



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

**Desarrollo de una aplicación de realidad aumentada
para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x
portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Carlos Andrés SALDAÑA AMÉZQUITA

ASESOR

Mg. Jean Carlos MALCA FERNÁNDEZ

Lima, Perú

2026



Reconocimiento – No Comercial – Compartir Igual – Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Saldaña, C. (2026). *Desarrollo de una aplicación de realidad aumentada para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Carlos Andrés Saldaña Amézquita
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72915905
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0004-1510-1266
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jean Carlos Malca Fernández
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	45535181
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-5633-5182
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Celso Ysidro Gerónimo Huamán
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09191500
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Jorge Elías Moscoso Sánchez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07206008
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Wilbert Chavez Irazabal
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08121733
Datos de investigación	
Línea de investigación	Innovación Tecnológica
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica

Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lince Lugar: Gamel S.R.L. Latitud: -12.088701151715973 Longitud: -77.03275904593191
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Ingeniería médica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.06.01 Radiología, Medicina nuclear, Imágenes médicas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.02.12



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



ACTA DE SUSTENTACIÓN

TESIS

ACTA N°03/FIEE-PPP/2026

Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 06 de enero del 2026, como presidente de Jurado el **DR. CELSO YSIDRO GERÓNIMO HUAMÁN**, integrado por el Miembro de Jurado el **DR. JORGE ELÍAS MOSCOSO SÁNCHEZ**, el Miembro de Jurado el **MG. WILBERT CHAVEZ IRAZABAL** y Miembro Asesor el **MG. JEAN CARLOS MALCA FERNÁNDEZ**.

Después de escuchar la Sustentación Presencial de la Tesis del Bachiller **CARLOS ANDRÉS SALDAÑA AMÉZQUITA** con código 18190161 que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó la Tesis titulada **DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA LA CAPACITACIÓN EN EL MANEJO DEL EQUIPO DE RAYOS X PORTÁTIL ORANGE 1040HF EN LA MODALIDAD AUTODIRIGIDA**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió otorgarle el calificativo de 16 (Satisfactorio).

Ciudad Universitaria, 06 de enero del 2026

DR. CELSO YSIDRO GERÓNIMO HUAMÁN
Presidente Jurado

DR. JORGE ELÍAS MOSCOSO SÁNCHEZ
Miembro Jurado

MG. WILBERT CHAVEZ IRAZABAL
Miembro Jurado

MG. JEAN CARLOS MALCA FERNÁNDEZ
Miembro Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo , **JEAN CARLOS MALCA FERNÁNDEZ** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen N°34/FIEE-PPP/2025 de la Tesis titulada **DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA LA CAPACITACIÓN EN EL MANEJO DEL EQUIPO DE RAYOS X PORTÁTIL ORANGE 1040HF EN LA MODALIDAD AUTODIRIGIDA.**, presentado por el bachiller CARLOS ANDRÉS SALDAÑA AMÉZQUITA para optar al título profesional de Ingeniero Electrónico. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 10% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título de Ingeniero Electrónico.

Lima, 06 de Enero del 2026

Firma del Asesor

DNI:

4553 5181

Nombres y apellidos del asesor:

JEAN CARLOS MALCA FERNÁNDEZ

DEDICATORIA

A mis amados padres, Carlos Saldaña e Yngrid Amézquita, por enseñarme que la grandeza no está solo en ser un buen profesional, sino en vivir con amor, humildad y propósito; esta meta es tanto mía como de ustedes. Y a mi pequeña Fer, cuya risa llena de vida mi alma.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y aliento constante, pilares fundamentales para culminar esta etapa académica. Agradezco también al Ing. Jean Carlos Malca Fernández, mi asesor de tesis, por su valiosa orientación, dedicación y paciencia a lo largo de todo el proceso de investigación. Finalmente, a mi querida casa de estudios, la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por las oportunidades y experiencias que enriquecieron mi vida, tanto durante mi estancia como después de ella.

RESUMEN

La finalidad del presente trabajo es desarrollar una aplicación de realidad aumentada para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida. Esta herramienta permite al personal usuario adquirir conocimientos de manera autónoma, mediante la visualización tridimensional e instrucciones paso a paso sobre las funciones y procedimientos del equipo.

Se consideraron indicadores clave como la identificación de las partes del equipo, los pasos para su uso correcto, la visualización 3D mediante realidad aumentada, la accesibilidad y efectividad de la aplicación. Los resultados evidenciaron que la capacitación con esta herramienta es más efectiva que los métodos tradicionales.

El desarrollo de la aplicación se estructuró en cuatro módulos: introducción, partes del equipo, guía de uso y quiz, los cuales integran el modelado 3D del equipo, guías visuales, material audiovisual e instrucciones interactivas.

La aplicación representa una solución innovadora y replicable que moderniza la capacitación en equipos médicos, mejora la eficiencia del aprendizaje y contribuye a la calidad del servicio de salud.

Palabras clave: Realidad aumentada, capacitación, rayos x portátil, entrenamiento interactivo, modelado 3D.

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop an augmented reality application for flexible and efficient training in the operation of the Orange 1040HF portable X-ray unit. This tool enables users to acquire knowledge autonomously through three-dimensional visualization and step-by-step instructions on its functions and procedures.

Key indicators considered included the identification of the equipment's components, the correct sequence of operation, 3D visualization through augmented reality, and the application's accessibility and effectiveness. The results showed that training with this tool is faster, more engaging, and more effective than traditional methods.

The application's development was structured into four main modules: introduction, equipment parts, user guide, and quiz. These modules integrate the 3D modeling of the equipment, visual guides, audiovisual material, and interactive instructions.

The application represents an innovative and replicable solution that modernizes medical equipment training, improves learning efficiency, and contributes to the quality of healthcare services.

Keywords: Augmented reality, training, portable X-ray, interactive learning, 3D modeling

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA	i
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.2.1 Determinación del problema	2
1.2.2 Formulación del problema	5
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivos generales	6
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Importancia y alcance de la investigación	6
1.5 Limitaciones de la investigación	7
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	9
2.1 Marco teórico	9
2.2 Antecedentes del estudio	9
2.2.1 Antecedentes Nacionales	9
2.2.2 Casos de estudio internacionales	14

2.3	Bases teóricas	18
2.3.1	Tecnologías digitales inmersivas	18
2.3.2	Unity Engine	21
2.3.3	Unity Hub	23
2.3.4	Vuforia Engine	24
2.3.5	Polycam – generación de modelos 3D	30
2.3.6	Fundamentos de física	33
2.3.7	Tipos de equipos de rayos x	49
2.4	Definición de términos	59
2.4.1	Orange 1040HF	59
2.4.2	Model Target	59
2.4.3	Archivo .OBJ	60
2.4.4	APK	60
CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES		61
3.1	Hipótesis	61
3.1.1	Hipótesis general	61
3.1.2	Hipótesis específicas	61
3.2	Variables	61
3.2.1	Variable independiente	61
3.2.2	Variable dependiente	61
3.3	Operacionalización de las variables	62

CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS	63
4.1 Área de estudio	63
4.2 Diseño de investigación	64
4.3 Población y muestra	64
4.3.1 Población	64
4.3.2 Muestra	64
4.4 Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información	65
4.4.1 Procedimientos para el desarrollo del proyecto.	66
4.4.2 Técnicas de recolección de datos	105
4.4.3 Instrumentos de recolección de datos	105
4.5 Análisis estadístico	105
CAPÍTULO V: RESULTADOS	106
5.1 Presentación y análisis de resultados.	106
5.1.1 Flujo de la aplicación	106
5.1.2 Pruebas de funcionamiento	115
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	119
6.1 Identificación, evaluación y retroalimentación de las principales partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF y autonomía en el uso de la aplicación	119
6.2 Identificación, evaluación y retroalimentación de los pasos a seguir para el correcto uso del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF y reducción de errores.	120

6.3	Repetibilidad y retención del conocimiento	121
6.4	Accesibilidad temporal y accesibilidad geográfica	122
6.5	Tiempo de aprendizaje, retención del conocimiento y satisfacción con el aprendizaje.	123
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES		126
CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES		127
CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA		128
CAPÍTULO X: ANEXOS		135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Destartarizador almacenado y sin uso desde su entrega.	2
Figura 2. Electrocardiógrafo no operativo y almacenado.	3
Figura 3. Equipo de rayos x digital rodable inoperativo.	4
Figura 4. Equipo de rayos x estacionario con fluoroscopia inoperativo.	5
Figura 5. Funcionalidad de la aplicación IKEA Place.	19
Figura 6. Funcionalidad de la herramienta Osso VR.	20
Figura 7. Funcionalidad de las gafas Microsoft Hololens.	21
Figura 8. Entorno principal de Unity Hub.	23
Figura 9. Entorno para desarrolladores de Vuforia Engine.	25
Figura 10. Aplicación de Image Target.	26
Figura 11. Aplicación de Cylinder Target.	27
Figura 12. Aplicación de Multi Targets.	27
Figura 13. Aplicación de Model Targets.	28
Figura 14. Aplicación de Cloud Image Recognition.	29
Figura 15. Aplicación de Barcode Scanner.	29
Figura 16. Principales partes de un VuMark.	30
Figura 17. Ejemplo de aplicación de Polycam	31

Figura 18. Representación del espectro electromagnético.	34
Figura 19. Representación de la absorción fotoeléctrica.	36
Figura 20. Representación de la dispersión Compton.	37
Figura 21. Esquema del circuito de filamento.	43
Figura 22. Esquema del transformador de alta tensión.	43
Figura 23. Emisión de un fotón de rayos x característico.	44
Figura 24. Emisión de fotones de rayos x de frenado.	45
Figura 25. Balance entre el kV y mAs en radiografías de tórax.	46
Figura 26. Representación de un tubo de rayos x.	47
Figura 27. Principio de funcionamiento de un Bucky.	48
Figura 28. Equipo de rayos x fijo	49
Figura 29. Equipo de rayos x rodable.	50
Figura 30. Equipo de rayos x portátil.	51
Figura 31. Dimensiones y peso de equipo de rayos x Orange 1040HF.	51
Figura 32. Partes del equipo de rayos x Orange 1040HF.	52
Figura 33. Panel de control del equipo de rayos x Orange 1040HF.	53
Figura 34. Diagrama de bloques de la primera etapa del proyecto	66
Figura 35. Diagrama de bloques de la segunda etapa del proyecto	66
Figura 36. Página oficial de Unity.	67
Figura 37. Descarga de la versión 2021.1.24fl de Unity desde Unity Hub.	68
Figura 38. Creación de un nuevo proyecto Unity.	68

Figura 39. Creación de licencia para Vuforia Engine.	69
Figura 40. Build Settings.	70
Figura 41. Script FrameRateSetting.cs	70
Figura 42 Configuración del móvil: (A): Modo desarrollador / (B): Depuración por USB.	71
Figura 43. Conectividad entre Unity y nuestro celular (Run Device).	72
Figura 44. Aplicación descargada en un celular de prueba.	72
Figura 45. Polycam en Play Store.	73
Figura 46. Modelo 3D del equipo de rayos x Orange 1040HF.	74
Figura 47. Modelo 3D del equipo de rayos x.	74
Figura 48. Exportación del modelo 3D en formato OBJ.	75
Figura 49. Archivos generados en la exportación del modelo.	75
Figura 50. Página de descarga del Model Target Generator.	76
Figura 51. Instalación de Model Target Generator.	76
Figura 52. Entorno principal de Vuforia Model Target Generator.	77
Figura 53. Creación del Model Target.	77
Figura 54. Configuración final del Model Target a crear.	78
Figura 55. Vectores respecto a la orientación del modelo.	78
Figura 56. Unidades de medida.	79
Figura 57. Esquema de color para el modelo CAD.	79
Figura 58. Complejidad del modelo.	80

Figura 59. Optimización del seguimiento al modelo.	80
Figura 60. Creación de las vistas de guía 2D.	81
Figura 61. Vista frontal del modelo.	81
Figura 62. Guardado de la vista 2D generada.	82
Figura 63. Vista superior del modelo.	82
Figura 64. Distintas vistas del modelo y archivo Unitypackage	83
Figura 65. Importación del archivo Orange1040HF (UnityPackage).	83
Figura 66. Creación de la plantilla Model Target.	84
Figura 67. Modeo 3D importado al Model Target.	84
Figura 68. Modelo 3D del equipo de rayos x.	85
Figura 69. Jerarquía y escena MainMenu.unity.	86
Figura 70. Animaciones fade in / fade out y controlador.	86
Figura 71. Script TransicionEscena.cs	87
Figura 72. On Click () para cambio de escena MainMenu – Introduccion.	88
Figura 73. Script RotarModelo.cs	88
Figura 74. Jerarquía de la escena de Introducción.	89
Figura 75. Desarrollo de la escena Introduccion.unity.	89
Figura 76. Jerarquía de la escena PartesMenu.	90
Figura 77. Desarrollo de la escena PartesMenu.unity.	91
Figura 78. Escenas creadas para cada parte del equipo.	91
Figura 79. Configuración de un Model Target.	92

Figura 80. Guía visual 2D de un Model Target.	92
Figura 81. Model Target del medidor de ángulo.	93
Figura 82. Integración del Canva Colimador al entorno 3D.	94
Figura 83. Canvas: Medidor de ángulo.	94
Figura 84. Canvas: Panel de control.	95
Figura 85. Escenas creadas para el módulo Guía de funcionamiento.	95
Figura 86. Script VideoController.cs.	96
Figura 87. Elementos del script VideoController.cs.	97
Figura 88. Escena 1 de la guía de operación.	97
Figura 89. Escena 2 de la guía de operación.	98
Figura 90. Escena 3 de la guía de operación.	98
Figura 91. Escena 4 de la guía de operación.	99
Figura 92. Escena 5 de la guía de operación.	100
Figura 93. Escena 6 de la guía de operación.	100
Figura 94. Escena 7 de la guía de operación.	101
Figura 95. Jerarquía de la escena Quiz.unity	102
Figura 96. Panel principal del Quiz.	102
Figura 97. Primera sección del script QuizManager.cs	103
Figura 98. Quiz manager	104
Figura 99. Pregunta N01 del Quiz.	104
Figura 100. Aplicación en ejecución: Menú principal.	107

