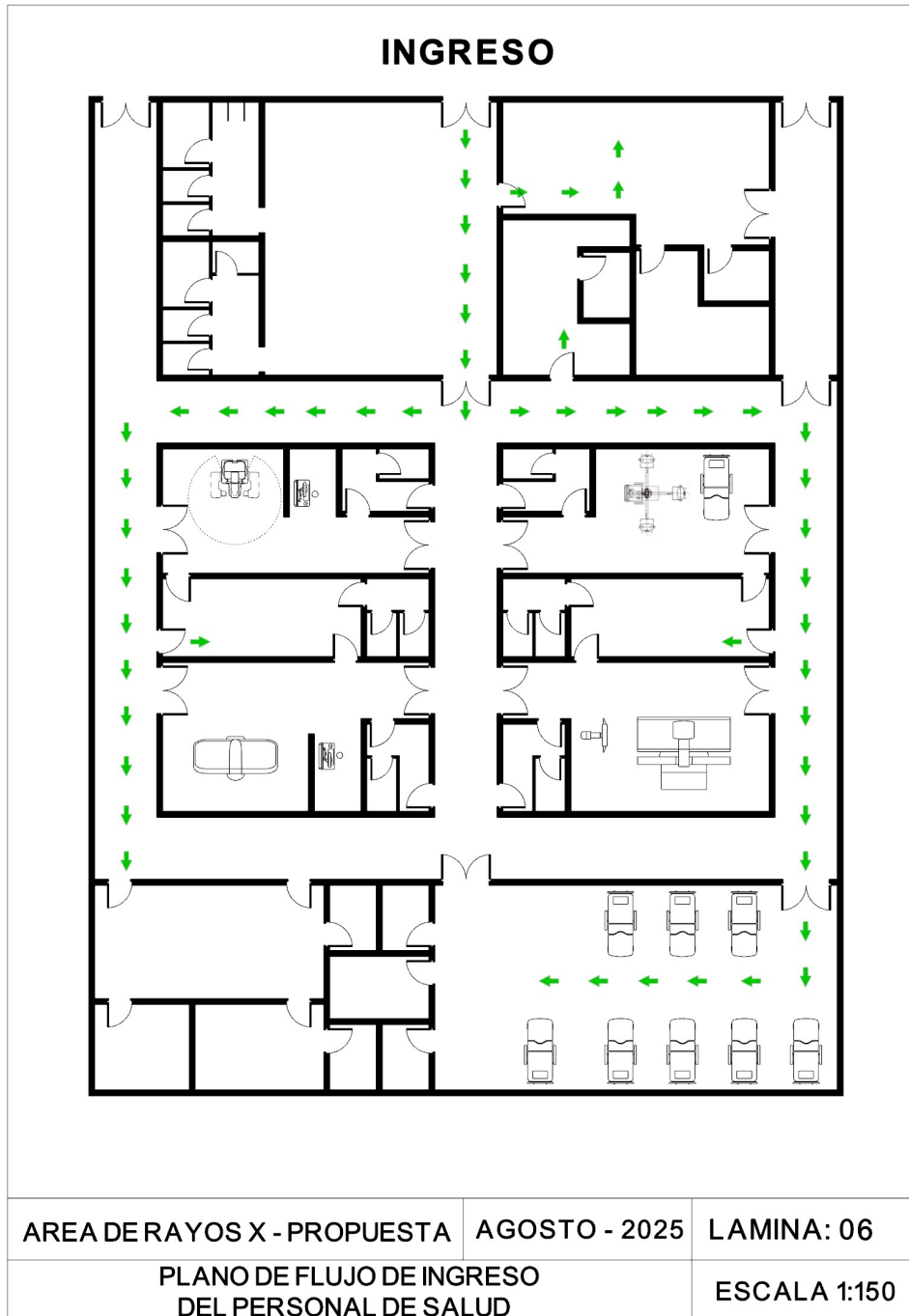


Figura 18. Plano de flujo de ingreso del personal de salud, autoría propia.

VII-D4. Diagrama de flujo de ingreso del personal de salud:

El flujo de ingreso del personal de salud, que se representa en la figura 19, se organiza de manera que garantice un acceso controlado, higiénico y seguro a las distintas áreas del servicio de diagnóstico por imágenes. El recorrido inicia en el punto de ingreso, continúa hacia los vestidores y servicios sanitarios para la preparación adecuada, y luego se integra a los pasillos de circulación interna. Desde ahí, el personal puede acceder a espacios estratégicos como triaje, consulta, áreas de mando y salas de diagnóstico (mamografía, densitometría, rayos X y fluoroscopia).

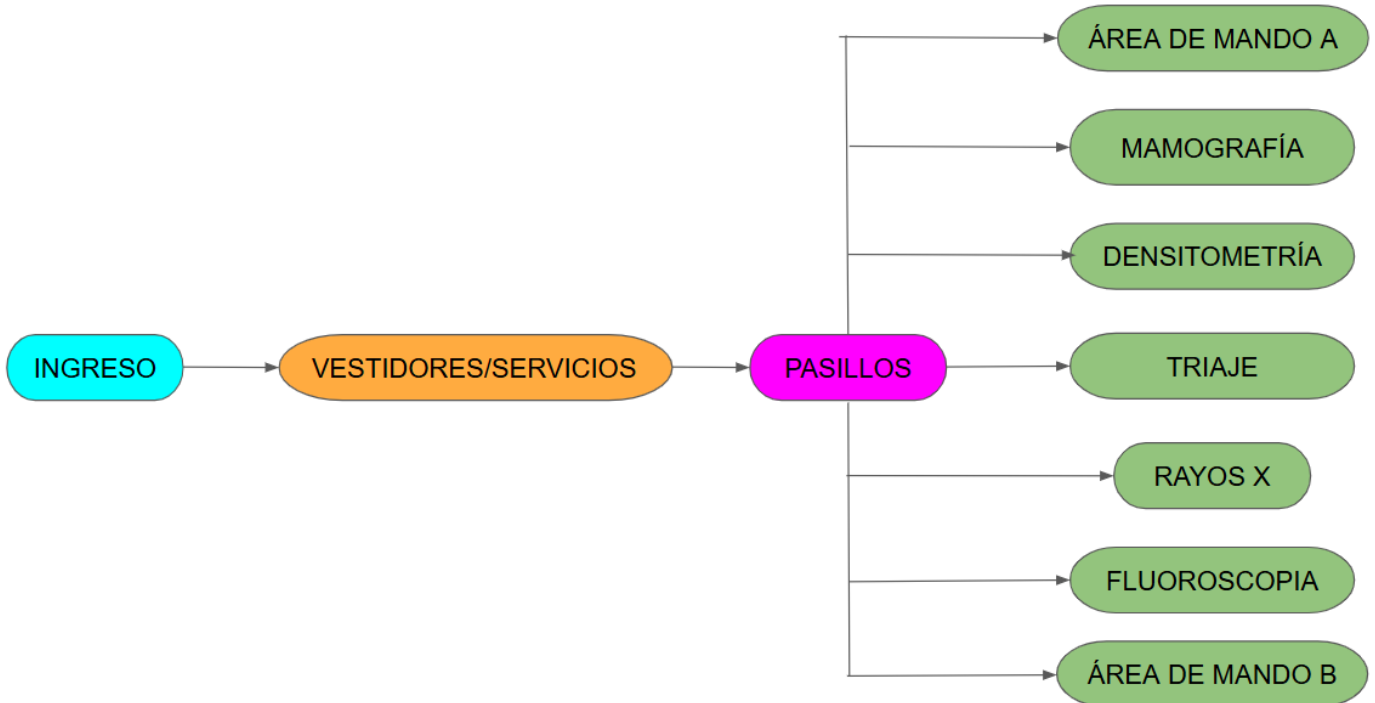


Figura 19. Diagrama de flujo del ingreso del personal de salud, autoría propia.

VII-E. Diseño 3D

La Figura 20 presenta una vista tridimensional en perspectiva oblicua del conjunto arquitectónico, donde se distinguen de manera clara los bloques de diagnóstico en la parte central, acompañados por las áreas de recepción, administración y observación prolongada en los extremos. Esta primera vista permite comprender la volumetría general del proyecto y apreciar la organización de los espacios en relación con los pasillos de circulación.



Figura 20. Vista Alzada Frontal, autoría propia.

En la Figura 21 se observa una vista complementaria desde otro ángulo, que resalta la continuidad de los pasillos y la conexión entre los distintos ambientes. Aquí se aprecian con mayor detalle los accesos a las salas de diagnóstico, así como la disposición de los servicios de apoyo, lo que facilita comprender la coherencia espacial del diseño.

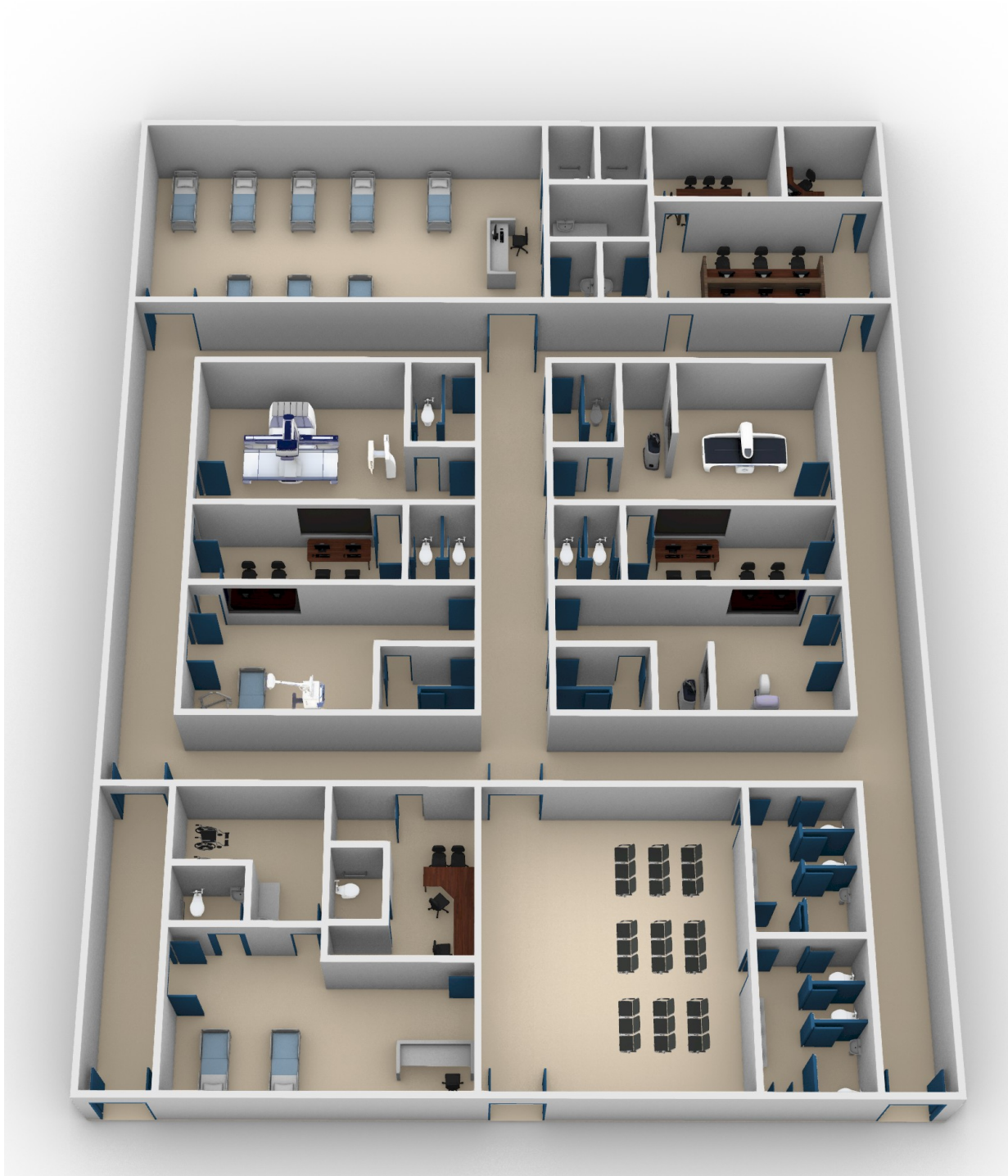


Figura 21. Vista Alzada Posterior, autoría propia.

La Figura 22 ofrece una perspectiva más abierta del modelo, en la que sobresale la ubicación del mobiliario dentro de cada sala. Esta vista destaca la relación entre los equipos médicos y las áreas auxiliares, como baños, vestuarios y cabinas de control, lo que refuerza la comprensión de cómo el diseño integra los requerimientos técnicos con las condiciones de comodidad y accesibilidad para pacientes y personal.

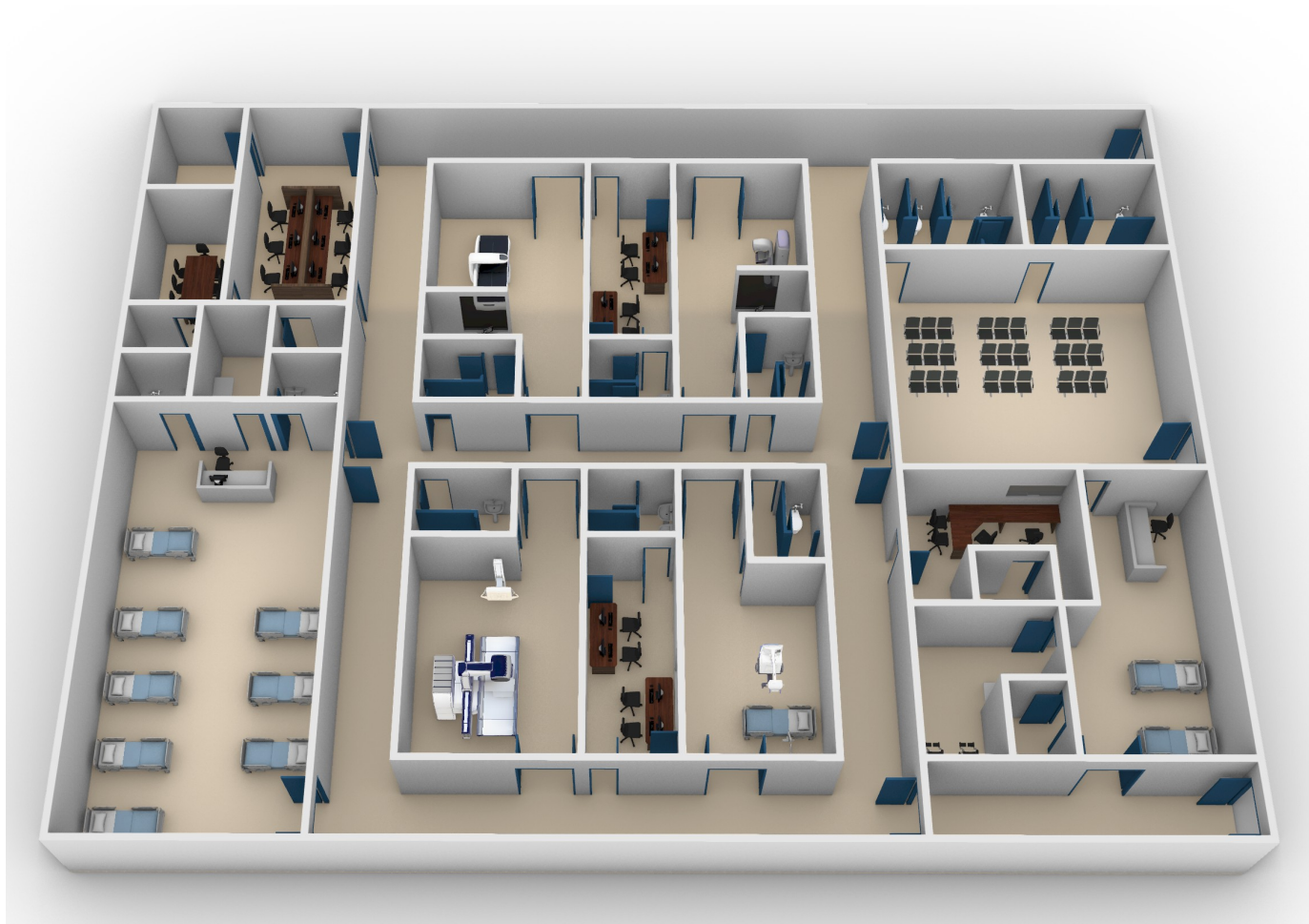


Figura 22. Vista Alzada Lateral derecho.

Finalmente, la Figura 23 muestra un ángulo alternativo que enfatiza la proporción de las áreas administrativas, la sala de reuniones y la zona de observación prolongada con sus camillas. Desde esta vista es posible visualizar la amplitud de los espacios colectivos y corroborar la funcionalidad de la distribución interna, evidenciando la coherencia entre la planificación bidimensional y su representación volumétrica.



Figura 23. Vista Alzada Lateral izquierda, autoría propia.

VIII. CRONOGRAMA

A continuación se muestra el cronograma de trabajo en la siguiente tabla 36.

Tabla 36
CRONOGRAMA

PROYECTO DE GRADO ALUMNOS	RONNY PAUL GUERRERO BASURTO, MOISES ANDRES ROMERO MORAN	TEMA	AMBITO DE APLICACION MESES							
			4	5	6	7	8			
PROYECTO DE GRADO ALUMNOS	ACTIVIDAD	RESPONSABLE								
	DEFINICION DEL TITULO DEL ANTEPROYECTO	GUERRERO-ROMERO								
	PROBLEMA DE INVESTIGACION Y DELIMITACION	GUERRERO-ROMERO								
	JUSTIFICACION	GUERRERO-ROMERO								
	OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS	GUERRERO-ROMERO								
	MARCO TEORICO	GUERRERO-ROMERO								
	METODOLOGIA	GUERRERO-ROMERO								
	PRESUPUESTO Y DE ACUERDO AL PROYECTO A IMPLEMENTAR	GUERRERO-ROMERO								
	DISEÑO ARQUITECTONICO	GUERRERO-ROMERO								
	REVISION TECNICA	GUERRERO-ROMERO								
DESARROLLO DE LA GUÍA DE DISEÑO BIM	AJUSTE DEL MODELADO	GUERRERO-ROMERO								
	VALIDACION Y REVISION FINAL DEL DOCUMENTO	GUERRERO-ROMERO								
	PRESENTACION DE MAQUETA	GUERRERO-ROMERO								
	SOCIALIZACION Y ENTREGA DEL PRODUCTO FINAL	GUERRERO-ROMERO								

IX. PRESUPUESTO

Tabla 37
PRESUPUESTO

Descripcion	Cantidad	Ingresos	Egresos
Recursos estimados	1	400\$	
Horas de trabajo	300 horas		100\$
Diseño arquitectonico BIM	1		30 \$
Papelería	1		60 \$
Modelado 3D BIM completo	1		25\$
Software y licencias	1		40 \$
Transporte	1		40 \$
Generacion y documentacion de planos	1		10 \$
Recursos computacionales	1		20\$
Consultoria basica	1		10 \$
Impresion de trabajo tesis	1		5 \$
TOTAL			340\$

X. CONCLUSIONES

La implementación de la metodología BIM en el diseño de áreas de Rayos X de segundo nivel evidenció su utilidad como herramienta para lograr una planificación integral y precisa. A través del modelado digital fue posible organizar de forma eficiente los espacios, mejorar la ubicación los biomédicos y optimizar el desempeño del flujo de trabajo, contribuyendo al cumplimiento de los lineamientos técnicos y a la seguridad radiológica.