Figura 101. Aplicación en ejecución: Introducción.	107
Figura 102. Aplicación en ejecución: Principales partes del equipo.	108
Figura 103. Aplicación en ejecución: Panel principal.	109
Figura 104. Aplicación en ejecución: Colimador.	109
Figura 105. Guía de uso: Escena 1	110
Figura 106. Guía de uso: Escena 2	110
Figura 107. Guía de uso: Escena 3	111
Figura 108. Guía de uso: Escena 4	111
Figura 109. Guía de uso: Escena 5.	112
Figura 110. Guía de uso: Escena 6	112
Figura 111. Guía de uso: Escena 7	113
Figura 112. Quiz: Menú principal	113
Figura 113. Quiz: Pregunta 1	114
Figura 114. Quiz: Panel de respuesta correcta	114
Figura 115. Panel de respuesta incorrecta	115
Figura 116. Pruebas de operatividad N01.	116
Figura 117. Pruebas de operatividad N02.	116
Figura 118. Pruebas de operatividad N03.	117
Figura 119. Pruebas de operatividad N04.	118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Factores de ponderación para distintos tipos de radiación.	41
Tabla 2 Factores de ponderación de los órganos y tejidos en el ser humano.	42
Tabla 3 Partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.	52
Tabla 4 Descripción de las partes del panel de control.	53
Tabla 5 Componentes y accesorios del equipo de rayos x portátil.	54
Tabla 6 Entrada de energía del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.	55
Tabla 7 Salida de energía del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.	55
Tabla 8 Características del generador del equipo de rayos x Orange 1040HF.	56
Tabla 9 Características del colimador, láser y cinta métrica	56
Tabla 10 Filtración de rayos x del equipo Orange 1040HF.	57
Tabla 11 Códigos de error para el equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.	58
Tabla 12 Operacionalización de las variables	62
Tabla 13 Nivel de acuerdo de los participantes respecto a la claridad y autonomía para identificar las partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF	120
Tabla 14 Nivel de acuerdo de los participantes respecto a la utilidad de la aplicación para comprender los pasos de uso del equipo y reducir errores en el proceso	121
Tabla 15 Nivel de utilidad percibida de la visualización en 3D para reforzar el aprendizaje y facilitar la repetición del contenido	122

Tabla 16 Percepción de accesibilidad de la aplicación en relación con el horario, lugar de uso y facilidad de navegación	122
Tabla 17 Comparación con la capacitación tradicional respecto a velocidad de aprendizaje, satisfacción y retención del conocimiento	123
Tabla 18 Cuadro referencial de viáticos para un viaje por motivo de capacitación usuaria.	124
Tabla 19 Detalle de los montos solicitados para un viaje por motivo de capacitación usuaria	125
Tabla 20 Matriz de consistencia	134

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Dentro del ámbito sanitario, la calidad del servicio brindado a los pacientes depende en gran medida de que el personal reciba una formación adecuada y de que los equipos médicos se conserven en óptimas condiciones. Este enfoque resulta esencial en hospitales, institutos especializados y en las distintas instancias de gestión de salud, tanto integrales como regionales, en todo el país (Vargas y Mayhuasca, 2023).

Por lo tanto, resulta esencial potenciar las funciones del personal encargado del mantenimiento, garantizando que la infraestructura y equipos de los centros de salud se mantengan en condiciones óptimas. Asimismo, es necesario reforzar la formación de los usuarios para que puedan emplear de manera eficiente los recursos tecnológicos disponibles (Vargas y Mayhuasca, 2023).

1.2 Planteamiento del problema

En la gestión de las tecnologías biomédicas, asegurar que el personal usuario reciba una formación adecuada, junto con la implementación de un mantenimiento preventivo y correctivo en el momento oportuno, constituye un elemento clave para preservar el funcionamiento y extender la vida útil de los equipos médicos. No obstante, en varias zonas del país se han detectado importantes carencias en estos procesos, lo que impacta de manera desfavorable tanto en la calidad de los servicios de salud como en el uso eficiente de los recursos públicos o privados destinados a modernizar la infraestructura sanitaria.

1.2.1 Determinación del problema

La falta de capacitación al personal usuario y la realización de un correcto mantenimiento, se ha visto reflejado en distintas situaciones. Por ejemplo, en el distrito de San Martín de Porres la contraloría intervino establecimientos de salud del nivel I-1, I-2, I-3 y I-4 encontrando deterioro e inoperatividad de quipos biomédicos, adquiridos en el proyecto OARR, valorizados en más de 7 millones de soles, evidenciando una falta de capacitación en el personal (Contraloría General de la República, 2024).

Otro caso se muestra en la figura siguiente, donde se observa un Destartarizador de la marca W&H, entregado al puesto de salud Agua Blanca el 2 de diciembre del año 2023, el cual se encuentra sin uso desde su recepción (Contraloría General de la República, 2024).

Figura 1.

Destartarizador almacenado y sin uso desde su entrega.



Nota. El gráfico ilustra la inspección realizada a un destartarizador que, pese a haber sido entregado al Puesto de Salud Agua Blanca, permanece sin uso (Contraloría General de la República, 2024).

Caso similar sucedió en 4 centros de salud de Ica: La Tinguña, Guadalupe, La Palma y Santiago. Los cuales recibieron, durante los años 2021 y 2022, equipamiento médico

y bienes valorizados en 2 218 745 soles. Se constató que gran parte de los equipos no se encuentran operativos desde su recepción por que el personal de salud no fue capacitado para su manejo (Contraloría General de la República, 2024).

Un ejemplo de dicha situación se visualiza en la figura 2, donde se tiene un electrocardiógrafo, de la marca EDAN, no operativo y almacenado desde su recepción en el Centro de Salud Santiago (Contraloría General de la República, 2024).

Figura 2.

Electrocardiógrafo no operativo y almacenado.



Nota. El gráfico ilustra la inspección realizada a un electrocardiógrafo, inoperativo y almacenado en el Centro de Salud Santiago (Contraloría General de la República, 2024).

Asimismo, en el Instituto Nacional de Salud del Niño (INSN), sede Breña, la contraloría encontró múltiples deficiencias, destacando la inoperatividad de 6 equipos de rayos x, sin diagnóstico ni reparación, lo cual sugiere una mala gestión o desarrollo del cronograma de mantenimiento (Contraloría General de la República, 2024).

Uno de los 6 equipo de rayos x inoperativos (Figura 3), es un equipo de rayos x digital rodable, de la marca SAMSUNG, ubicado en la sala 7 del servicio de Radiodiagnóstico del Departamento de Investigación, Docencia y Atención en Diagnóstico por Imágenes, el cual se muestra en la siguiente figura (Contraloría General de la República, 2024).

Figura 3.

Equipo de rayos x digital rodable inoperativo.



Nota. El gráfico ilustra la inspección realizada a un equipo de rayos x rodable entregado al Instituto Nacional de Salud del Niño, sede Breña, inoperativo (Contraloría General de la República, 2024).

También podemos mencionar que el Hospital Nacional Daniel Alcides Carrión, perteneciente al Gobierno Regional del Callao, cuenta con varios equipos biomédicos, valorizados en más de 12 millones de soles, se encuentran inoperativos o defectuosos, lo cual puede ocasionar la emisión de diagnósticos médicos con errores. Algunos equipos no han recibido mantenimiento desde el año 2021 y otros se encuentran inoperativos desde el año 2022 (Contraloría General de la República, 2023).

En la siguiente figura se observa un equipo de rayos x estacionario con fluoroscopia que se encuentra inoperativo por falta de mantenimiento (Contraloría General de la República, 2023).

Figura 4.

Equipo de rayos x estacionario con fluoroscopia inoperativo.



Nota. El gráfico ilustra la inspección realizada a un equipo de rayos x estacionario con fluoroscopia, inoperativo, entregado al Hospital Nacional Daniel Alcides Carrión (Contraloría General de la República, 2023).

1.2.2 Formulación del problema

1.2.2.1 Problema general

¿Cómo desarrollar una aplicación de realidad aumentada para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida?

1.2.2.2 Problemas específicos

¿Es posible recopilar y organizar la información técnica esencial del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF para su comprensión en un entorno autodirigido?

¿Cómo diseñar una aplicación de realidad aumentada que presente la información técnica mediante recursos digitales?

¿Es posible validar la aplicación desarrollada mediante pruebas de operación con usuarios?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos generales

Desarrollar una aplicación de realidad aumentada para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida.

1.3.2 Objetivos específicos

Recopilar y organizar la información técnica esencial del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF para su comprensión en un entorno autodirigido.

Diseñar una aplicación de realidad aumentada que presente la información técnica mediante recursos digitales.

Validar la aplicación desarrollada mediante pruebas de operación con usuarios.

1.4 Importancia y alcance de la investigación

Las situaciones presentadas son preocupantes y reflejan que los métodos tradicionales de formación y mantenimiento son insuficientes. En este contexto y considerando el avance tecnológico, así como la creciente complejidad de los dispositivos médicos, la realidad aumentada (AR) se presenta como una solución para transformar estos procesos críticos (Kan et al., 2021).

La realidad aumentada permite a los profesionales de la salud interactuar con información digital superpuesta sobre el entorno físico, mejorando la comprensión de los equipos y facilitando un aprendizaje más práctico y dinámico. Esta tecnología

apunta a convertir en una herramienta clave de productividad para los usuarios en diversas áreas (Kan et al., 2021).

Esta tecnología es clave en las industrias, pues se puede utilizar como guía operativa y ayuda a los usuarios para obtener información del entorno con mayor eficiencia, además evita accidentes y riesgos al darse todo en forma virtual, esto también significa un ahorro económico, ya que los usuarios emplearán los mismos materiales para sus prácticas. Un claro ejemplo es SENATI (El Peruano, 2019).

Existen diversas tecnologías y herramientas que pueden ayudar a mejorar significativamente el sector de mantenimiento. Con la AR se pueden dar instrucciones automáticamente sobre el escenario real para que el personal mantenga la atención en el equipo, no tenga que para para leer un manual, por ejemplo (Aivaliotis et al., 2024).

Además, se puede ofrecer información sobre componentes y procedimientos de manera intuitiva. Los equipos médicos son complejos, lo que imponen nuevos límites al mantenimiento y para garantizar los mejores niveles de confiabilidad del equipo, implica utilizar herramientas sofisticadas (Nacarino Guevara, 2022).

Según indica Kernick Ruiz, subgerente de Gestión del Mantenimiento de ISA REP: El uso de la realidad virtual para fortalecer la capacitación de nuestros colaboradores permite reducir los riesgos por errores humanos que pueden presentarse en nuestras instalaciones y cuyo impacto puede ser de gran magnitud (Pontificia Universidad Católica del Perú, 2021).

1.5 Limitaciones de la investigación

Una de las principales limitaciones para el desarrollo de la presente investigación fue el proceso de adquisición temporal de un equipo de rayos x portátil Orange 1040HF y la disponibilidad de un espacio adecuado para el escaneo y generación de los modelos 3D. Para ello, fue necesario coordinar con el área de logística de la empresa Gamel S.R.L. a fin de obtener el equipo en calidad de préstamo por un periodo corto de días, así como gestionar un ambiente con condiciones de iluminación apropiadas para realizar el escaneo.

Por otro lado, la aplicación de realidad aumentada se basa principalmente en las cuatro vistas principales del equipo, las cuales deben coincidir con una guía visual en 2D; caso contrario, la funcionalidad de realidad aumentada no se activará correctamente.

CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico

En el presente capítulo se exponen los antecedentes más relevantes, tanto nacionales como internacionales, revisados en las distintas etapas del proyecto, así como las bases teóricas que respaldan su implementación y la definición de términos clave. Estos elementos resultan fundamentales para comprender el desarrollo y los resultados de la investigación.

2.2 Antecedentes del estudio

Existen diversas soluciones innovadoras, tanto a nivel nacional como internacional, que abordan distintos desafíos en el mantenimiento de equipos médicos. Muchas de estas iniciativas, incluyendo aquellas que integran realidad aumentada (AR), han demostrado un alto impacto y han superado las expectativas en la optimización de procesos y la reducción de errores técnicos.

2.2.1 Antecedentes Nacionales

2.2.1.1 Desarrollo de lentes con realidad aumentada para capacitar al personal nuevo en el mantenimiento de tableros eléctricos.

El estudio se centró en el diseño e implementación de un prototipo de lentes con realidad aumentada para instruir al nuevo personal en el mantenimiento de tableros eléctricos en subestaciones de distribución. El prototipo, diseñado e impreso en 3D con material ABS, integra un sistema electrónico que proyecta indicaciones en tiempo real y muestra magnitudes eléctricas mediante Bluetooth. Para evaluar su efectividad, se realizaron pruebas con seis técnicos electricistas, obteniendo una satisfacción del 93.72%. Se validaron los procedimientos de mantenimiento en distintas empresas y se

elaboró una matriz de Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y sus Controles (IPERC) para mejorar la seguridad laboral (Encinas Quea, 2020).

El análisis de costos determinó que la fabricación del prototipo ascendió a S/ 2,914.31, significativamente menor que los Google Glass (S/ 7,451.64). Se realizaron pruebas de funcionalidad, verificando el encendido, proyección de indicaciones y conexión con el multímetro, optimizando la seguridad y eficiencia del mantenimiento. El prototipo logró instruir eficazmente al personal, eliminando la necesidad de observar directamente algún instrumento durante las mediciones (Encinas Quea, 2020).

En conclusión, el presente antecedente demuestra que la aplicación de realidad aumentada es una solución viable, económica y eficaz para instruir al personal en diversas actividades, como el mantenimiento de tableros eléctricos en subestaciones.