El marco regulatorio empleado combinó referencias nacionales e internacionales específicas del ámbito radiológico. En el plano nacional, se consideraron: el Reglamento Sanitario de Radioprotección del Ecuador y las Normas Técnicas del MERNNR/SCAN para licenciamiento y prácticas con radiación ionizante; la Resolución MPCEIP-SC-2020-0177-R (RTE INEN 186 1R) para equipos y sistemas electromédicos; y lineamientos de INEN 2266 y ARCSA-GS-05-2017 sobre requisitos de instalación, barreras y habilitación sanitaria. Estos instrumentos orientaron la zonificación, la ubicación de barreras primarias/secundarias, la señalización y los procesos de inspección y mantenimiento.

En el plano internacional, la determinación de espesores de blindaje y parámetros de diseño se apoyó en NCRP Report No. 147 y en la guía IAEA SSG-46; la seguridad eléctrica y desempeño esencial de los equipos se enmarcó en IEC 60601-1/-1-3, complementada por IEC 60364-7-710 y NFPA 99; y el control de emisiones y límites de fuga consideró 21 CFR 1020 y la Directiva 2013/59/Euratom. Para la gestión de información del proyecto, se empleó la serie ISO 19650, asegurando consistencia documental en entorno BIM.

El desarrollo del modelo tridimensional en Rhino 7, permitió representar con claridad las áreas principales (densitometría, mamografía, fluoroscopia y rayos X), validando los cálculos de blindaje y la disposición del equipamiento. La elaboración de la maqueta digital reforzó la verificación del diseño y facilitó la comprensión de la propuesta final.

XI. RECOMENDACIONES

Se recomienda la utilización de simuladores especializados para la estimación del blindaje en áreas de rayos X. Estas herramientas, generalmente proporcionadas por fabricantes de materiales y equipos de protección radiológica, permiten realizar cálculos ajustados a las propiedades físicas de cada producto (vidrio plomado, placas de plomo, concreto reforzado, entre otros).

Es recomendable continuar utilizando BIM en todas las etapas de planificación, modelado y ejecución de proyectos hospitalarios, ya que permite optimizar el espacio, garantizar el cumplimiento de normativas de bioseguridad y mejorar la coordinación entre disciplinas.

Se sugiere mantener como eje fundamental el cumplimiento de las normas internacionales y nacionales aplicables a áreas de radiodiagnóstico, como la NCRP 147 y la normativa del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, asegurando que el blindaje, la distribución espacial y los equipos instalados se ajusten a los estándares de seguridad radiológica.

Se recomienda que el personal técnico y administrativo reciba formación continua sobre el uso de la infraestructura y las medidas de seguridad radiológica, para garantizar el correcto funcionamiento del área y la protección de pacientes y trabajadores.

REFERENCIAS

- [1] J. Y. López-Zambrano, J. M. Vélez-Zambrano, G. C. Quimis-Coronel y K. A. Calderón-Pico, «Uso y abuso de los estudios radiológicos en hospitales ecuatorianos,» *Dominio de las Ciencias*, vol. 7, n.º 2, págs. 1284-1303, 2021, Accedido el 21 de mayo de 2025. DOI: 10.23857/DC.V7I2.1871. dirección: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8231808.pdf>.
- [2] Consejo Supremo de Gobierno del Ecuador, *Reglamento de Seguridad Radiológica*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 1979. dirección: <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/REGLAMENTO%20DE%20SEGURIDAD%20RADIOLOGICA.pdf>.
- [3] Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, *Norma Técnica para las Actividades de Licenciamiento y Operación en Radiología Intervencionista, Radiodiagnóstico Médico, Odontológico y Veterinario*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 2022. dirección: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2022-02/norma_t%C3%89cnica_final_scan_rev_uscem_feb-2022_final.pdf.
- [4] Sydle, *Metodología BIM: qué es y cómo se aplica*, 2025. dirección: <https://www.sydle.com/es/blog/metodologia-bim-662c0d61ab639649349c265f>.
- [5] F. d. Casa Martín, E. Echeverría Valiente, F. Celis D'Amico y M. Martínez Martínez, «BIM como herramienta de gestión integral en la explotación hospitalaria. Posibilidades y limitaciones,» en *Habitar los hospitales: el bienestar más allá del confort. Nuevas tendencias en arquitectura sanitaria*, P. Chías Navarro y T. Abad Balboa, eds., Accedido el 21 de mayo de 2025, Editorial Universidad de Alcalá, 2021, págs. 288-303, ISBN: 978-84-18254-30-7. dirección: <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/61092>.
- [6] Bethany, *How CAD Has Evolved Since 1982 — Past, Present & Future*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 2024. dirección: <https://www.scan2cad.com/blog/cad/cad-evolved-since-1982/>.
- [7] R. Salazar, *La evolución del CAD: un viaje fascinante de lo analógico a lo digital*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 2023. dirección: <https://es.linkedin.com/pulse/la-evoluci%C3%B3n-del-cad-un-viaje-fascinante-de-lo-digital-rigo-salazar-xmmje>.
- [8] Estrategia Nacional BIM España, *Guía de Implantación BIM: Usos, fases y dimensiones*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2020. dirección: <https://www.esbim.es/>.
- [9] Robert McNeel & Associates, *Rhino — Features*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2025. dirección: <https://www.rhino3d.com/features/>.
- [10] McNeel, *Grasshopper 3D — Visual Programming for Rhino*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2025. dirección: <https://www.grasshopper3d.com/>.
- [11] Robert McNeel & Associates, *Rhino 8 System Requirements*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2024. dirección: <https://www.rhino3d.com/download/rhino-for-windows/8/system-requirements/>.
- [12] D. I. Lupercio Campoverde y S. A. Castro Castro, *Diseño de la metodología BIM, Building Information Modeling del edificio familiar Castillo Calvo, Cantón de Macará, Provincia de Loja*, Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana. Accedido el 21 de mayo de 2025, 2024. dirección: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27663>.
- [13] Bimpsas, *BIM a nivel nacional e internacional*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 2023. dirección: <https://www.bimpsas.com/bim-a-nivel-nacional-e-internacional/>.
- [14] P. Henriquez y C. Suaznábar, *BIM, las tres letras de la construcción inteligente*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 2018. dirección: <https://blogs.iadb.org/innovacion/es/bim-transformacion-digital-en-la-construccion/>.
- [15] Autodesk, *Recommended Hardware for BIM Workflows*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2023. dirección: <https://www.autodesk.com/bim/hardware-requirements>.
- [16] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks y K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*. Wiley, 2018.
- [17] A. Mohammed y R. Khan, «Structural Engineering Applications of BIM Tools,» *Journal of Construction Engineering*, vol. 12, n.º 3, págs. 45-56, 2020.
- [18] B. Succar, «BIM Framework: A structured approach to BIM implementation,» *Automation in Construction*, vol. 80, págs. 112-126, 2017.