2.2.1.2 Diseño e implementación de un sistema para información de productos basado en realidad aumentada

La tesis propone una solución informática basada en realidad aumentada (RA) para revolucionar el marketing digital en supermercados. A través de una aplicación móvil, los usuarios podrán obtener información instantánea sobre los productos simplemente apuntando la cámara del celular, accediendo a datos como contenido nutricional, beneficios para la salud, recetas y origen del producto. Además, la aplicación busca ofrecer la opción de pago directo desde el móvil mediante tarjetas prepago, puntos de fidelización o tarjetas de crédito/débito, evitando la necesidad de acudir a algún cajero. Esta solución busca promover el consumo de productos saludables y locales, facilitando su descubrimiento y adquisición a través de campañas de marketing digital y alianzas con el sector minorista (Palacios Estrada, 2021).

El desarrollo del sistema sigue la metodología ágil SCRUM y se enfoca en la plataforma Android. Se espera que esta tecnología incremente la oferta personalizada para los clientes, mejore la fluidez en la información de los productos y optimice la interacción entre consumidores y tiendas. La realidad aumentada permitirá una experiencia de compra más interactiva y eficiente, potenciando las ventas y fomentando hábitos de alimentación saludables. Además, el análisis de datos de los usuarios ayudará a recomendar productos adecuados para prevenir y combatir

enfermedades crónicas, aportando valor tanto al consumidor como al sector retail (Palacios Estrada, 2021).

En conclusión, el presente antecedente demuestra que el desarrollo de una aplicación móvil basada en realidad aumentada es una solución innovadora y viable que logra mejorar la experiencia del usuario, al proporcionar información instantánea e interactiva.

2.2.1.3 Aplicación de realidad aumentada en la capacidad espacial de estudiantes de ingeniería.

La investigación tuvo como objetivo desarrollar un modelo basado en realidad aumentada (RA) para mejorar la capacidad espacial en estudiantes de ingeniería a través de un curso 3D. Se utilizó un enfoque cuantitativo, método hipotético-deductivo y diseño cuasiexperimental, con una muestra de 38 estudiantes. Se aplicaron tres pruebas para evaluar la relación, orientación y visualización espacial, además del cuestionario motivacional ARCS para medir satisfacción y motivación. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en la capacidad espacial de los estudiantes del grupo experimental en comparación con el grupo de control. Se concluyó que la RA es una herramienta útil para fortalecer el aprendizaje, la comunicación y la motivación, facilitando la visualización de objetos tridimensionales en el ámbito educativo (Caballero Garriazo, 2023).

El estudio también destacó el uso de software como AutoCAD, SketchUp y Creator-Aumentathy, junto con dispositivos móviles, para implementar la RA en la enseñanza de dibujo técnico. Aunque se confirmó una relación significativa entre el modelado 3D de RA y la mejora en la visualización espacial y la rotación mental, no se halló la misma relación en otros aspectos. Se identificaron algunas limitaciones, como la inversión económica y el acceso a plataformas tecnológicas. A pesar de desarrollarse en un entorno 100% virtual, la investigación logró un 95% de confiabilidad en sus resultados, confirmando la eficacia de la RA como una estrategia innovadora en la educación de ingeniería (Caballero Garriazo, 2023).

En conclusión, el presente antecedente demuestra como un modelo de realidad aumentada logra ser una solución viable y potente para transformar la enseñanza, pues facilita la comprensión de conceptos complejos y promueve el autoaprendizaje.

2.2.1.4 Modelo de realidad aumentada que considere características cognitivas para aprendizaje de niños en edad escolar.

La investigación se centra en la aplicación de Realidad Aumentada (RA) e interacción gestual en educación, abordando la falta de modelos que guíen el diseño y desarrollo de herramientas tecnológicas para el aprendizaje. Se propone el modelo MARAGIC (Model for Augmented Reality Applications with Gestural Interface for Children), diseñado considerando las características cognitivas de niños en edad escolar. Para validar el modelo, se desarrollaron dos Recursos Educativos Digitales (RED) y se aplicaron en estudiantes de 3° grado de Educación General Básica (EGB) en Riobamba, Ecuador. A través de un enfoque cualitativo y cuantitativo, se midió la percepción de los docentes y el impacto en el rendimiento académico de los estudiantes antes y después del uso de los recursos. Los resultados muestran que MARAGIC mejora significativamente el aprendizaje en matemáticas, aumentando la motivación y la participación de los niños en clase (Lozado Yáñez, 2023).

La revisión bibliográfica permitió integrar conceptos del constructivismo y socio-constructivismo para diseñar un modelo que combina componentes técnicos, didácticos y psicopedagógicos. Se desarrollaron dos sistemas, KARMLS y SAM-RAK, que mejoraron la interacción y el desempeño de los estudiantes. El modelo MARAGIC se estructura en cuatro capas: interfaz, configuración, tiempo de ejecución y almacenamiento, cada una con funciones específicas para garantizar un aprendizaje efectivo. La validación mediante encuestas confirma que la RA y las interfaces gestuales pueden optimizar los procesos educativos, proporcionando una herramienta innovadora y efectiva para la enseñanza en la educación primaria (Lozado Yáñez, 2023).

En conclusión, el presente antecedente demuestra como la realidad aumentada potencia el rendimiento respecto al aprendizaje, incrementa la motivación y participación de las personas.

2.2.1.5 APP de entrenamiento en realidad aumentada para prevención de riesgos laborales.

Este plan de negocios propone la comercialización de una aplicación móvil de entrenamiento en realidad aumentada para la Prevención de Riesgos Laborales en Lima, enfocada en empresas del sector industrial de gran y mediana escala. La validación de la propuesta se realizó mediante entrevistas y encuestas a trabajadores, identificando una demanda significativa en el mercado. Se estableció una estrategia de marketing con un canal de distribución directo, combinando ventas propias y digitales. El objetivo es captar el 2.33% del mercado industrial y posicionar la APP como líder en capacitación en RA. La inversión inicial requerida es de S/. 63,936.00, financiada en un 70% con préstamo bancario y 30% con aporte de capital, con una proyección de VAN de S/. 750,111 y TIR del 50% (Valera Gómez, 2020).

El análisis del mercado señala que la Ley 29783 de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) exige cuatro capacitaciones anuales, lo que impulsa la demanda por soluciones innovadoras. La APP ofrece una alternativa digital, flexible y accesible, permitiendo entrenamientos repetibles sin costos adicionales y garantizando el cumplimiento normativo. Se identificó un mercado potencial de 2,834 empresas industriales, con una necesidad educativa aún no cubierta. Aunque el enfoque inicial es en grandes y medianas empresas, las pequeñas también podrían beneficiarse. En conclusión, esta APP representa una solución eficiente para la capacitación en SST, reduciendo costos y mejorando el aprendizaje en el sector industrial (Valera Gómez, 2020).

En conclusión, el presente antecedente muestra como una aplicación móvil de entrenamiento en realidad aumentada logra ser una solución innovadora, eficiente y económicamente viable, pues logra atender la creciente demanda de capacitación flexible y repetible del personal.

2.2.2 Casos de estudio internacionales

2.2.2.1 Aplicación de realidad aumentada para el apoyo en la enseñanza de equipos del laboratorio CNC.

Este proyecto surge de la necesidad de desarrollar material didáctico basado en Tecnologías de la Información para los equipos del laboratorio de máquinas CNC de la carrera de Mecánica en la Universidad Politécnica Salesiana. Se creó una aplicación de Realidad Aumentada utilizando Unity como entorno de desarrollo y EasyAR como kit de software, bajo el marco de trabajo Scrum. Como resultado, se obtuvo una aplicación móvil para Android que permite a estudiantes y docentes autenticarse y acceder a instrucciones en RA sobre el uso de las máquinas de fresado y torneado del laboratorio. Además, la aplicación es configurable y adaptable, lo que facilita la integración de nuevas instrucciones según las necesidades del usuario y el método de enseñanza aplicado (Jaramillo y Macas, 2020).

Se incluyó un módulo de evaluación que permite a los docentes crear preguntas para medir el progreso de los estudiantes, reforzando así el aprendizaje progresivo. Para mejorar la precisión del contenido en RA, se realizaron cálculos matemáticos para posicionar correctamente los elementos virtuales en el entorno real; sin embargo, persisten desafíos técnicos, como la conversión de coordenadas y factores externos como iluminación y movimiento. Asimismo, se evidenció la rápida evolución de la tecnología RA, ya que, durante el desarrollo del proyecto, EasyAR lanzó dos nuevas versiones con características avanzadas, reflejando el creciente interés y aplicaciones de esta tecnología (Jaramillo y Macas, 2020).

En conclusión, el presente antecedente demuestra como una aplicación móvil de realidad aumentada constituye una herramienta didáctica, innovadora, configurable y adaptable que facilita la enseñanza y el aprendizaje progresivo mediante instrucciones interactivas, lo cual lo convierte en una herramienta muy potente.

2.2.2.2 Aplicación de realidad aumentada para el mantenimiento de equipos industriales

Este proyecto busca desarrollar una aplicación de Realidad Aumentada para optimizar y agilizar los tiempos de mantenimiento en fábricas, combinando el entorno físico con elementos digitales para facilitar el trabajo de los operadores. La aplicación no solo cumple con los objetivos técnicos planteados, sino que también ofrece una base genérica para futuras aplicaciones en distintos ámbitos. La creciente adopción de esta tecnología sugiere que su implementación se expandirá, influyendo en dinámicas laborales y académicas al proporcionar soluciones accesibles y de bajo costo (Gracia Otálvaro, 2020).

Además de mejorar la eficiencia, la aplicación promueve la seguridad en entornos industriales y educativos, donde el uso inadecuado de maquinaria puede representar riesgos graves. Al guiar a los usuarios en procedimientos adecuados, se minimizan accidentes y se prolonga la vida útil de los equipos, lo que reduce costos operativos y el impacto ambiental. En instituciones educativas, donde los estudiantes manipulan equipos por primera vez, contar con herramientas de apoyo como esta es crucial para garantizar un aprendizaje seguro y eficiente (Gracia Otálvaro, 2020).

En conclusión, el presente antecedente demuestra como una aplicación de realidad aumentada logra optimizar los tiempos de mantenimiento en distintas fábricas, lo cual la convierte en una solución innovadora y eficiente, contribuyendo a un aprendizaje más seguro y una gestión más sostenible de los equipos.

2.2.2.3 Aplicación de realidad aumentada para el mantenimiento de equipos médicos.

El presente proyecto se enfoca en el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada (RA) para el mantenimiento de equipos médicos, específicamente una máquina de anestesia. Utilizando las plataformas de código abierto MindAR y Glitch, la aplicación busca optimizar las tareas de mantenimiento mediante el reconocimiento de imágenes y la visualización de modelos 3D. El proceso inicia con la carga de una imagen de referencia en MindAR, seguida de la integración de bibliotecas esenciales en Glitch, donde se programan las funciones de la aplicación, incluyendo la

vinculación con modelos 3D e imágenes de destino. Este enfoque ágil permite ajustes rápidos basados en el feedback del usuario, mejorando la eficiencia y precisión del mantenimiento, reduciendo errores y facilitando la ejecución de tareas complejas por parte de técnicos con menor experiencia (Garcés Moncayo, 2024).

El desarrollo de la aplicación incluyó la configuración de MindAR para cargar imágenes base, como un código QR vinculado a la guía de mantenimiento de la máquina de anestesia. En Glitch, se integraron las librerías necesarias y se cargó el modelo 3D del equipo, logrando una correcta proyección sobre la imagen de referencia. Las pruebas iniciales confirmaron un rendimiento estable, con una interacción fluida en diversas condiciones de uso. Como recomendaciones para futuras mejoras, se sugiere optimizar el algoritmo de reconocimiento de imágenes, ampliar la compatibilidad con distintos dispositivos y explorar tecnologías de realidad mixta para una experiencia más inmersiva. Este proyecto representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías emergentes en el mantenimiento médico, con potencial para ser escalado a otros ámbitos de la biomedicina (Garcés Moncayo, 2024).

En conclusión, el presente antecedente demuestra como las aplicaciones de realidad aumentada constituyen un avance innovador en la integración de tecnologías emergentes en el ámbito biomédico, logrando optimizar procesos, reducir errores y facilitar tareas complejas realizadas por personal con poca experiencia.

2.2.2.4 Sistemas de realidad virtual y realidad aumentada en pacientes con baja visión.

El avance de la tecnología en Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA) ha generado interés en su aplicación para la rehabilitación visual y el tratamiento de personas con baja visión. A través de una revisión bibliográfica de 16 estudios publicados entre 2017 y 2023, se identificaron diversos dispositivos de RV y RA con potencial para examinar y mejorar la visión funcional. Se halló que estas tecnologías permiten simular condiciones visuales patológicas, recrear escenarios cotidianos y establecer sistemas de evaluación o entrenamiento sistemáticos para pacientes con baja visión, contribuyendo a la maximización de la visión residual mediante el procesamiento de imágenes en tiempo real (Espinosa de la Rosa, 2023).

A pesar de los beneficios observados, la evidencia científica sobre la efectividad de la RA en rehabilitación visual aún es limitada, lo que resalta la necesidad de más estudios en este campo. Sin embargo, la adaptación de dispositivos patentados para otros usos hacia la baja visión podría generar diseños universales que faciliten la accesibilidad y normalización de estas herramientas. De este modo, la RA y la RV se perfilan como soluciones innovadoras con gran potencial para mejorar la calidad de vida de personas con discapacidad visual, ofreciendo alternativas más accesibles y eficientes en el ámbito de la rehabilitación visual (Espinosa de la Rosa, 2023).

En conclusión, el presente antecedente demuestra como las tecnologías de realidad aumentada o realidad virtual mejoran el entrenamiento del personal.

2.2.2.5 Optimización de procesos industriales mediante la aplicación de realidad aumentada.

A través de la metodología PRISMA, se realizó una revisión sistemática para evaluar el impacto de la realidad aumentada (RA) en la optimización de procesos industriales, destacándola como una tecnología clave en la Industria 4.0. Se analizaron 38 estudios publicados entre 2019 y 2024 en bases de datos como Scopus, SpringerLink, IEEEExplore y MDPI, considerando criterios de elegibilidad y el método Cochrane para minimizar sesgos. Los hallazgos indican que la RA reduce errores y tiempos de ejecución, mejora la eficiencia y productividad, y optimiza la capacitación y mantenimiento. Unity 3D es el motor gráfico más utilizado, mientras que las principales aplicaciones de RA se encuentran en mantenimiento, ensamblaje, capacitación e inspección. No obstante, su implementación enfrenta desafíos como la curva de aprendizaje, altos costos iniciales y limitaciones del hardware (Vallejo Pilataxi, 2024).

El análisis detallado reveló que la RA contribuye significativamente a la eficiencia operativa, logrando reducciones en tiempos de ejecución y errores, lo que se traduce en una mejor calidad del producto y ahorros en costos a largo plazo. HoloLens es el hardware más utilizado, mientras que Unity 3D destaca por su compatibilidad con SDKs como Vuforia y ARCore. Aunque su implementación requiere inversión y formación especializada, los beneficios observados demuestran su viabilidad para mejorar procesos industriales. Estos resultados proporcionan una base teórica sólida

que respalda el uso de RA como una herramienta eficaz para la optimización y modernización de la industria (Vallejo Pilataxi, 2024).

En conclusión, el presente antecedente demuestra como la realidad aumentada es una herramienta eficaz para optimizar procesos, reducir tiempos de ejecución y errores, además de mejorar la eficiencia operativa, pues facilita la capacitación del personal, lo cual lo convierte en una herramienta viable.

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Tecnologías digitales inmersivas

Esta tecnología es un pilar fundamental en la Industria 4.0. y representa una transformación profunda en la interacción de los usuarios con los entornos digitales, a través de interfaces que responden en tiempo real a múltiples acciones (Fuente et al., 2024).

Su crecimiento exponencial ha impulsado nuevas formas de interacción entre los usuarios y los contenidos digitales, combinando entornos reales y virtuales en experiencias altamente personalizadas e inmersivas (Fuente et al., 2024).

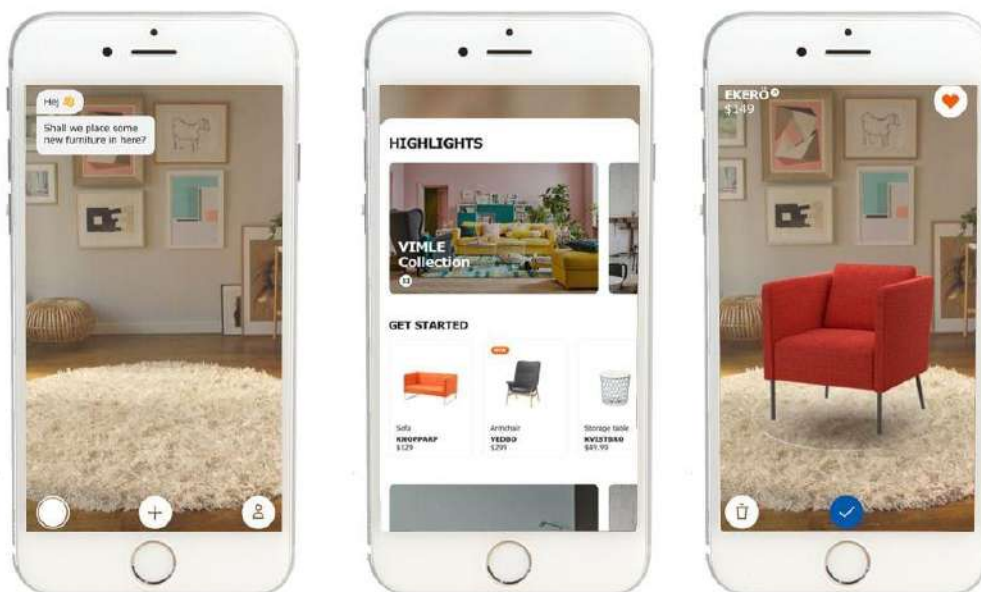
2.3.1.1 Realidad aumentada (AR)

La realidad aumentada es una tecnología que superpone elementos digitales (imágenes, sonidos, datos) a un entorno físico en tiempo real, enriqueciendo la percepción del mundo sin reemplazarlo completamente (Navarro et al., 2019).

Un ejemplo representativo es la aplicación IKEA Place (Figura 5), la cual permite a los usuarios, a través de la cámara de sus teléfonos inteligentes, visualizar muebles en sus hogares antes de comprarlos. Básicamente el usuario apunta su dispositivo móvil hacia un espacio de su hogar, la aplicación superpone, en tiempo real y tamaño real, un modelo 3D del mueble, el cual podrá ser manipulado a gusto del cliente (Navarro et al., 2019).

Figura 5.

Funcionalidad de la aplicación IKEA Place.



Nota. El gráfico ilustra un ejemplo de uso de la aplicación IKEA Place para la selección de muebles de hogar en base a una interacción con realidad aumentada (IKEA Place, 2025).

2.3.1.2 Realidad virtual (VR)

Tecnología que permite la creación de entornos completamente digitales que sustituyen la realidad física, proporcionando al usuario una experiencia inmersiva a través del uso de dispositivos como visores o cascos de VR (Tom et al., 2020).

Un ejemplo destacado de esta tecnología es el sistema Osso VR, un simulador quirúrgico diseñado para el entrenamiento de médicos y estudiantes en procedimientos quirúrgicos complejos. Este sistema emplea visores de realidad virtual y controladores que replican instrumental quirúrgico, permitiendo a los usuarios ingresar a un entorno virtual tridimensional donde pueden practicar intervenciones paso a paso (Tom et al., 2020).

Además, el sistema Osso VR mostrado en la figura 6, incorpora retroalimentación visual y háptica, así como herramientas de evaluación del desempeño y seguimiento del progreso, lo cual lo convierte en una plataforma efectiva para el aprendizaje médico en un entorno seguro y controlado (Tom et al., 2020).

Figura 6.

Funcionalidad de la herramienta Osso VR.



Nota. El gráfico ilustra la implementación del sistema Osso VR en un entorno de realidad virtual, utilizando un simulador quirúrgico (Osso VR, 2024).

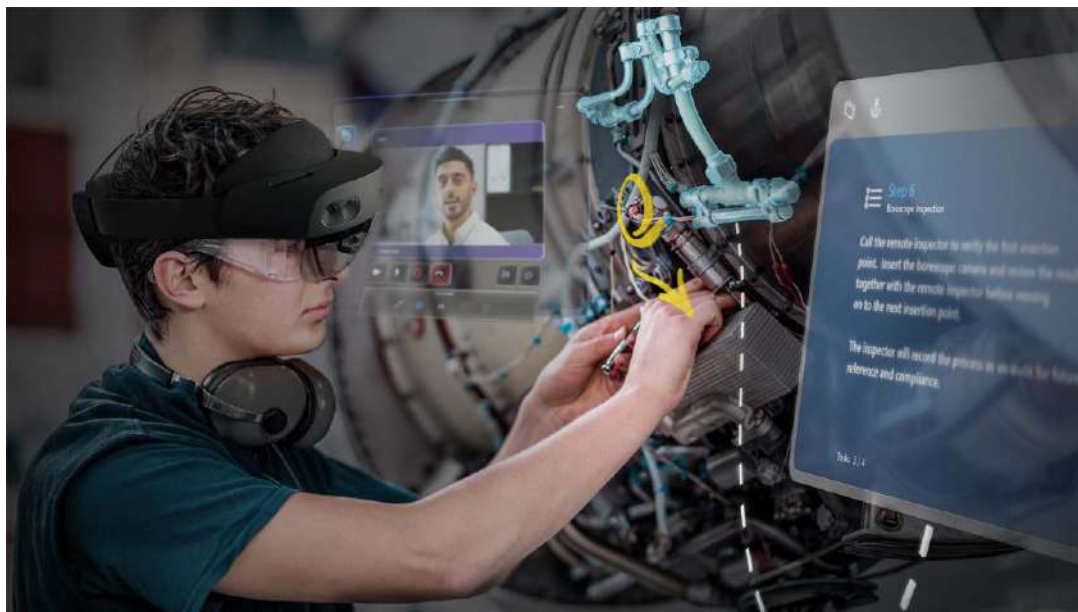
2.3.1.3 Realidad mixta (MR)

Tecnología que fusiona elementos de la realidad aumentada y la realidad virtual, permitiendo la interacción entre objetos físicos y digitales en tiempo real, integrando el mundo digital con el mundo real de manera coherente (Ruiz y Johnston, 2023)

Un ejemplo representativo de esta tecnología es el sistema Microsoft HoloLens 2 (Figura 7), aplicado en el ámbito del mantenimiento industrial y técnico de equipos. Este sistema consiste en un dispositivo de visualización de realidad mixta que permite a técnicos y operarios proyectar, sobre su campo de visión, hologramas interactivos como instrucciones, diagramas en 3D y elementos de apoyo visual, mientras trabajan directamente sobre maquinaria real (Ruiz y Johnston, 2023).

Figura 7.

Funcionalidad de las gafas Microsoft HoloLens.



Nota. El gráfico ilustra la implementación del sistema Microsoft HoloLens 2 en el ámbito de mantenimiento industrial y técnico de equipos (Microsoft, 2025).

2.3.2 Unity Engine

Unity Engine es un motor de desarrollo de videojuegos multiplataforma, lanzado en el año 2005 y desde entonces se ha consolidado como una de las herramientas más utilizadas y versátiles en la industria del desarrollo interactivo. Su principal fortaleza radica en su flexibilidad para crear experiencias en 2D y 3D, así como la capacidad de exportar proyectos a múltiples plataformas (Essam, 2024).

Una de sus características más destacadas es su arquitectura basada en objetos y componentes, lo que facilita la organización, modularización y reutilización de código, promoviendo un desarrollo más eficiente y escalable. Además, ofrece soporte para el lenguaje de programación C# y un entorno de desarrollo virtual intuitivo, lo que lo convierte en una herramienta ideal para todo tipo de desarrolladores y equipos profesionales (Essam, 2024).

2.3.2.1 Arquitectura de Unity

Unity Engine posee una estructura modular y orientada a componentes que permite una gestión eficiente del desarrollo, brindando flexibilidad y escalabilidad. Entre sus elementos principales se destacan los siguientes (Unity Technology, 2024b).

2.3.2.2 Editor de Unity

Interfaz visual principal del entorno, donde el desarrollador puede diseñar escenas, administrar activos, configurar propiedades y acceder a herramientas de depuración, simulación y construcción de proyectos (Unity Technology, 2024).

2.3.2.3 GameObjects

Representan los elementos fundamentales dentro de una escena. Cada GameObject actúa como un contenedor al que se pueden agregar componentes que definen su comportamiento, pueden representar entidades tan diversas como personajes, luces, cámaras, objetos del entorno, entre otros (Unity Technology, 2024).

2.3.2.4 Componentes

Unidades funcionales que definen el comportamiento y las características de un GameObject. Estos incluyen sistemas de renderizado, físicas, scripts personalizados, animaciones y más (Unity Technology, 2024).

2.3.2.5 Sistema de física y animación

Unity incorpora el motor de físicas NVIDIA PhysX, lo que permite simular comportamientos realistas en cuanto a colisiones, fuerzas y dinámicas. También incluye herramientas como Animator Controller, que permite gestionar animaciones complejas a través de máquinas de estados y transiciones (Unity Technology, 2024).

2.3.2.6 Sistema de paquetes

A través de Unity Package Manager, los desarrolladores pueden integrar fácilmente módulos adicionales que extienden la funcionalidad del motor, tales como bibliotecas para realidad aumentada, realidad virtual o mixta, herramientas de análisis, inteligencia artificial, entre otros (Unity Technology, 2024).

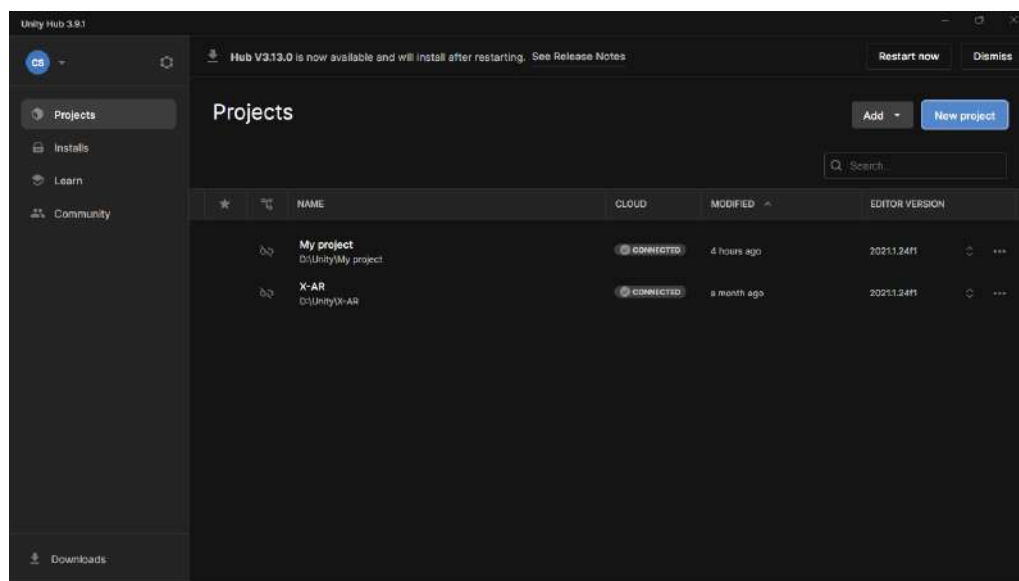
2.3.3 Unity Hub

Es la aplicación oficial desarrollada por Unity Technologies para facilitar la gestión centralizada del entorno de desarrollo Unity. Tiene como principal objetivo facilitar la instalación, organización y gestión de múltiples versiones del motor Unity (Unity Technology, 2024).

Esta herramienta resulta especialmente relevante en contextos donde se requiere trabajar con diferentes versiones del motor, ya sea por necesidades de compatibilidad con proyectos existentes o por las particularidades de distintos entornos de producción y prueba (Figura 8). En este sentido, constituye un recurso esencial para desarrolladores profesionales y equipos multidisciplinares que manejan flujos de trabajo complejo (Doran, 2023).