- [19] BuildingSmart International, *BIM Dimensions: 7D Facility Management*, Accedido el 17 de agosto de 2025, 2020. dirección: <https://www.buildingsmart.org>.
- [20] S. Azhar, «Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry,» *Leadership and Management in Engineering*, vol. 11, n.º 3, págs. 241-252, 2011.
- [21] buildingSMART International, *BIM Tools and Applications by Discipline*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2022. dirección: <https://www.buildingsmart.org/>.
- [22] S. Serrate Trigo, *BIM en Arquitectura Hospitalaria: Transformando el Diseño y la Construcción de Espacios de Salud*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 2024. dirección: <https://es.linkedin.com/pulse/bim-en-arquitectura-hospitalaria-transformando-el-dise%C3%B1o-desingmed-r8ree>.
- [23] M. B. Barison y E. T. Santos, «BIM teaching strategies: An overview of the current approaches,» en *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, 2010.
- [24] M. Najeeb y H. Ali, «Integration of BIM for radiation shielding design in healthcare facilities,» *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2021, págs. 1-11, 2021.
- [25] M. Karaca y A. Yilmaz, «BIM-based hospital design: Improving circulation and infection control,» *Health-care Architecture Journal*, vol. 18, n.º 3, págs. 87-99, 2020.
- [26] M. E. Sánchez, R. A. Moreno e Y. C. Rodríguez, *Bioseguridad en los servicios de salud: Guía para la prevención de riesgos laborales y sanitarios*. Redipe Editorial, 2020, Consultado el 19 de mayo de 2025. dirección: <https://editorial.redipe.org/index.php/1/catalog/download/69/128/1594?inline=1>.
- [27] E. Montes. «¿Cómo funciona la interoperabilidad en el modelo BIM?» Consultado el 19 de mayo de 2025, Echeverri Montes - Ingeniería, Arquitectura y Consultoría. (2023), dirección: <https://www.echeverrimontes.com/blog/como-funciona-interoperabilidad-modelo-bim>.
- [28] BIMPSAS. «Detección de interferencias en informes BIM.» Consultado el 19 de mayo de 2025, BIMPSAS. (2023), dirección: <https://www.bimpsas.com/deteccion-de-interferencias-en-informes-bim/>.
- [29] DesingMed. «BIM para la simulación de flujo de pacientes y gestión hospitalaria.» Consultado el 19 de mayo de 2025, LinkedIn. (2023), dirección: <https://es.linkedin.com/pulse/bim-para-la-simulaci%C3%B3n-de-flujo-pacientes-y-gesti%C3%B3n-desingmed-ux7pe>.
- [30] Konstruedu. «Presupuestos con BIM: definición, beneficios y herramientas.» Consultado el 19 de mayo de 2025, Konstruedu. (2023), dirección: <https://konstruedu.com/es/blog/presupuestos-con-bim-definicion-beneficios-y-herramientas>.
- [31] National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering, «Rayos X,» *U.S. Department of Health and Human Services*, 2023, Disponible en: <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/rayos-x>.
- [32] U.S. Environmental Protection Agency, *Efectos de la radiación sobre la salud*, 2024. dirección: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-de-la-radiacion-sobre-la-salud>.
- [33] Khan Academy, *Luz y el espectro electromagnético*, 2024. dirección: <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>.
- [34] Physiopedia, *X-Rays*, 2025. dirección: <https://www.physio-pedia.com/X-Rays>.
- [35] RadiologyInfo.org, *Seguridad del paciente - Materiales de Contraste*, 2024. dirección: <https://www.radiologyinfo.org/es/info/safety-contrast>.
- [36] RadiologyInfo.org, *Mamografía (Mamograma)*, 2025. dirección: <https://www.radiologyinfo.org/es/info/mammo>.
- [37] Malvern Panalytical, *Fluorescencia de rayos X (XRF)*, 2025. dirección: <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/technology/xray-analysis/x-ray-fluorescence>.
- [38] RadiologyInfo.org, *Radioterapia*, 2024. dirección: https://www.radiologyinfo.org/es/info/intro_onco.
- [39] Nick Connor, *¿Qué son los rayos X? Radiación Roentgen: definición*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2020. dirección: <https://www.radiation-dosimetry.org/es/que-son-los-rayos-x-radiacion-roentgen-definicion/>.
- [40] Radiología Estomatológica (blog), *Tubo de Rayos X*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2017. dirección: <https://radiologiaestomatologica.blogspot.com/2017/08/tubo-de-rayos-x.html>.
- [41] M. Alcaraz Baños, *Tubos de rayos-X: Curso de Dosimetría*, Figura esquemática en español del tubo de rayos X clásico, publicado por la Universidad Nacional de Córdoba, 2002.

- [42] Ingeniería Real. «Plomo en salas de Rayos X: Blindaje y Recomendaciones.» Accedido el 18 de agosto de 2025. (2023), dirección: <https://ingenieriareal.com/plomo-sala-rayos-x/>.
- [43] En Mi Radiología (blog), *Factores de exposición y técnicas radiográficas*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2016. dirección: <https://enmiradiologia.blogspot.com/2016/12/factores-de-exposicion-y-tecnicas.html>.
- [44] University of Glasgow, *Radiation Biology Overview*, Accedido el 14 de agosto de 2025, 2022. dirección: <https://www.gla.ac.uk/research/radiation-biology>.
- [45] Stanford Environmental Health and Safety, *Radiation Safety Standards*, Accedido el 14 de agosto de 2025, 2023. dirección: <https://ehs.stanford.edu/radiation-safety>.
- [46] Salud Ocupacional, *Efectos de la radiación ionizante*, Accedido el 14 de agosto de 2025, 2023. dirección: <https://www.saludocupacional.org/efectos-radiacion>.
- [47] Radiology Key, *Cellular and Tissue Radiosensitivity*, Accedido el 14 de agosto de 2025, 2021. dirección: <https://radiologykey.com/radiosensitivity>.
- [48] Ervin B. Podgorsak, *Radiation Physics for Medical Physicists*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2016. dirección: https://doi.org/10.1007/978-3-319-24043-2_6.
- [49] J. A. Seibert, *Physics of Radiography: The Compton Effect*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2021. dirección: <https://radiopaedia.org/articles/compton-scatter?lang=us>.
- [50] Glenn F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2010. dirección: <https://doi.org/10.1002/9783527616985>.
- [51] McNeel & Associates, *Introduction to the Electromagnetic Spectrum in Imaging Applications*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2025. dirección: <https://www.rhino3d.com>.
- [52] l. e. l. Wikipedia, *Espectro electromagnético*, https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagnético, Accedido en agosto de 2025, 2025.
- [53] Encyclopædia Britannica, *Electromagnetic Spectrum*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2025. dirección: <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-spectrum>.
- [54] LibreTexts Physics, *The Electromagnetic Spectrum*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2025. dirección: [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Physics_\(Boundless\)/23%3A_Electromagnetic_Waves/23.1%3A_The_Electromagnetic_Spectrum](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Physics_(Boundless)/23%3A_Electromagnetic_Waves/23.1%3A_The_Electromagnetic_Spectrum).
- [55] NASA, *Electromagnetic Spectrum*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2023. dirección: <https://science.nasa.gov/ems>.
- [56] RadiologyInfo.org, *Seguridad en exámenes de rayos X*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2025. dirección: <https://www.radiologyinfo.org/es/info/safety-xray>.
- [57] Jerrold T. Bushberg et al., *The Essential Physics of Medical Imaging*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2021. dirección: <https://doi.org/10.1097/9781975110215>.
- [58] Organización Mundial de la Salud, *Efectos en la salud de las radiaciones ionizantes*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 2023. dirección: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-and-health-effects>.
- [59] Consejo Supremo de Gobierno del Ecuador, *Reglamento de Seguridad Radiológica*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 1979. dirección: <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/REGLAMENTO%20DE%20SEGURIDAD%20RADIOLOGICA.pdf>.
- [60] Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, *Resolución Nro. MPCEIP-SC-2020-0177-R: Apruébese y oficialícese con el carácter de obligatorio la Modificatoria 1 del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 186 (1R) Equipos y sistemas electromédicos*, Publicado en el Registro Oficial N.º 241, el 8 de julio de 2020. Accedido el 21 de mayo de 2025, 2020. dirección: <https://vlex.ec/vid/mpceip-sc-2020-0177-846110641>.
- [61] International Atomic Energy Agency, *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (GSR Part 3)*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2014. dirección: <https://www.iaea.org/publications/8930/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards>.
- [62] *Normativas de construcción de áreas de Rayos X*, Elaboración propia con base en normativas nacionales e internacionales, 2025.

- [63] British Standards Institution, *ISO 19650 BIM Building Information Modelling*, 2025. dirección: <https://www.bsigroup.com/es-ES/iso-19650/>.
- [64] VDE Association for Electrical, Electronic Information Technologies, *Electrical safety in active medical devices: The IEC 60601-1 standard*, 2023. dirección: <https://www.vde.com/topics-en/health/consulting/electrical-safety-in-active-medical-devices--the-iec-60601-1-standard>.
- [65] AUCOTEC AG, *IEC 81346 - Proyectos internacionales con Engineering Base*, 2025. dirección: <https://www1.aucotec.com/es/soluciones-para-instalaciones/planificacion-electrica/iec-81346-proyectos-internacionales-con-engineering-base/>.
- [66] J. Sánchez y M. Pérez, «La evolución del CAD: un viaje fascinante de lo digital a lo analógico,» *Revista Tecnológica - ESPOL*, vol. 33, n.º 2, págs. 45-58, 2020, Accedido el 21 de mayo de 2025. dirección: <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/98>.
- [67] IBM, *Datos estándar de COBie*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 2025. dirección: <https://www.ibm.com/docs/es/maximo-eam-saas?topic=bim-cobie-standard-data>.
- [68] G. P. Hanson y P. E. Palmer, *Blindaje contra radiaciones para clínicas y hospitales pequeños con un WHIS-RAD*, Publicado por la Organización Panamericana de la Salud y el Distrito Rotario 6440. Accedido el 21 de mayo de 2025, 2013. dirección: <https://www3.paho.org/hq/dmdocuments/2013/HSS-Blindaje-hospitales-pequenos2013.pdf>.
- [69] Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, *Norma Técnica para las Actividades de Licenciamiento y Operación en Radiología Intervencionista, Radiodiagnóstico Médico, Odontológico y Veterinario*, Publicado en febrero de 2022. Accedido el 21 de mayo de 2025, 2022. dirección: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2022-02/norma_t%C3%89cnica_final_scan_rev_uscem_feb-2022_final.pdf.
- [70] Ministerio de Energía y Minas, *Emisión de Licencia Institucional para Equipos Generadores de Radiación Ionizante para Uso Médico*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 2025. dirección: <https://www.gob.ec/mem/tramites/emision-licencia-institucional-equipos-generadores-radiacion-ionizante-uso-medico>.
- [71] Organización Panamericana de la Salud, *Manual de diseño de instalaciones de radiodiagnóstico médico (WHIS-RAD)*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2001. dirección: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/7650>.
- [72] Raybloc Ltd., *An Architect's Guide to X-ray Room Requirements*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 2022. dirección: <https://raybloc.co.uk/an-architects-guide-to-x-ray-room-requirements/>.
- [73] Consejo de Seguridad Nuclear, *Protección radiológica*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 2025. dirección: <https://www.csn.es/proteccion-radiologica>.
- [74] V. N. Yanchapanta Bastidas, M. E. Ganán Andino, J. M. Olalla Pilco, R. M. Ormaza Hugo, N. A. González López y R. W. Pachacama Choca, «Diseño y cálculo de blindaje para zonas de alto, medio y bajo riesgo radiológico de la unidad de medicina nuclear con SPECT-CT,» *Ciencia Digital*, vol. 3, n.º 2, págs. 206-218, 2019, Accedido el 21 de mayo de 2025. DOI: 10.33262/cienciadigital.v3i2.6.559. dirección: <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/559>.
- [75] NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements), *Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities, NCRP Report No. 147*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2004. dirección: <https://ncrponline.org/publications/reports/ncrp-report-147/>.
- [76] ICRP, *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP Publication 103 2-4)*. Elsevier, 2007, vol. 37, Annals of the ICRP. DOI: 10.1016/j.icrp.2007.10.003.
- [77] NeoConstru, *Vidrio plomado para rayos X*, Accedido el 18 de agosto de 2025, 2023. dirección: <https://neoconstru.com/vidrio-plomado-para-rayos-x/>.
- [78] SOLACI, *Recomendaciones de protección radiológica ocupacional*, Accedido el 18 de agosto de 2025, 2018. dirección: <https://solaci.org/wp-content/uploads/es/pdfs/Recomendaciones-proteccion-radiologica-ocupacional.pdf>.
- [79] E. Hospitalario, *Vidrio plomado y gafas de protección para rayos X*, Accedido el 18 de agosto de 2025, 2022. dirección: <https://equipamientohospitalario.pro/vidrio-plomado-para-rayos-x/>.
- [80] . en Concreto, *Blindaje contra radiación con concreto de alta densidad*, Accedido el 18 de agosto de 2025, 2021. dirección: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/blindaje-la-radiacion-concreto-alta-densidad/>.