Figura 8.

Entorno principal de Unity Hub.



Nota. El gráfico ilustra la sección de proyectos en la plataforma Unity Hub, donde se tienen dos proyectos, de ejemplo, creados: My Project y X-AR. Fuente: Autoría propia.

2.3.3.1 Funciones principales

Unity Hub proporciona una serie de funcionalidad clave que optimizan el flujo de trabajo, entre las principales se tiene:

2.3.3.2 Gestión de proyectos

Permite crear, abrir, renombrar, mover o eliminar proyectos desde un panel centralizado. Cada proyecto se asocia con una versión específica del motor Unity, lo que asegura la compatibilidad y el correcto funcionamiento del entorno de desarrollo (Linowes, 2021).

2.3.3.3 Instalación y administración de versiones

Facilita la instalación, actualización o eliminación de distintas versiones del motor Unity, así como la incorporación o eliminación de módulos de compilación específicos para diferentes plataformas (por ejemplo, Android, iOS, WebGL, entre otros), de acuerdo con las necesidades del proyecto (Linowes, 2021).

2.3.3.4 Configuración del entorno de desarrollo

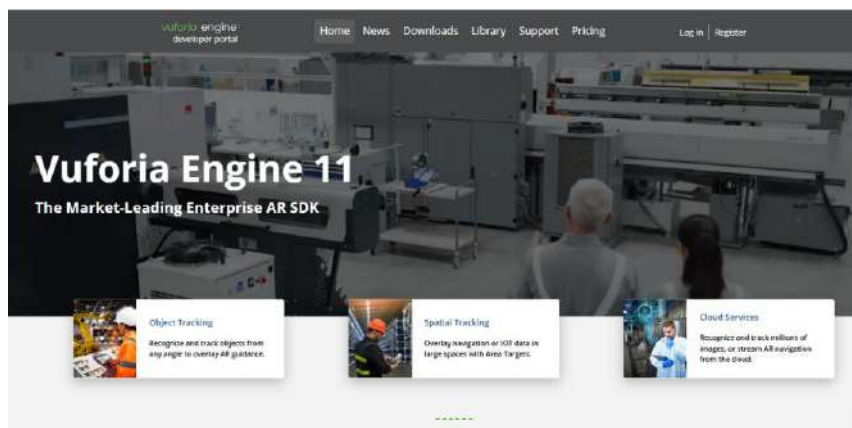
Permite establecer preferencias globales, tales como las rutas de instalación, la selección de editores de código externos (como Visual Studio), el uso de proxies de red y ajustes relacionados con la interfaz de usuario. Estas opciones contribuyen a personalizar y optimizar el entorno según los requerimientos técnicos del usuario o del equipo de desarrollo (Linowes, 2021).

2.3.4 Vuforia Engine

En la figura 9 se muestra Vuforia Engine, una de las plataformas más ampliamente utilizadas para el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada (AR), destacando por su amplia compatibilidad con teléfonos inteligentes, tabletas y dispositivos de visualización como gafas inteligentes. Se trata de un kit de desarrollo de software (SDK) originalmente desarrollado por Qualcomm, diseñado para ofrecer capacidades avanzadas de reconocimiento y seguimiento de imágenes, objetos tridimensionales, texto y secuencias de vídeo (Vuforia Engine, 2025).

Figura 9.

Entorno para desarrolladores de Vuforia Engine.



Nota. El gráfico ilustra el entorno para desarrolladores de la plataforma Vuforia Engine 11 y en la parte superior todos los apartados que tiene la página web oficial. Fuente: (Vuforia Engine, 2025).

Una de sus principales ventajas es su integración nativa con Unity, lo que facilita el diseño de experiencias de realidad aumentada sin requerir conocimientos especializados en visión por computadora o gráficos tridimensionales. Esta interoperabilidad ha convertido a Vuforia en una herramienta accesible y poderosa tanto para desarrolladores principiantes como para profesionales del sector.

El motor de Vuforia emplea algoritmos de reconocimiento de patrones que se basan en la detección de características naturales, tales como bordes, esquinas y variaciones de contraste en las imágenes. Estas características se comparan con una base de datos previamente configurada por el desarrollador, lo que permite identificar y rastrear en tiempo real los objetos de interés en el entorno físico. Esta capacidad de seguimiento preciso es esencial para lograr una integración coherente y estable entre los elementos virtuales y el mundo real (Vuforia Engine, 2025).

2.3.4.1 Tipos de Targets en Vuforia – Imágenes y objetos

Vuforia Engine proporciona distintos tipos de targets, los cuales son elementos de referencia visual que permiten la detección y seguimiento de imágenes u objetos físicos en tiempo real. Estos targets son fundamentales para establecer el punto de anclaje entre el contenido digital y el mundo físico en aplicaciones de realidad aumentada.

A continuación, se describen los principales tipos de targets:

2.3.4.1.1 *Image Target*

Los Image Target (Figura 10) son imágenes bidimensionales que Vuforia puede detectar y rastrear de manera precisa. Se utilizan frecuentemente en aplicaciones de realidad aumentada basadas en medios impresos, como libros, revistas, tarjetas o empaques de productos.

Un caso común es su uso en campañas de marketing, videojuegos interactivos o visualizaciones educativas y publicitarias.

Figura 10.

Aplicación de Image Target.



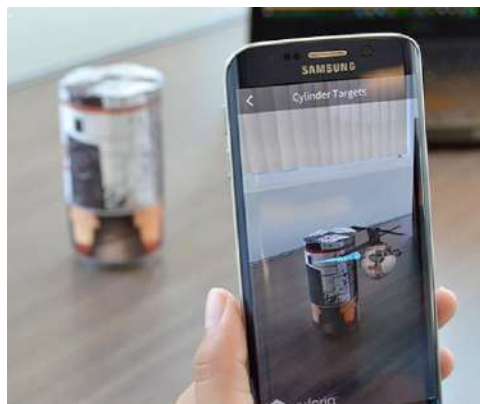
Nota. El gráfico ilustra el uso de la aplicación de Image Target para una campaña de marketing que abarca una visualización interactiva de un par de zapatillas. Fuente: (Vuforia Engine, 2025).

2.3.4.1.2 *Cylinder Targets*

Los Cylinder Targets (Figura 11) permiten el reconocimiento de imágenes impresas que se encuentran envueltas alrededor de objetos con geometría cilíndrica o cónica, como latas, botellas, tazas, entre otros.

Figura 11.

Aplicación de Cylinder Target.



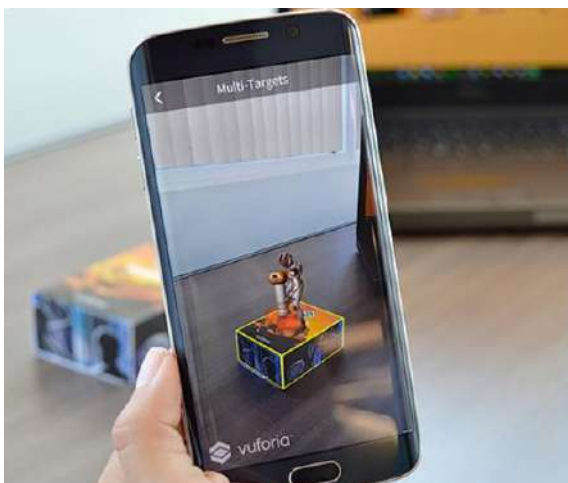
Nota. El gráfico ilustra el uso de la aplicación de Cylinder Target, donde las etiquetas físicas sirven como disparadores de contenido para realidad aumentada. Fuente: (Vuforia Engine, 2025).

2.3.4.1.3 Multi Targets

Los Multi Targets (Figura 12) son conjuntos de múltiples Image Targets organizados en una disposición geométrica tridimensional, como las caras de una caja. Esta configuración permite el seguimiento del objeto desde diferentes ángulos, lo que resulta bastante útil para representar estructuras físicas complejas o envolveres.

Figura 12.

Aplicación de Multi Targets.



Nota. El gráfico ilustra el uso de la aplicación de Multi Targets, el cual agrupa diversos Image Targets para distintas interacciones de realidad aumentada. Fuente: (Vuforia Engine, 2025).

2.3.4.1.4 *Model Targets*

Los Model Targets (Figura 13) permiten la detección y seguimiento de objetos reales mediante el reconocimiento de su forma tridimensional. No requiere imágenes impresas, pues se basa en un modelo 3D del objeto.

Figura 13.

Aplicación de Model Targets.



Nota. El gráfico ilustra el uso de la aplicación de Model Target en el sector de la industria automotriz, donde se aplica realidad aumentada a las distintas partes de un vehículo. Fuente: (Vuforia Engine, 2025).

2.3.4.1.5 *Cloud Image Recognition*

Es un servicio de reconocimiento de imágenes basado en la nube (Figura 14) que permite a las aplicaciones identificar y rastrear millones de imágenes sin necesidad de un almacenamiento local.

Este enfoque es especialmente útil para aplicaciones que requieren una base de datos extensa y dinámica, como catálogos interactivos o plataformas de comercio virtual.

Figura 14.

Aplicación de Cloud Image Recognition.



Nota. El gráfico ilustra dos barras de progreso correspondientes al uso mensual del servicio Cloud Image Recognition, indicando la cantidad de recomendaciones procesadas frente al umbral contratado, entre otras características. Fuente: (Vuforia Engine, 2025).

2.3.4.1.6 *Barcode Scanner*

Vuforia Engine incluye una funcionalidad para detectar y leer códigos de barras 1D y 2D (Figura 15), incluyendo códigos QR a través de dispositivos móviles, lo cual amplía el espectro de interacción con productos y sistemas de inventario a través de dispositivos móviles.

Figura 15.

Aplicación de Barcode Scanner.



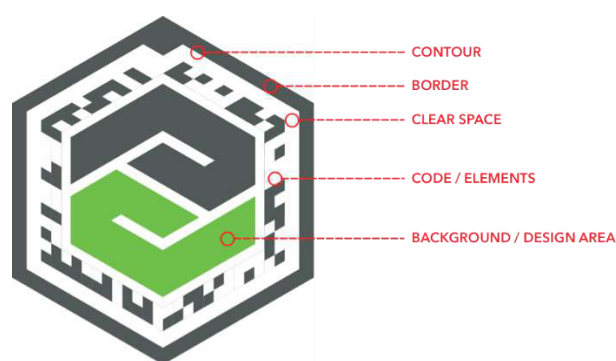
Nota. El gráfico ilustra la aplicación Barcode Scanner en funcionamiento, realizando la lectura de un código de barras ubicado en la parte trasera de un CPU. Fuente: (Vuforia Engine, 2025).

2.3.4.2 VuMarks

Los VuMarks (Figura 16) son marcadores visuales personalizables que combinan las propiedades funcionales de los códigos QR con un diseño gráfico adaptable. Permiten codificar datos y, al mismo tiempo, mantener una identidad visual única, lo que los convierte en una solución eficaz para marcas que desean incorporar AR sin comprometer el diseño de sus productos.

Figura 16.

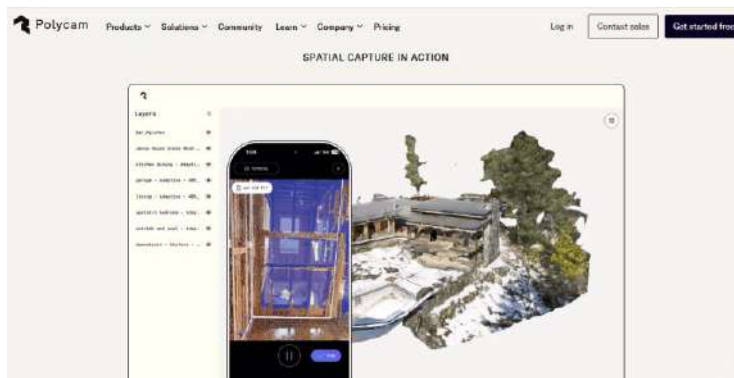
Principales partes de un VuMark.



Nota. El gráfico ilustra un VuMark, utilizado como marcador visual que incluye el contorno, bordes, espacios en blanco, elementos internos y fondo de una figura. Fuente: (Vuforia Engine, 2025).

2.3.5 Polycam – generación de modelos 3D

Polycam es una aplicación de escaneo tridimensional que combina tecnologías de LiDAR y fotogrametría para convertir objetos y espacios del mundo real en modelos digitales detallados. Está disponible en plataformas iOS, Android y web, lo que permite a los usuarios capturar, editar y compartir modelos 3D de manera eficiente como se muestra en la figura siguiente (Polycam, 2025).

Figura 17.*Ejemplo de aplicación de Polycam*

Nota. El gráfico ilustra el proceso de escaneo 3D con Polycam de una casa situada en un entorno natural boscoso. La aplicación permite capturar y reconstruir de forma tridimensional tanto la estructura de la vivienda como su contexto ambiental. Fuente: (Polycam, 2025).

2.3.5.1 Características principales

2.3.5.1.1 Captura 3D precisa

Polycam permite la creación de modelos tridimensionales de alta calidad mediante la captura de imágenes desde múltiples ángulos. Utiliza algoritmos avanzados para generar modelos detallados a partir de fotografías, sin necesidad de hardware especializado (Polycam, 2025)

2.3.5.1.2 Compatibilidad multiplataforma

La aplicación es compatible con dispositivos iOS y Android, además de navegadores web, facilitando el acceso y la edición de modelos desde diferentes dispositivos (Polycam, 2025).

2.3.5.1.3 Herramientas de edición integradas

Polycam ofrece herramientas para editar y anotar modelos 3D directamente dentro de la aplicación, permitiendo ajustes precisos y personalizados (Polycam, 2025).

2.3.5.1.4 Exportación en múltiples formatos

Los modelos generados pueden exportarse en diversos formatos compatibles con software de diseño y modelado, como Blender, SketchUp, entre otros (Polycam, 2025).

2.3.5.1.5 *Aplicaciones profesionales*

Polycam es utilizado en campos como la arquitectura, el diseño de interiores, la ingeniería y la construcción, proporcionando una solución eficiente para la documentación y visualización de espacios y objetos (Polycam, 2025).

2.3.5.2 Modos de captura

2.3.5.2.1 *Tecnologías LIDAR*

LiDAR (Light Detection and Ranging) es una tecnología de detección remota que utiliza pulsos de luz láser emitidos desde un sensor para medir con precisión la distancia entre este y los objetos circundantes. Al capturar el tiempo que tarda el pulso en reflejarse, el sistema genera un mapa tridimensional detallado del entorno en tiempo real (Polycam, 2025).

En el modo LiDAR de Polycam, esta tecnología se implementa utilizando los sensores integrados en dispositivos Apple compatibles, como los modelos iPhone Pro y iPad Pro a partir del iPhone 12 Pro. Este modo permite escanear rápidamente espacios interiores y exteriores, generando representaciones 3D precisas en cuestión de segundos. Debido a su velocidad y facilidad de uso, es ideal para documentar habitaciones, edificios, áreas de terreno u otros entornos sin necesidad de un postprocesamiento complejo (Vacca, 2023).

2.3.5.2.2 *Fotogrametría*

La fotogrametría es una técnica que consiste en capturar múltiples imágenes de un objeto o espacio desde diferentes ángulos utilizando cámaras convencionales. Estas imágenes se procesan mediante software especializado, que reconstruye un modelo tridimensional detallado basándose en las diferencias de perspectiva entre las fotografías (Polycam, 2025).

Polycam emplea esta técnica en su modo Object, permitiendo a los usuarios generar modelos 3D de alta resolución a partir de secuencias fotográficas. Aunque este proceso requiere una mayor capacidad de cómputo y tiempo de procesamiento en comparación con LiDAR, ofrece una precisión superior en la reproducción de texturas, formas y

detalles, siendo particularmente útil para capturar objetos pequeños, artefactos, esculturas o productos industriales (Polycam, 2025).

2.3.6 Fundamentos de física

2.3.6.1 El átomo y núcleo atómico

El átomo es la unidad estructural básica de la materia, y representa la porción más pequeña que conserva las propiedades químicas de un elemento. Está compuesto principalmente por un núcleo central y una nube de electrones que orbitan a su alrededor (Serway y Vuille, 2023).

El núcleo atómico es una región extremadamente densa y pequeña situada en el centro del átomo, en la cual se concentra prácticamente toda la masa del mismo. Está formado por protones, que tienen carga eléctrica positiva, y neutrones, que no poseen carga eléctrica. La cantidad de protones en el núcleo determina la identidad química del átomo y se conoce como número atómico (Serway y Vuille, 2023).

Alrededor del núcleo se encuentran los electrones, partículas con carga eléctrica negativa. Estos se distribuyen en diferentes niveles o capas de energía y se mantienen en movimiento debido a la atracción electrostática con los protones del núcleo. Aunque su masa es mucho menor que la de protones y neutrones, los electrones juegan un papel fundamental en los procesos químicos y en la interacción de los átomos entre sí (Serway y Vuille, 2023).

2.3.6.2 La onda

La onda es una perturbación que se propaga a través de un medio o del espacio, transportando energía sin que exista un desplazamiento neto de materia. Las ondas pueden clasificarse en mecánicas, como las ondas acústicas, que requieren un medio material (sólido, líquido o gaseoso) para propagarse, y en ondas electromagnéticas, que no necesitan un medio y pueden viajar a través del vacío (Awasthi y Shukla, 2024).

2.3.6.2.1 Las ondas electromagnéticas

Están compuestas por campos eléctricos y magnéticos oscilando de forma perpendicular entre sí y respecto a la dirección de propagación. Sus principales características son (Awasthi y Shukla, 2024):

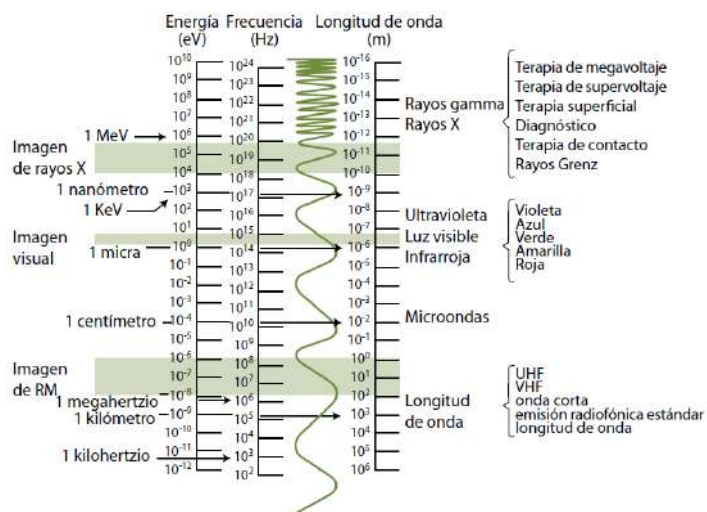
- **Longitud de onda (λ):** distancia entre dos máximos (o mínimos) consecutivos de la onda (Awasthi y Shukla, 2024).
- **Frecuencia (f):** número de oscilaciones completas que ocurren por segundo, medida en hertz (Hz) (Awasthi y Shukla, 2024)
- **Energía (E):** se relaciona directamente con la frecuencia e inversamente con la longitud de onda (Awasthi y Shukla, 2024).

2.3.6.2.2 El espectro electromagnético

Hace referencia al rango completo de todas las posibles frecuencias o longitudes de onda de las ondas electromagnéticas. En la figura 18 se representa el espectro electromagnético (Brosed Serreta, n.d.).

Figura 18.

Representación del espectro electromagnético.



Nota. El gráfico ilustra la distribución de la energía, frecuencia y longitud de onda a lo largo del espectro electromagnético, incluyendo las bandas de microondas, infrarrojo, luz visible, ultravioleta, rayos x y rayos gamma. Fuente: (Brosed Serreta, n.d.).

2.3.6.3 Ionización y excitación

La ionización es un proceso fundamental mediante el cual una radiación ionizante, como los rayos x, transfiere suficiente energía a un electrón de un átomo para expulsarlo de su órbita, dejando al átomo con una carga neta positiva. Esta interacción da lugar a la emisión de rayos X característicos, producto de la reordenación de los electrones restantes para llenar el vacío dejado por el electrón expulsado. La ionización es responsable de una gran parte de los efectos biológicos y físicos de la radiación, ya que puede alterar la estructura molecular de las células (Awasthi y Shukla, 2024).

Por otro lado, la excitación ocurre cuando un electrón dentro de un átomo absorbe una cantidad determinada de energía y salta a un nivel de energía superior sin abandonar el átomo. Aunque este proceso no implica la pérdida del electrón, también puede desencadenar efectos biológicos relevantes, especialmente cuando los electrones excitados regresan a su estado original liberando energía. Ambos procesos — ionización y excitación— son mecanismos clave a través de los cuales los rayos X pueden generar alteraciones en los sistemas biológicos (Awasthi y Shukla, 2024).

2.3.6.4 2.4. Interacción de los rayos x con la materia

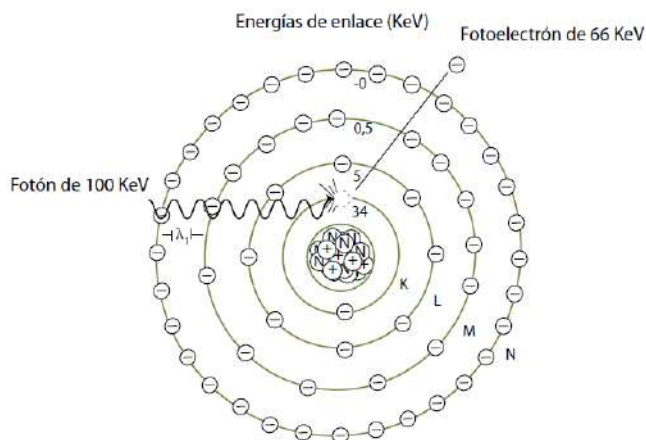
2.3.6.4.1 *Efecto fotoeléctrico: Absorción.*

El efecto fotoeléctrico ocurre cuando un fotón incidente transfiere toda su energía a un electrón de una capa interna del átomo (como la capa K o L), provocando su expulsión. La energía cinética del electrón eyectado corresponde a la diferencia entre la energía del fotón y la energía de enlace del electrón. Como resultado, el fotón desaparece completamente en un proceso de absorción pura (Brosed Serreta, n.d.; Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2024).

Posteriormente, la vacante dejada por el electrón es ocupada por otro proveniente de una capa más externa, lo que genera la emisión de un fotón de energía característica con dirección aleatoria (Figura 19), que usualmente no coincide con la trayectoria original del fotón incidente. Este proceso implica la pérdida de un fotón del haz, el cual ya no contribuirá a la formación de la imagen (Brosed Serreta, n.d.; Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2024).

Figura 19.

Representación de la absorción fotoeléctrica.



Nota. El gráfico representa el proceso de absorción fotoeléctrica, en el cual un fotón de 100 KeV transfiere su energía a un electrón ligado al átomo, provocando la emisión de un fotón de energía características con dirección aleatoria. Fuente: (Brosed Serreta, n.d.).

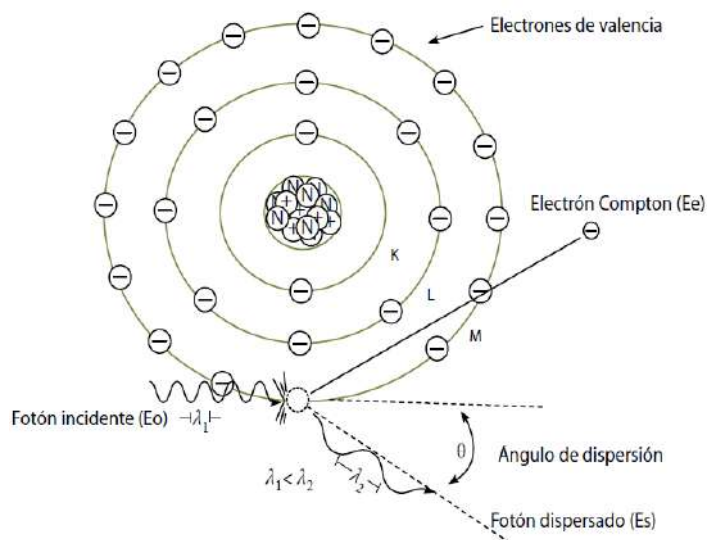
2.3.6.4.2 Efecto Compton: Absorción y dispersión

La dispersión Compton, también conocida como dispersión inelástica, ocurre principalmente cuando la energía del fotón incidente es considerablemente mayor que la energía de enlace del electrón con el que interactúa. En este proceso, el fotón no es absorbido, sino que cambia de dirección y pierde parte de su energía, siendo esta pérdida mayor cuanto mayor sea el ángulo de dispersión (Brosed Serreta, n.d.; Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2024).

En la figura 20 se ilustra la dispersión Compton, la cual representa una fuente significativa de radiación dispersa, que puede alcanzar el detector sin una relación directa con las estructuras atravesadas, generando así ruido y disminución del contraste en la imagen. Este efecto se vuelve más predominante que el efecto fotoeléctrico a medida que aumenta la energía de los rayos x y dificulta la diferenciación entre distintos tejidos biológicos cuando se emplean energías más elevadas (Brosed Serreta, n.d.; Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2024).

Figura 20.

Representación de la dispersión Compton.



Nota. El gráfico ilustra el proceso de dispersión Compton, en el que un fotón incidente cede parte de su energía a un electrón débilmente ligado, que es expulsado, mientras que el fotón dispersado se propaga con menor energía y en una dirección distinta. Fuente: (Brosed Serreta, n.d.).

2.3.6.5 Magnitudes y unidades radiológicas

2.3.6.5.1 Carga eléctrica - Coulomb (C).

La carga eléctrica es una propiedad física fundamental de la materia, responsable de las interacciones electromagnéticas. Se manifiesta mediante fuerzas de atracción o repulsión entre partículas cargadas, y su unidad de medida en el Sistema Internacional es el coulomb (C). Un ejemplo representativo es la carga eléctrica del electrón, que se muestra a continuación (Sánchez, 2024):

$$q_e = -1.602 \times 10^{-19} \text{C}$$

2.3.6.5.2 Corriente eléctrica - Amperio (A).

La corriente eléctrica se define como el flujo ordenado de cargas eléctricas a través de un conductor o, en ciertos casos, a través del vacío. Representa un fenómeno

fundamental en el funcionamiento de los circuitos eléctricos, ya que permite la transferencia de energía entre sus distintos componentes. Su magnitud se mide en amperios (A) y se basa en la siguiente relación (Sánchez, 2024):

$$1 \text{ Amperio} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Segundo}}$$

2.3.6.5.3 *Potencial eléctrico - Voltio (V).*

El potencial eléctrico es una magnitud escalar que representa la energía por unidad de carga necesaria para trasladar una carga eléctrica dentro de un campo eléctrico. Se expresa en voltios (V) y desempeña un papel esencial en la determinación de la dirección y magnitud del flujo de cargas eléctricas a través de un conductor o incluso en el vacío. Esta diferencia de potencial se representa de la siguiente forma (Sánchez, 2024):

$$1 \text{ Voltio} = \frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ Amperio} \times 1 \text{ Segundo}}$$

2.3.6.5.4 *Electronvoltio (eV)*

El electrón-voltio (eV) es una unidad de energía que corresponde a la energía cinética adquirida por un electrón cuando es acelerado por una diferencia de potencial eléctrico de 1 voltio. En el ámbito de la radiología, la energía de los rayos x se expresa comúnmente en kilo-electrón-voltios (keV). Esta unidad permite describir de manera precisa la energía asociada a fotones individuales en procesos electromagnéticos (Sánchez, 2024):

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ Joule}$$

2.3.6.5.5 *Magnitudes y unidades radiológicas.*

El reconocimiento de los efectos nocivos de las radiaciones marcó el inicio del interés científico por su medición y cuantificación. Como respuesta a esta necesidad, en 1925 se fundó en Londres la Comisión Internacional de Unidades y Mediciones de Radiación (ICRU, por sus siglas en inglés), con el objetivo de establecer estándares precisos para la evaluación de la radiación (Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2024).