- [81] M. L. Ecuador, *Planchas de plomo para rayos X*, Accedido el 18 de agosto de 2025, 2025. dirección: <https://listado.mercadolibre.com.ec/plancha-de-plomo-para-rayos-x-en-quito>.
- [82] N. d. a. o. i. Apellido, *Protección Radiológica y Blindaje en Áreas de Diagnóstico*. Editorial/Institución, 2023, Tabla X: Comparación de materiales de blindaje y costos estimados. dirección: [link_al_documento_si_existe](#).
- [83] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. «Normas básicas de seguridad GSR Parte 3.» Consultado el 19 de mayo de 2025, Gobierno del Ecuador. (2018), dirección: <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Normas%20b%20C3%A1sicas%20de%20seguridad%20GSR%20parte%203.pdf>.
- [84] J. M. González-Andrade y M. J. López-Mesa, «Red de salud pública: distribución y estructura de unidades de salud en Cuenca, Ecuador,» *Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología*, vol. 7, n.º 3, págs. 334-358, 2021, Accedido el 15 de agosto de 2025. DOI: 10.35381/cm.v7i3.583.
- [85] Ministerio de Salud Pública del Ecuador, *Red de servicios de imagenología y radiodiagnóstico en hospitales de Ecuador*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2023. dirección: <https://www.salud.gob.ec/>.
- [86] The Editors of Encyclopaedia Britannica, *Optical densitometer*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2025. dirección: <https://www.britannica.com/technology/densitometer>.
- [87] Rayos X, *STRATOS DR — Manual/Especificaciones*, Accedido el 18 de agosto de 2025, 2025. dirección: <https://www.raigsx.com/docs/StratosDR.pdf>.
- [88] National Institute of Arthritis and Musculoskeletal and Skin Diseases, *Pruebas de densidad ósea*, Accedido el 10 de agosto de 2025, 2025. dirección: <https://www.niams.nih.gov/es/informacion-de-salud/pruebas-de-densidad-osea>.
- [89] International Society for Clinical Densitometry (ISCD), *Official Positions on Patient Preparation for Bone Densitometry*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2019. dirección: <https://iscd.org/learn/official-positions/>.
- [90] GE HealthCare, *Precision™ CRF Radiography and Fluoroscopy System*, Accedido el 18 de agosto de 2025, 2025. dirección: <https://www.gehealthcare.com/products/fluoroscopy-systems/precision-crf>.
- [91] M. Spahn, M. Strotzer, M. Völk et al., «Digital Radiography with a Large-Area, Amorphous-Silicon, Flat-Panel X-Ray Detector System,» *Investigative Radiology*, vol. 35, n.º 4, págs. 260-266, 2000, Detalla tecnología de detector a-Si y CsI de 43 × 43 cm con alta eficiencia y baja dosis. DOI: 10.1097/00004424-200004000-00007.
- [92] GE Healthcare, *Discovery RF-180 Datasheet*, Accedido el 18 de agosto de 2025, 2019. dirección: https://promed-sa.com/wp-content/uploads/2020/08/RF_DiscoveryRF180_Datasheet_ENG_v2019.pdf.
- [93] International Atomic Energy Agency, *Radiological Protection in Fluoroscopy: Patient Preparation and Safety Considerations*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2019. dirección: <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/fluoroscopy>.
- [94] L. Nicosia y ..., «History of Mammography: Analysis of Breast Imaging ...,» *Healthcare*, vol. 11, n.º 11, pág. 1596, 2023, Accedido el 18 de agosto de 2025. DOI: 10.3390/healthcare11111596.
- [95] ICRP, *Protection of the Patient in Diagnostic Radiology* (ICRP Publication 34). Pergamon Press, 1982, Annals of the ICRP. DOI: 10.1016/0146-6453(82)90001-6.
- [96] Angell Medical, *Mamógrafo Digital ANGELL DM-156*, Accedido el 18 de agosto de 2025, 2025. dirección: <https://bioequipos.com.co/wp-content/uploads/2025/02/MAMOGRAFO-DIGITAL-ANGELL-DM-156.pdf>.
- [97] American Cancer Society, *Mammogram Preparation and What to Expect*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2024. dirección: <https://www.cancer.org/cancer/breast-cancer/screening-tests-and-early-detection/mammograms.html>.
- [98] World Health Organization, *Radiation Protection in Dental Radiology: Practical Radiation Technical Manual*. World Health Organization, 2009. dirección: <https://www.who.int/publications/i/item/radiation-protection-in-dental-radiology>.
- [99] E. L. Parks y J. Iannucci, *Dental Radiography: Principles and Techniques*, 5th. Elsevier Health Sciences, 2019, ISBN: 9780323442077.
- [100] A. G. Farman, *Imaging in Dental Radiology: Principles and Applications*. Springer, 2009, ISBN: 9783540688651.

- [101] Runyes / Toshiba, *Manual de Rayos X Runyes Toshiba*, Accedido el 18 de agosto de 2025, 2020. dirección: <https://www.tudepositodental.com/fichas-pdf/MANUAL-RAYOS-X-RUNYES-TOSHIBA.pdf>.
- [102] World Health Organization, *Radiological Protection in Dentistry: Guidelines on Dental Radiography*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2018. dirección: <https://www.who.int/publications/i/item/radiological-protection-in-dentistry>.
- [103] Technix S.p.A., *Mobile X-ray Systems: Portability and Diagnostic Flexibility*, Accedido el 17 de agosto de 2025, 2021. dirección: <https://www.technix.it/products/mobile-x-ray-systems>.
- [104] J. T. Bushberg, J. A. Seibert, E. M. Leidholdt y J. M. Boone, *The Essential Physics of Medical Imaging*, 3rd. Lippincott Williams & Wilkins, 2012, Accedido el 17 de agosto de 2025, ISBN: 978-1451118100.
- [105] Scribd, *TMS-20320-213149-01*, Accedido el 18 de agosto de 2025, 2025. dirección: <https://es.scribd.com/document/760271757/TMS-20320-213149-01>.
- [106] International Atomic Energy Agency, *Radiography in Portable and Bedside Examinations: Patient Preparation and Safety*, Accedido el 15 de agosto de 2025, 2018. dirección: <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/radiology>.
- [107] Promedco. «Protección personal para radiación.» Consultado el 19 de mayo de 2025, Promedco. (2023), dirección: <https://www.promedco.com/noticias/proteccion-personal-para-radiacion>.
- [108] Schneider Electric, *Electrical regulations and standards*, Accedido el 21 de mayo de 2025, 2024. dirección: https://www.electrical-installation.org/enwiki/Electrical_regulations_and_standards.
- [109] J. J. González González, C. F. Calderón Marín, W. Quesada Cepero et al., «Design of PET/CT center at Institute of Oncology and Radiobiology,» *Nucleus (Havana)*, n.º 57, págs. 50-56, 2015, Accedido el 18 de agosto de 2025. dirección: <https://www.scielo.sld.cu/pdf/nuc/n57/nuc105715.pdf>.
- [110] D. X. Romero Santistevan y U. G. Pañora Reyna, «Elaboración de una guía de diseño y operación de UCI y cuidados intermedios modular para SARS/COVID-19 aplicado a un Hospital nivel II siguiendo normas y regulaciones vigentes,» Trabajo de Titulación de Maestría en Ingeniería Biomédica, Tesis de mtría., Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2021.
- [111] Ministerio de Sanidad, *Requisitos de instalación para salas con equipos de rayos X*, Basado en RD 783/2001 y RD 1085/2009, 2009. dirección: <https://www.boe.es>.



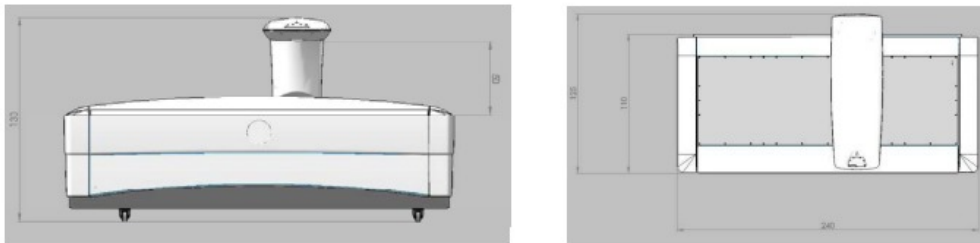
Figura 24. Ficha técnica densitómetro (Stratos Dr) [87].

TECHNICAL DATA - 2D-FAN BEAM WHOLE DENSITOMETER

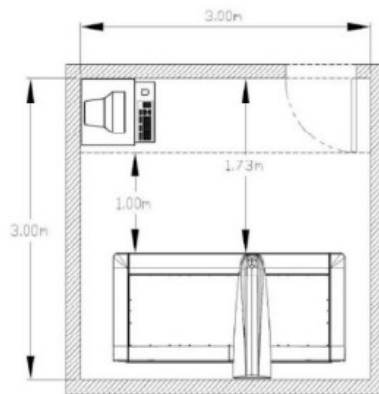
PHYSICAL DESCRIPTION

DIMENSION & WEIGHT (L:LENGTH, W:WIDTH, H:HEIGHT)	
Dimensions	L 240 x W 125 x H 130 cm (L 94" x W 49" x H 51")
Examination table	L 240 x W 110 cm (L 94" x W 43")
Mattress	L 208 x W 72.5 cm (L 82" x W 28")
Patient table lowest height	60 cm (24")
Weight	280 kg (617 lbs)
Packing dimensions	L 257 x W 132 x H 114 cm (L 101" x W 52" x H 45")
Packing Gross Weight	550 kg (1212 lbs)

PHYSICAL CHARACTERISTICS



ROOM LAYOUT



DMS - APELEM
TDA_STRATOS_DR_01

PAGE 9 OF 9

Figura 25. Ficha técnica densitómetro (Stratos Dr) [87].

TECHNICAL DATA - 2D-FAN BEAM WHOLE DENSITOMETER

SCANNER	
Scanning Method	Rectilinear scan
Maximum scan area	200 cm x 65 cm
Scanning Type	Motorized arm with X & Y kinematics (Longitudinal & Transverse Scan)
Table Type	Fixed for all exams including the "Whole Body Mode"
ACQUISITION METHOD	
Method	Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA)
Type	2D Fan Beam Technology
Fan Angle	5°
ACQUISITION WINDOWS	
Scan Window Size	Adjustable to patient's morphology
Multisite (L x W)	Customizable scan area
Whole Body (L x W)	200 cm x 65 cm maximum
Isotropic image without magnification	
COMPATIBLE WITH 3D-DXA BOX	
Site	Hip
3D Modelisation	Cortical Thickness, Volumetric BMD



DMS - APELEM
TDA_STRATOS_DR_01

PAGE 3 OF 9

Figura 26. Ficha técnica densitómetro (Stratos Dr) [87].

TECHNICAL DATA - 2D-FAN BEAM WHOLE DENSITOMETER

ACQUISITION CHAIN PARAMETERS

Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA)
2D Fan Beam with X and Y kinematics

GENERATOR	
X-ray Continuous Generator	High Frequency Monoblock
Manufacturer	IMD Generators
Cooling system	Immersion in oil + cooling fans
Maximum/Nominal High Voltage	110kV/90kV
Maximum/Nominal Tube Current	2.4mA/2mA

X-RAY TUBE	
Type	Tungsten Fixed Anode
Localization	Under the patient
Anode angle	12°
Anode-Cathode direction	Horizontal
X-ray Beam	Fan Beam
Focal Point Dimensions	0.6 mm x 0.6 mm
X-ray Spectrum peaks	43 keV & 70 keV (Filtering: Samarium 200µm + Aluminium 2mm)
Anode Capacity	40 kJ (54kHU)
Housing Tube Thermal Capacity	500 kJ (675kHU)

SOURCE COLLIMATOR	
Material	Lead
Size	18 mm x 2.5 mm
Collimator-patient distance	77 mm
Tube-Patient distance	270 mm
Shutter	4 mm Lead

DETECTOR COLLIMATOR	
Material	Brass
Height	30 mm
Size	72 mm x 8 mm

DETECTOR	
Quantity	Multi Element - 2D array, 256 Pixels (4 x 64)
Type of Detection	Direct Detection
Material	Solid State CdTe (Cadmium Telluride 1 mm)
Specification	Photon Counting (Energy Sensitive)
Detector Pixel Pich (Resolution)	1.1 mm x 1.6 mm
Localization	Above the patient

Figura 27. Ficha técnica densitómetro (Stratos Dr) [87].

TMS 320 R

32 kW Radiographic Mobile with rotating column



X-RAY GENERATOR

Microprocessor managed control panel
User-friendly touch screen interface
High frequency generator (40 kHz)
32 kW max. power
Monobloc thermal capacity: 600 kJ (800 kHU)
Ripple < 2%

Operating modes:

2 points technique (kV / mAs settings):
kV range: 40 ÷ 125 kV (1 kV steps)
mA range: 50 – 400 according to kV selection
mAs range: 0.1 – 220 (12.5% steps)
Exposure time range (according to mAs selection): 0.001 – 2.2 s

Exposure controls:

Double step X-ray handswitch with extensible cable
Remote control (optional)

Service program

Dedicated application for technical assistance:

- equipment parameters configuration
- alarms and errors management
- x-ray tube seasoning and calibration
- DAP calibration
- History of the last 200 exposures

X-RAY TUBE

Rotating anode 3000 rpm
Double focal spot 0.8 and 1.3 mm
Nominal focus power: 16 kW small focus; 32 kW large focus
Anodic diameter: 64 mm
Anodic angle: 15°
Anode material: RTM
Max. continuous anode dissipation: 300 W
Thermal capacity: 80 kJ (107 kHU)

COLLIMATOR

Manual collimator with internal light source, multilayer, square field
High brightness power led cluster
30 s light timer
Extractable meter for SID measure
Collimator rotation: $\pm 120^\circ$
Additional filtration through manual selection (1 mm Al + 0.1 mm Cu; 1 mm Al + 0.2 mm Cu; 2 mm Al)

OPTIONS

DAP chamber dosimeter
DAP printer
Remote control
Collimator with double laser line for 1m SID definition

MECHANICAL DATA

Wheels diameter: 100 mm front; 300 mm rear *
Max. length in transport position: 1489 mm *
Max. height in transport position: 1504 mm *
Max. width in transport position: 700 mm *
Handle height: 932 mm *
Focus-floor distance: 444 – 2153 mm *

Monobloc rotation around the arm axis (X axis: $\pm 180^\circ$) *
Monobloc rotation around its axis (Z axis: $-49^\circ + 102^\circ$) *
Arm rotation around its axis (B axis: $\pm 90^\circ$) *

Manual equipment movement with dead man parking brake
Handle and pedal for the obstacles overcoming

Holder for five cassettes 35x43 cm format
Weight: 240 Kg

* See picture next page

VARIOUS

Potter Bucky interface

POWER SUPPLY

115 / 230 Vac $\pm 10\%$, 50/60 Hz
Max. line resistance < 1 Ω
Connection to standard mains outlet 16 A

CLASSIFICATION

Class I, applied parts type B (IEC 60601-1 3rd edition)