Posteriormente, en 1928, se creó en Estocolmo la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), dedicada a desarrollar recomendaciones y principios para la protección de las personas y el medio ambiente frente a los efectos de la radiación ionizante (Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2024).

2.3.6.5.6 *Exposición*

La exposición es una magnitud física que cuantifica la capacidad de la radiación electromagnética, para ionizar las moléculas de aire. Se define como la cantidad de carga eléctrica liberada por los iones producidos en un volumen determinado de aire, dividida por la masa de ese volumen. Su unidad en el Sistema Internacional es el coulomb por kilogramo (C/kg), mientras que su unidad tradicional es el roentgen (R) y su representación es la siguiente (Sánchez, 2024):

$$X = \frac{Q}{m}, R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

Donde:

- X: es la exposición.
- Q: carga total de iones de un solo signo producidos en el aire.
- m: masa del aire (kg).

2.3.6.5.7 *Dosis absorbida*

Cuando la radiación interactúa con un material u organismo, una parte de su energía es transferida y absorbida por dicho medio. Esta cantidad de energía absorbida por

unidad de masa recibe el nombre de dosis absorbida y se expresa en grays (Gy) (Sánchez, 2024).

Esta medida permite evaluar el efecto físico de la radiación sobre la materia, siendo especialmente relevante en aplicaciones médicas y de protección radiológica. La relación matemática se expresa como (Sánchez, 2024).

$$D = \frac{E}{m}$$

Donde:

- D: dosis absorbida (Gy).
- E: energía absorbida (J).
- m: masa del material irradiado (kg)

2.3.6.5.8 *Dosis equivalente*

La dosis equivalente en un órgano o tejido es una magnitud que tiene en cuenta no solo la cantidad de energía absorbida, sino también el tipo y las características biológicas de la radiación incidente. Se calcula como el producto de la dosis absorbida y un factor de ponderación radiobiológica específico para cada tipo de radiación, el cual refleja su capacidad relativa para causar daño biológico. Esta magnitud se expresa en sieverts (Sv) (Sánchez, 2024).

$$H_T = D_T \times w_R$$

Donde:

- H_T : dosis equivalente en el tejido u órgano T.
- D_T : dosis absorbida en dicho tejido u órgano T.
- w_R : factor de ponderación de radiación.

Tabla 1

Factores de ponderación para distintos tipos de radiación.

Tipo de radiación	Factor de ponderación
Fotones de todas las energías	1
Electrones y muones de todas las energías	1
Neutrones con energía menor a 10 keV	5
Neutrones con energía entre 10 keV y 100 keV	10
Neutrones con energía entre 100 keV y 2 MeV	20
Neutrones con energía entre 2 MeV y 20 MeV	10
Neutrones con energía mayores a 20 MeV	5
Protones con energía mayor a 2 MeV	5
Partículas alfa, fragmentos de fisión y núcleos pesados	20

Nota. Esta tabla muestra los distintos factores de ponderación en base a los tipos de radiación. Donde los fotones, electrones y muones tienen el factor más bajo, mientras que los neutrones con energía entre 100KeV y 2MeV, las partículas alfa, fragmentos de fisión y núcleos pesados tienen el factor más alto.

2.3.6.5.9 *Dosis efectiva*

La dosis efectiva es una magnitud dosimétrica que permite estimar el riesgo biológico total asociado a la exposición de radiación ionizante, considerando tanto la cantidad de energía absorbida como la sensibilidad específica de los distintos órganos y tejidos del cuerpo humano. Se expresa en sieverts (Sv) y se calcula mediante la siguiente fórmula (Sánchez, 2024).

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T$$

Donde:

- E: dosis efectiva.
- w_T : factor de ponderación de tisular para el órgano o tejido T.

- H_T : dosis equivalente recibida por el órgano o tejido T.

Tabla 2

Factores de ponderación de los órganos y tejidos en el ser humano.

Tejido u órgano	Factor de ponderación
Gónadas	0.2
Médula ósea	0.12
Colon	0.12
Pulmón	0.12
Estómago	0.12
Vejiga	0.05
Mamas	0.05
Hígado	0.05
Esófago	0.05
Tiroides	0.05
Piel	0.01
Superficie ósea	0.01
Resto del cuerpo	0.05

Nota. Esta tabla muestra los distintos factores de ponderación en base a los órganos y tejidos en el ser humano. Donde la piel y la superficie ósea tienen el factor más bajo, mientras que las gónadas tienen el factor más alto.

2.3.6.6 Rayos x

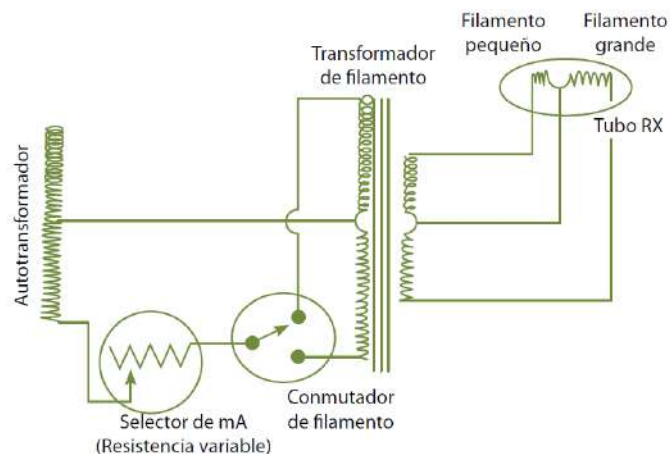
Los rayos x son radiaciones electromagnéticas de alta energía (fotones) generadas por la interacción de electrones emitidos desde un filamento incandescente, los cuales son acelerados mediante un campo eléctrico hasta colisionar con un blanco metálico. Esta interacción da lugar a la producción de rayos x, la cual posee capacidad ionizante y puede inducir efectos como el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton al interactuar con la materia (Brosed Serreta, n.d.).

La generación de rayos x se realiza mediante dos circuitos eléctricos. El primero, denominado circuito de alto voltaje (Figura 21), establece una diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo, creando un arco eléctrico que permite la aceleración de los electrones hacia el blanco. El segundo circuito, de bajo voltaje (Figura 22), suministra corriente al filamento del cátodo, provocando su calentamiento y, con ello, la emisión

de electrones por efecto termoiónico. Esta combinación de procesos permite la producción controlada de rayos X en los tubos radiológicos (Brosed Serreta, n.d.).

Figura 21.

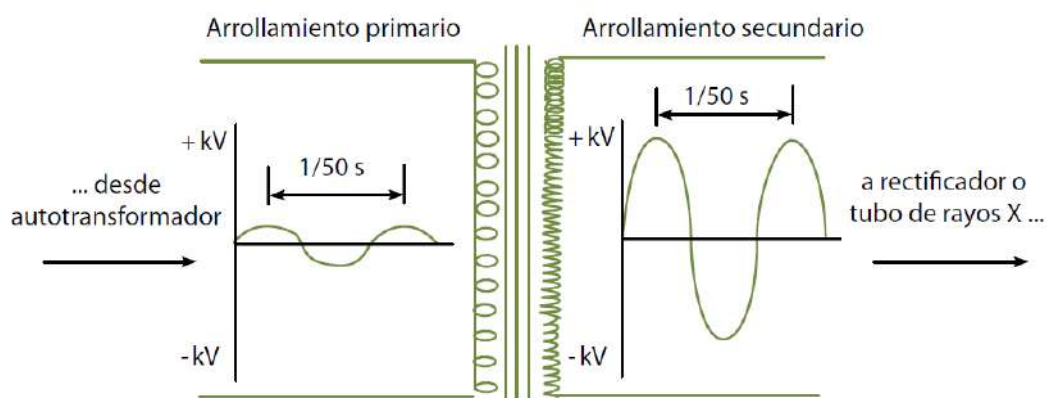
Esquema del circuito de filamento.



Nota. El gráfico ilustra el circuito de filamento de un tubo de rayos x, que empieza desde el autotransformador, pasa por un selector de mA y conmutador de filamento para llegar al transformador de filamento y finalmente al filamento pequeño o filamento grande. Fuente: (Brosed Serreta, n.d.).

Figura 22.

Esquema del transformador de alta tensión.



Nota. El gráfico ilustra el esquema de un transformador de alta tensión que inicia con el kilovoltaje llegado desde el autotransformador hacia el tubo de rayos x. Fuente: (Brosed Serreta, n.d.).

2.3.6.7 Producción de rayos x

2.3.6.7.1 Radiación característica

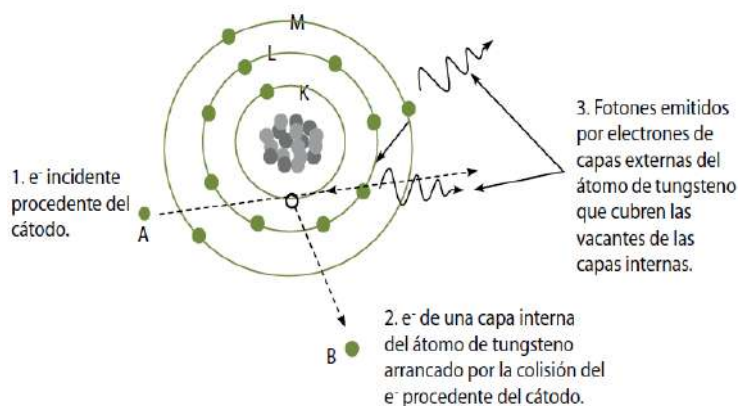
La radiación característica se produce cuando un electrón proyectil, típicamente acelerado por un campo eléctrico en un tubo de rayos X, colisiona con un electrón de una capa interna del átomo blanco (como el tungsteno), provocando su ionización. Esta interacción libera al electrón interno, dejando un "hueco" en su orbital, generalmente en la capa K, lo que desestabiliza momentáneamente el átomo (Brosed Serreta, n.d.; Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2024).

Para restablecer el equilibrio, un electrón de una capa más externa (como la capa L, M o N) cae hacia la capa interna, ocupando el lugar vacante. Este salto cuántico está acompañado por la emisión de un fotón de rayos x cuya energía es igual a la diferencia entre las energías de enlace de las capas involucradas (Brosed Serreta, n.d.; Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2024).

Tal como se muestra en la figura 23, la energía específica de estos fotones depende del material del ánodo y se conoce como energía característica, la cual es fundamental para definir el espectro de emisión de un tubo de rayos x (Brosed Serreta, n.d.; Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2024).

Figura 23.

Emisión de un fotón de rayos x característico.



Nota. El gráfico ilustra el proceso de emisión de radiación característica. Inicia con la incidencia de un electrón proveniente del cátodo que colisiona con un electrón del átomo de tungsteno para finalmente lograr la emisión de fotones. Fuente: (Brosed Serreta, n.d.).

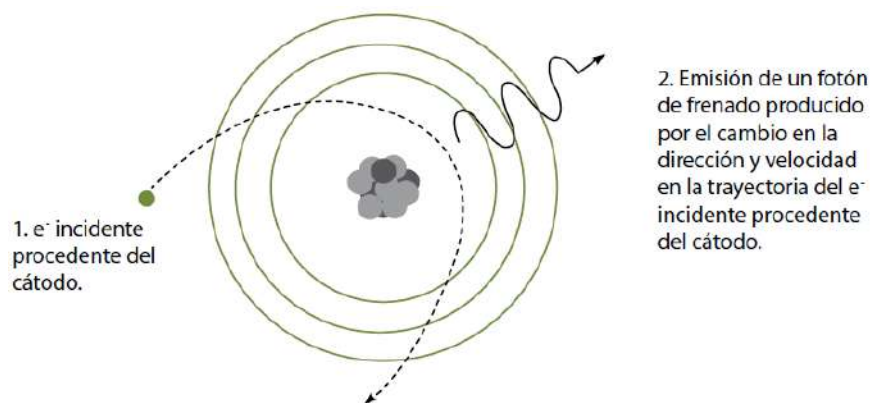
2.3.6.7.2 Radiación de frenado

La radiación de frenado (Figura 24), también conocida como radiación Bremsstrahlung, ocurre cuando un electrón proyectil se aproxima lo suficiente al núcleo de un átomo del blanco como para que se genere una interacción electromagnética. Como resultado de esta interacción, el electrón es desviado de su trayectoria original y pierde parte de su energía cinética, la cual se transforma en un fotón de rayos x. Cuanto mayor es la proximidad del electrón al núcleo, mayor será la pérdida de energía y, por ende, mayor la energía del fotón emitido (Brosed Serreta, n.d.; Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2024).

A diferencia de la radiación característica, la radiación de frenado no tiene valores de energía específicos, ya que el electrón proyectil puede perder desde una fracción hasta la totalidad de su energía cinética. Por ejemplo, un electrón de 70 keV puede emitir un fotón de cualquier valor entre 0 y 70 keV, lo que da lugar a un espectro continuo de radiación (Brosed Serreta, n.d.; Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2024).

Figura 24.

Emisión de fotones de rayos x de frenado.



Nota. El gráfico ilustra el proceso de emisión de fotones de rayos x de frenado. Inicia con la incidencia un electrón procedente del cátodo que, al interactuar con el átomo, emite un fotón de frenado producido por un cambio en la dirección y velocidad de su trayectoria. Fuente: (Brosed Serreta, n.d.).

2.3.6.8 Cantidad y calidad de rayos x

Miliamperios-segundo (mAs): Unidad que representa el producto entre la corriente de electrones (en miliamperios) que fluye desde el cátodo hacia el ánodo y el tiempo de

exposición (en segundos) durante la generación de rayos x. Esta magnitud determina directamente la cantidad total de electrones involucrados en el proceso y, por lo tanto, la cantidad de radiación generada (Brosed Serreta, n.d.).