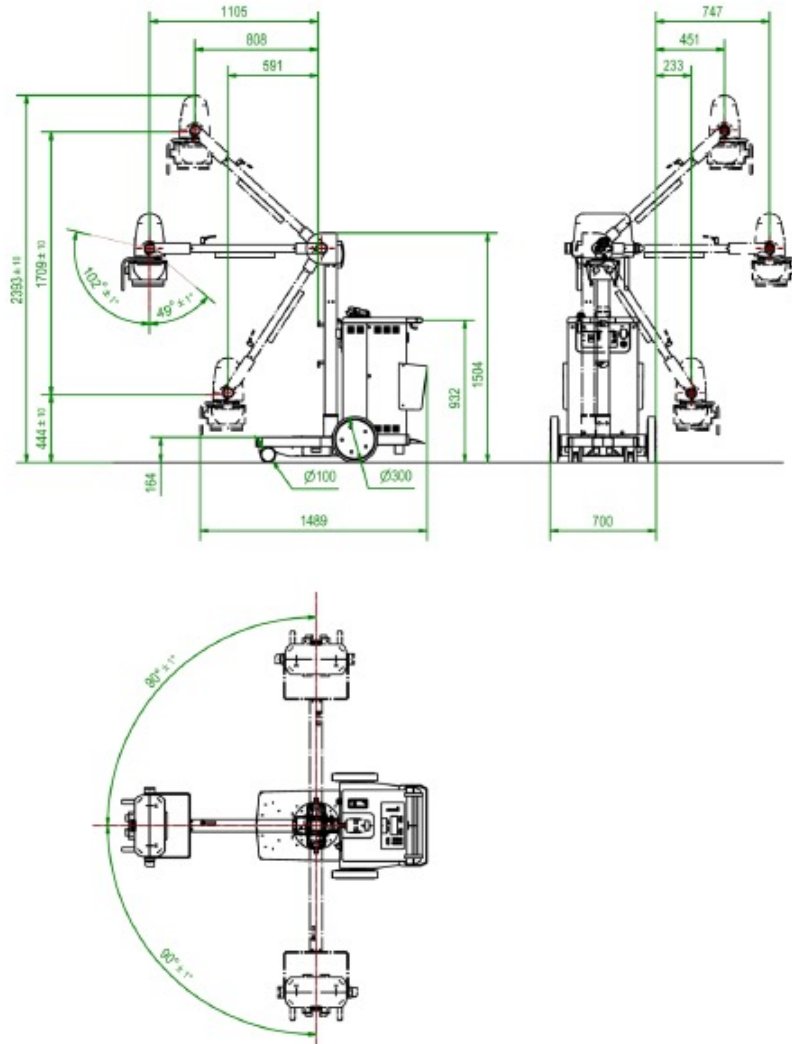
COMPLIANCE

MDD 93/42/EC and its revised version
Medical device Class II b according to MDD 93/42/EC, annex IX, rule 10

The equipment can be updated at any time to DR configuration.

Figura 28. Ficha técnica rayos X portátil (TMS 320) [105].

TMS 320 R



216996-01-A (01/2017)

All dimensions are in mm. Linear tolerances ± 5 mm, angular $\pm 1^\circ$.



TECHNIX SpA
Via E. Fermi, 45
24050 Grassano (BG)
Italy

Tel. +390353846611
Fax +39035335675
e-mail : technix@technix.it
web site : www.technix.it



Technix S.p.A. reserves the right to change the design and the specifications herein contained without prior notice.

Figura 29. Ficha técnica rayos X portátil (TMS 320) [105].

Equipo de rayos X de Diagnóstico

Manual de Operación
Manual Técnico



Figura 30. Ficha técnica rayos X dental (Runyes)[101].

1.6 Advertencia y Prevención



El uso del equipo y la ubicación de operación son importantes, diferentes países o regiones tienen diferentes requisitos de seguridad de rayos, el equipo debe estar blindado. Los usuarios tienen la responsabilidad de cumplir con los requisitos de seguridad locales.



Esta máquina de rayos X puede tener radicalización de ionización que podría dañar la salud si funciona incorrectamente. Así que sugerimos que sólo las personas bien entrenadas pueden operar la máquina de acuerdo con el manual y las reglas.



Tenga cuidado durante el funcionamiento del voladizo para ajustar la cabeza del tubo, el brazo giratorio puede dañar sus manos.



Aunque la máquina se mide en el criterio de aplicabilidad electromagnética, todavía le sugerimos que no utilice la máquina en el lugar con electromagnetismo externo. (Por ejemplo, la máquina de alta potencia o el equipo del motor pueden perturbar el circuito electrónico del sistema.)



Corte la alimentación mientras mantiene o realiza otras operaciones.



El equipo debe estar conectado a una fuente de alimentación con un terreno protegido.



No mantener el equipo arbitrariamente, si no hay autorización del fabricante.

1.7 Etiquetas











Número	Símbolo	Descripción	Número	Símbolo	Descripción
1↔		Tipo B↔	6↔		↔
2↔		Atención Consulte el archivo aleatorio↔	7↔		Frágil↔
3↔		Fusible ↔	8↔		Preocupado por la lluvia↔
4↔		Fuente de Alimentación Actual Alternativa↔	9↔		Fecha de fabricación↔
5↔		conexión a tierra↔	10↔		Número de fábrica ↔

Figura 31. Ficha técnica rayos X dental (Runyes)[101].

2. Datos Técnicos

2.1 Parámetro

Voltaje: 110V /120V / 240V
 Frecuencia: 50Hz/60Hz
 Consumo máximo de energía: 900VA
 Impedancia de la fuente: 0,4 Ω
 Fusible: T6.3A 250V 5X20mm
 Tipo de rayo: Rayos X
 Dirección y distribución del rayo: Dirección del haz que limita el diámetro de salida del dispositivo 60mm
 Tipo de tubo de rayos X: Canon D-0712
 Enfoque de rayos: 0.7mm
 Angulo anódico: 19° $\emptyset\emptyset\emptyset$
 Voltaje del tubo: 70KV -10%
 Corriente eléctrica anódica: 7mA a 20%
 Círculo de carga: 1/30
 Filtración Inherente: 0,5mmAL
 Filtración añadida: 1.5mmAL
 Filtración Total: 2.0mmAL
 Capa de medio valor: 70KV, If1.6mmAL
 Rango de ajuste del tiempo de carga 0.06s-2.0s

2.2 Dispositivo limitador de haz

Sección de salida circular
 Distancia desde el enfoque hasta la piel: 22cm
 Radiación de salida: círculo, diámetro: \emptyset 6 cm

2.3 Requisito ambiental

Temperatura de funcionamiento: 5°C -40°C
 Temperatura de almacenamiento: -10°C -50°C
 Temperatura de transporte: -10°C -50°C
 Humedad relativa: 10% a 85%
 Presión Atmosférica: 86KPa-106KPa

Figura 32. Ficha técnica rayos X dental (Runyes)[101].

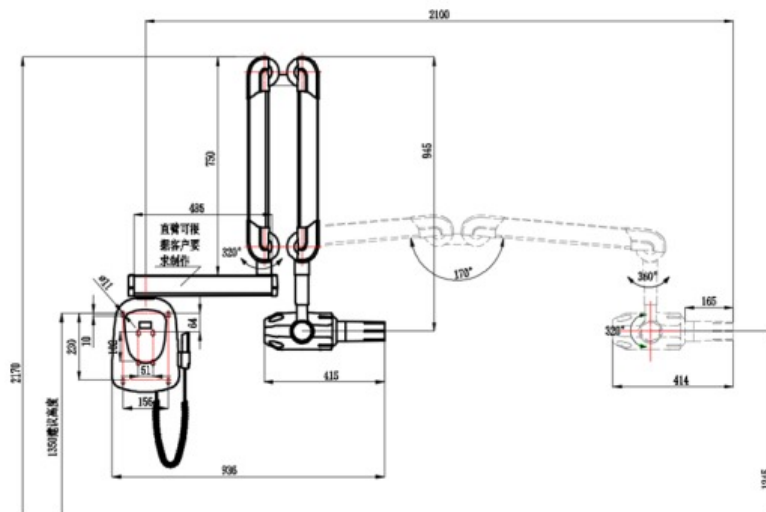
14. Instrucciones de instalación

14.1 Tamaño de instalación y especificación del equipo de la máquina de rayos X montada en la pared

Referencia: Debido al espacio limitado en clínicas individuales, su tamaño mínimo de habitación operable es: longitud 1,3 m, ancho 1m, altura 2,2m.

Atención:

Operar por debajo del tamaño de la habitación segura y el tamaño mínimo de la habitación operable puede causar el daño del equipo, por favor úselo con cuidado.



El brazo directo se puede hacer de acuerdo con los requisitos del cliente.

Figura 33. Ficha técnica rayos X dental (Runyes)[101].



FICHA TÉCNICA MAMÓGRAFO DIGITAL DM156



Descripción

El DM156 es un sistema de mamografía digital directo de baja dosis. Los bordes redondos del módulo de compresión evitan lesiones en la piel, lo que proporciona una experiencia cálida y más cómoda para el paciente, ayuda a relajar el musculo pectoral, esto permite que el operador ubique la mama para la detección de forma fácil y rápida, lo que reduce significativamente repetir el examen. Después de la exposición, el sistema de compresión se eleva automáticamente para disminuir el tiempo de compresión para el paciente.

El mamógrafo está equipado con un detector de panel plano, generador, tubo de rayos, módulo de compresión y la estación de trabajo, capaz de capturar objetos ultrafinos y encontrar pequeñas lesiones proporcionando una excelente calidad de imagen, un flujo de trabajo más simple y un diagnóstico preciso con la interfaz de procesamiento avanzado. Las funciones innovadoras para el acondicionamiento de la imagen permiten destacar los detalles para brindar mayor confianza en el diagnóstico.

Especificaciones técnicas

Generador

Frecuencia	Alta Frecuencia de 40 kHz
Potencia	5 kW
Exposición de voltaje	20 a 40 kV
Rango de mA	10 mA ~ 200 mA
Rango de mAs	10 mAs ~ 500 mAs
Tiempo de exposición	0.002 segundos - 10 segundos
Suministro eléctrico	1 Φ , 180 ~ 264VAC \pm 10%, 50Hz/60Hz (Single Phase)
Consumo	\leq 10 kVA
Programas Anatómicos (APR)	\geq 5
Modos de exposición	Automático, Semiautomático y manual
Tipo de generador	Control digital de alta precisión para la programación de parámetros
Protección	Contra sobrecalentamiento y alta tensión

Figura 34. Ficha técnica mamógrafo (DM156) [96].



Tubo de Rayos-X	
Tipo	Ánodo rotatorio
Velocidad de rotación	10.000 rpm a (60 Hz)
Almacenamiento de calor en el ánodo	300 kHU
Voltaje de salida	20 a 40 kV
Punto focal	Doble punto focal a 0,1 mm / 0,3 mm
Soporte de Columna	
Tipo	Motorizada con desplazamiento vertical
Movimiento vertical (FID)	1420 mm - 2020 mm
Ángulo de rotación	-135° - +180°
Distancia Focal (SID)	650 mm
Actuadores	Equipado con dos interruptores giratorios de control de elevación
Sistema de Compresión	
Modos de compresión	Automático y manual
Rango de compresión	0 – 196N
Altura máxima	280 mm
Tamaño de compresión (YPQM-1)	240 mm × 310 mm
Tamaño de compresión (YPQM-2)	100 mm × 100 mm
Tamaño de compresión (YPQM-3)	200 mm × 280 mm
Rejilla	
Densidad de la rejilla	332.5 Line/Inch(±1)
Relación	4:1
Foco	645 mm
Detector	
Tipo	Detector de panel plano (Wireless)
Material	Silicio amorfo (a-Si) semiconductor con Yoduro de cesio (CsI) Centellador
DQE	≥50% (@0,05 lp/mm, RQA5)
Tamaño del detector	240 mm x 300 mm
Tamaño del píxel	77 μm
Tamaño de la matriz	4096 x 3072 pixeles
Rango dinámico A/D	16 bits
Resolución espacial	6 lp / mm
Tiempo de adquisición de la imagen	≤ 5 segundos
Consola de control	
Sistema Operativo	Windows Embebido
Procesador	Dual-Core 3.7G 4M
Disco Duro	≥512GB (Capacidad para almacenar más de 10.000 imágenes)

Figura 35. Ficha técnica mamógrafo (DM156)[96].



Memoria RAM	≥ 4GB
Periféricos	Unidad de CD/DVD y Puertos USB
Monitor	Pantalla LCD de 24" de de 2MP Grado Médico
Comunicación	DICOM 3.0 (Conexión a RIS/PACS/HIS)
Informes de historia clínica	Por medio de plantillas y carga automática de la información
Dimensiones	
Dimensiones con base (An x Al x P)	1000 mm x 1900 mm x 1135 mm
Peso	375 kg
Condiciones Ambientales	
Temperatura de operación	10 °C ~ 40 °C
Humedad relativa de operación	30 % a 75 %
Presión atmosférica de operación	700hPa ~ 1060hPa
Temperatura de almacenamiento	-20 °C ~ 55 °C
Humedad relativa de almacenamiento	10 % a 93 %
Presión atmosférica almacenamiento	500hPa ~ 1060hPa
Especificaciones Clínicas	
Herramientas de post-procesamiento	<p>Gestión de paciente; Registro manual, emergencia o por medio de la worklist</p> <p>Ajuste de ventana y colimación automática</p> <p>Corrección e inversión de imágenes</p> <p>Ecuilibración y nitidez de tejidos</p> <p>Ajuste de brillo y contraste</p> <p>Sistema multi venta,</p> <p>Ajuste del ancho y nivel de venta</p> <p>Visualización de múltiples imágenes</p> <p>Zoom (ampliación de imagen / desplazamiento)</p> <p>Rotación arriba y abajo, derecha e izquierda</p> <p>Grabación de anotaciones</p> <p>Marcación automática y manual de textos.</p> <p>Armonización del contraste</p> <p>Regulación de la curva de optimización</p> <p>Mitigación de ruido y efectos granulares</p> <p>Sistema de reducción de dosis</p> <p>Procesamiento frecuencial en 2D con realce de microcalcificaciones y masas.</p> <p>Mediciones lineales, angulares y la distancia de la lesión en la región areolar.</p> <p>Informe de historia clínica por medio de plantillas y carga automática de la información</p>

Figura 36. Ficha técnica mamógrafo (DM156) [96].

GE Healthcare

Discovery* RF180

PRODUCT DATA SHEET

Remote X-Ray Imaging R&F System



Figura 37. Ficha técnica discovery (RF-180) [92].

Performance amplified – Maximize room utilization

Boost uptime and patient volume to accelerate ROI with an all-in-one system that supports a wide range of examinations. Designed to keep your fluoroscopy department busy, the Discovery RF180 can perform well beyond simple radiography and fluoroscopy. Your system utilization is optimized by the following features:

- Variable SID with maximum 180 cm permits chest exams with no additional equipment
- One of the few systems to accommodate bariatric exams
- Accessible equipment for mobility-impaired patients, from pediatric to geriatric
- Extended movements enable standing lower limb exams without need for patient to climb
- Supports a wide variety of advanced exams (tomosynthesis, auto image paste, DSA)
- Remote service capabilities to quickly identify problems and resolve issues

EXAM TABLE	
Tilting	Motorized from + 90° to - 90°
Tilting speed	Variable, continuous from 0 to 5°/s

PATIENT TABLETOP	
Dimensions	246 x 80 cm (97 x 31")
Radio-transparent area	237 x 57 cm (93 x 22")
Material	Carbon fiber
Patient tabletop type	Flat or Concave (upon request)
Patient tabletop movements type	With longitudinal travel
Minimum floor distance	From 47.3 cm to 100 cm (18.6 to 39,4")
Inherent filtration	0.5 mm (0.019") Al/eq a 100 kVp
Maximum patient's weight	266 kg - 586 lbs (323 kg - 712 lbs with limitations)
Vertical travel speed	Step less from 0 to 45 mm (2")/s
Transversal motorized travel	±17,5 cm (7")
Lateral travel speed	Step less from 0 to 25 mm (1.18")/s

Product Data Sheet | 5

Figura 38. Ficha técnica discovery (Rf-180) [92].

Longitudinal travel	±50 cm (20")
Longitudinal travel speed	45 mm (2.4")/s
Maximum tabletop rear access distance	52.5 cm (20.5") max

X-RAY TUBE ASSEMBLY

Longitudinal motorized travel (X-ray tube only)	195 cm (77")
Longitudinal motorized travel X-ray tube/detector	162 cm (64")
Longitudinal speed X-ray tube assembly	Motorized movement. Step less from 0 to 150 mm (6")/s
X-ray beam assembly angulations	± 40°
Focus / detector distance	From 115 to 180 cm (45 to 71") step less, motorized
Focus/floor distance (Tilt +90°)	From 40.5 to 226.5 cm (15.9 to 88.9")
X-ray tube rotation movement	90°/180° manual movement

COMPRESSION CONE (OPTION)

Compression device	Motorized compressor cone with double safety system (mechanical and electrical)
--------------------	---

TOMOGRAPHY

Stratigraphy type	Linear tomography in any tilting table angle
Focus/film distance	115 cm (45")
Layer cut adjustment	From 0 to 300 mm (0 to 12") to with millimetric adjustment
Pre-programmed modes	Automatic increment/decrement of the layer cut to be set by the operator before starting the tomographic technique

Figura 39. Ficha técnica discovery (Rf-180) [92].

GENERATOR			
Type	65 R/F		80 R/F
Frequency	High frequency Output - (maximum 400 kHz)		
Power	65 kW		80 kW
Output parameters	G650		G800
	KV	mA	mA
	80	800	1000
	100	630	800
	150	400	500
Starter speed	Anode rotation 3000/9000 rpm		
Line voltage rate	±10%		
Radiography			
kVp Range/Steps	40 - 150 kV in 1 kV increments		
High voltage ripple	<1kV at 110 kV		
mA range/steps (*Rénard) (1 mA/0,1 mA optional steps)	10 - 800 mA * R'10		10 - 1000 mA * R'10
Time range	1.0 to 6300 milliseconds		
mAs Range (no AEC)	0.1 - 1000 mAs/ R'10 *		
Continuous Fluoroscopy			
kVp Range/Steps	40 - 125 kV in 1 kV steps		
High voltage ripple	<1kV at 110 kV 5mA		
mA range/steps	0.5 - 10 mA in 0,1 mA steps		
Pulsed Fluoroscopy			
kVp Range/Steps	40-125 kV in 1 kV steps		
mA Range/steps	5-99 mA in 1 mA steps		

Figura 40. Ficha técnica discovery (Rf-180) [92].

Batteries charger	Yes, up to three batteries simultaneously (two batteries included)
Weight battery included	2.8 kg (6.2 lbs)
24 X 30 Wi-Fi Pixium 2430Ez Detector	
Technology	Amorphous Silicon
Scintillator	Caesium Iodide
Pixel area	24 x 30 cm (9 x 12")
Matrix size	1560 x 1920 pixel
Pixel pitch	148 µm
Data conversion	16 bit
Spatial resolution	3.4 lp/mm
DQE	66% typ.
Batteries charger	Yes, up to two batteries included
Weight battery included	1.58 kg (2.2 lbs)
INSTALLATION DATA	
System Power Supply	
System power supply	400 V AC, Triphase
Voltage power supply tolerance	± 10%
Nominal line frequency	50/60 Hz
Line frequency tolerance	± 2%
Maximum absorbed power (Gen. 65kW)	Apparent: 95 KVA; Active 65 KW
Maximum absorbed power (Gen. 80kW)	Apparent: 115 kVA; Active 80 kW
Line protection device	Magneto thermal differential 63A
Maximum power line resistance	0.1 ohm
Standby power	2 kVA
Weight And Dimension	
Maximum table layout (w x h x d)	2,460 x 1,770 x 2,010 mm (97 x 70 x 79")
Table weight	1,380 kg (3,042 lbs)

Figura 41. Ficha técnica discovery (Rf-180) [92].