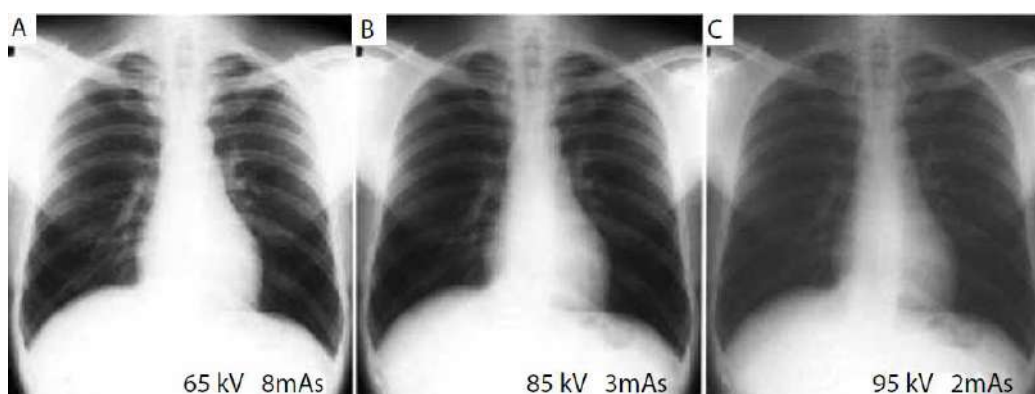
Al incrementar los mAs, se aumenta el número de electrones que impactan sobre el blanco, lo que resulta en una mayor producción de rayos x. Sin embargo, solo aproximadamente el 1 % de la energía de estos electrones se convierte en radiación útil; el 99 % restante se transforma en calor (Brosed Serreta, n.d.).

Kilovoltaje (kV): se refiere al potencial eléctrico aplicado entre el cátodo y el ánodo en un tubo de rayos x, el cual determina la energía de los electrones acelerados hacia el blanco. Esta diferencia de potencial es responsable de acelerar los electrones emitidos por el filamento del cátodo hasta alcanzar altas velocidades antes de colisionar con el ánodo (Brosed Serreta, n.d.).

Tal como se muestra en la figura 25, a mayor valor de kV, mayor será la velocidad con la que los electrones impactan el blanco y, en consecuencia, mayor la energía de los fotones de rayos x generados.

Figura 25.

Balance entre el kV y mAs en radiografías de tórax.



Nota. El gráfico ilustra tres estudios de tórax tomados con distintos valores de kV y mAs, donde se aprecia que el kilovoltaje influye directamente en el poder de penetración. Fuente: (Brosed Serreta, n.d.)

Miliamperaje (ma): Cantidad de electrones que se desplazan por unidad de tiempo del cátodo al ánodo. A mayor corriente de tubo, más fotones en el haz y más exposición

en el receptor de imagen; su variación no afecta en este caso al contraste inherente del haz de rayos x (Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2024).

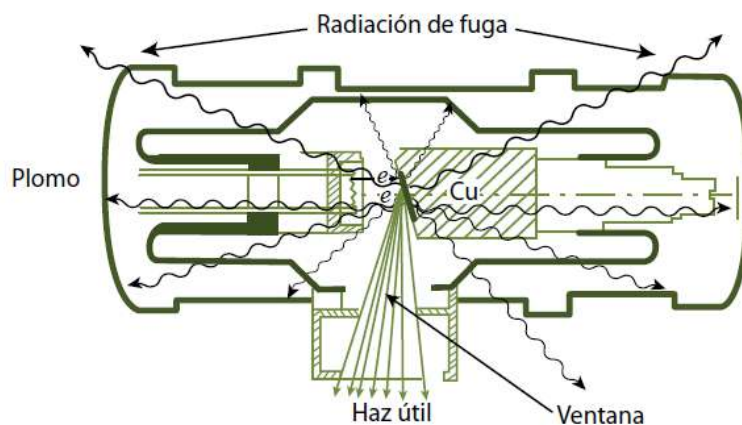
2.3.6.9 Componentes de un equipo de rayos x

En una sala de radiología convencional, podemos identificar las siguientes partes de un equipo de rayos x convencional (Brosed Serreta, n.d.):

- *Tubo de rayos x*: Componente fundamental encargado de generar la radiación ionizante necesaria para obtener imágenes diagnósticas. Funciona mediante la aceleración de electrones desde el cátodo hacia el ánodo, donde al impactar producen radiación de frenado y radiación característica (Brosed Serreta, s.f.). En la figura 26 se muestra el tubo alojado dentro de un envoltorio de vidrio o metal y contenido en una carcasa protectora con aceite dieléctrico para su refrigeración y aislamiento eléctrico. Se alimenta eléctricamente desde el generador (Brosed Serreta, n.d.).

Figura 26.

Representación de un tubo de rayos x.



Nota. El gráfico ilustra el comportamiento de la radiación dentro de un tubo de rayos x, el cual no logra penetrar fácilmente las partes de plomo y únicamente atraviesa la sección que viene a ser el haz útil.
Fuente: (Brosed Serreta, n.d.)

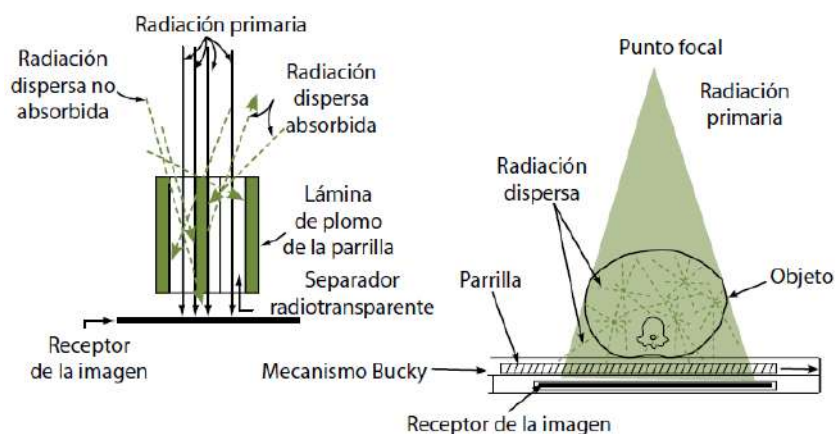
- *Generador*: Proporciona la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del tubo. Contiene transformadores de alta tensión, rectificadores y circuitos de control que permiten modular parámetros esenciales como el kilovoltaje

(kV), el miliamperaje (mA) y el tiempo de exposición. Pueden ser monofásico, trifásico o de alta frecuencia (Brosed Serreta, n.d.)

- **Mesa de exploración:** Superficie donde se posiciona al paciente para realizar ciertos estudios radiográficos. Algunas mesas son basculantes o flotantes, permitiendo ajustes en altura o posición para facilitar el acceso del paciente y el alineamiento anatómico con el haz de rayos x (Sánchez, 2024).
- **Bucky mural:** Dispositivo diseñado para realizar estudios en bipedestación, alberga el receptor de imagen en una estructura vertical y cuenta con una parrilla antidifusora, que mejora el contraste de la imagen al absorber la radiación dispersa (Sánchez, 2024).
- **Bucky mesa:** Instalado bajo la superficie de la mesa de exploración, también incluye una parrilla antidifusora. Ambos buckys permiten la correcta alineación del receptor con el haz de radiación y contribuyen a mejorar la calidad diagnóstica de la imagen (Brosed Serreta, n.d.). El principio de funcionamiento del Bucky se ilustra en la figura 27.

Figura 27.

Principio de funcionamiento de un Bucky.



Nota. El gráfico ilustra el principio de funcionamiento de un Bucky, el cual logra reducir la radiación dispersa a través de sus láminas de plomo y así mejorar la calidad de la imagen a adquirir. Fuente: (Brosed Serreta, n.d.).

- **Receptor de imagen:** En equipos convencionales pueden ser chasis con películas, chasis con fósforos fotoestimulables (los CR) o detectores planos. Se alojan en el bucky mesa o en el bucky mural y se encargan de capturar la

radiación que atraviesa al paciente para luego convertirla en una imagen diagnóstica (Brosed Serreta, n.d.).

- **Colimadores:** Dispositivo mecánico y óptico que restringe el haz de rayos x a un área anatómica de interés, mediante la apertura o cierre de diafragmas internos de plomo. Su función es reducir la irradiación innecesaria de tejidos adyacentes, mejorar el contraste de la imagen y optimizar la dosis al paciente (Brosed Serreta, n.d.).
- **Consola de control:** Es un panel desde el cual el técnico radiólogo selecciona y ajusta los parámetros de exposición (kV, mA, tiempo, enfoque, etc.), suele estar ubicada en una sala contigua, aislada por barreras plomadas para proteger al operador de la exposición a la radiación. La sala de control se comunica visualmente con la sala de exploración mediante un cristal plomado, garantizando la supervisión continua del paciente durante el procedimiento (Brosed Serreta, n.d.).

2.3.7 Tipos de equipos de rayos x

2.3.7.1 Equipos de rayos x fijos

2.3.7.1.1 Definición y características

En la figura 28 se ilustran los equipos de rayos x fijos son sistemas instalados de forma permanente en salas de radiología dentro de hospitales o centros médicos. Requieren un entorno controlado y una infraestructura física especializada (blindaje estructural, instalación eléctrica dedicada y sistema de ventilación).

Figura 28.

Equipo de rayos x fijo



Nota. El gráfico ilustra un equipo de rayos x estacionario o fijo junto a todas sus partes, entre ellas: el estativo, la mesa radiológica, el riel de piso, columna porta-tubo y cabezal. Fuente:(Ecoray, 2024).

2.3.7.2 Equipos de Rayos X Rodables o Móviles

2.3.7.2.1 Definición y características

Los equipos rodables (Figura 29) están diseñados para ser desplazados dentro de un entorno hospitalario. Están montados sobre ruedas e integran todos los componentes esenciales, permitiendo realizar estudios radiográficos en diferentes ubicaciones, como salas de hospitalización, quirófanos o unidades de cuidados intensivos.

Figura 29.

Equipo de rayos x rodable.



Nota. El gráfico ilustra un equipo de rayos x rodable de la marca Wandong, el cual es ideal para la toma de estudios radiográficos en distintos ambientes clínicos. Fuente: (Wandong, 2024).

2.3.7.3 Equipos de Rayos X Portátiles

2.3.7.3.1 Definición y características

Los equipos portátiles (Figura 30) son versiones compactas y livianas que pueden ser transportadas fuera del entorno hospitalario, incluso a lugares remotos o situaciones de emergencia (por ejemplo, medicina rural, ambulancias, desastres naturales, fuerzas armadas).

Figura 30.

Equipo de rayos x portátil.



Nota. El gráfico ilustra un equipo de rayos x portátil de la marca Ecoray. El cual posee un panel de control en la parte superior y un pulsador para realizar los disparos de rayos x. Fuente:(Ecoray, 2022).

2.3.7.4 Aplicación en Equipos de Rayos X Portátiles

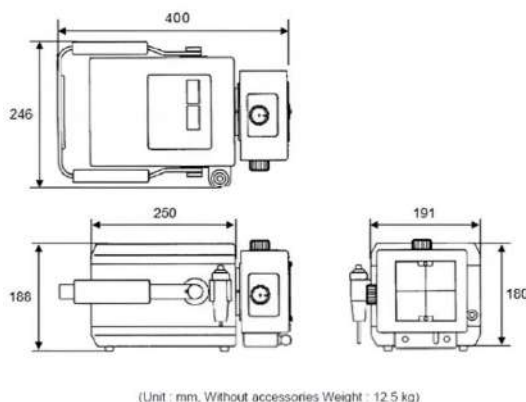
Un equipo de rayos x es utilizado para obtener imágenes internas del cuerpo mediante radiación electromagnética de alta energía. Se usa principalmente en diagnóstico médico para visualizar huesos, órganos y tejidos blandos.

2.3.7.4.1 Equipo de rayos x portátil ORANGE 1040 HF

En el presente trabajo se utiliza un equipo de rayos x portátil de la marca Ecoray, modelo Orange 1040HF orientado a aplicaciones de diagnóstico. (Ecoray, 2022).

Figura 31.

Dimensiones y peso de equipo de rayos x Orange 1040HF.



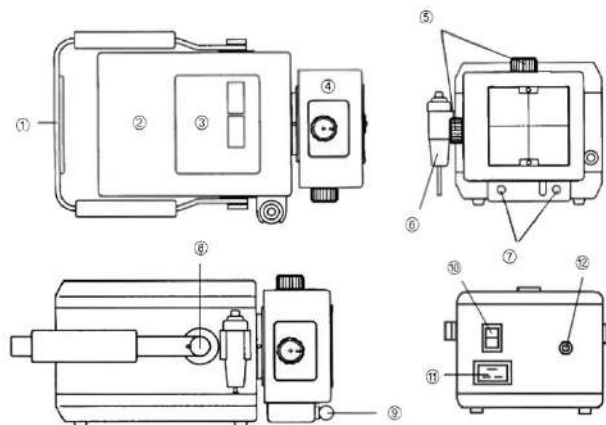
Nota. El gráfico ilustra las dimensiones, en milímetros, del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, así como su peso que es igual a 12.5 kg. Fuente: (Ecoray, 2022).

2.3.7.4.2 Partes del equipo Orange 1040HF

Las principales partes del equipo son las que se muestran en la siguiente figura (Ecoray, 2022).

Figura 32.

Partes del equipo de rayos x Orange 1040HF.



Nota. El gráfico ilustra las principales partes del equipo de rayos x Orange 1040HF en cada una de sus vistas bidimensionales. Fuente: (Ecoray, 2022).

En la siguiente tabla se describen las partes señaladas en la figura anterior acerca del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF (Ecoray, 2022).

Tabla 3

Partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.

ID	Descripción
1	Asa de transporte
2	Cuerpo principal
3	Panel de operación
4	Colimador
5	Perilla del colimador
6	Hand Switch
7	Salida del haz láser
8	Medidor de ángulo
9	Cinta métrica
10	Interruptor
11	Entrada de alimentación

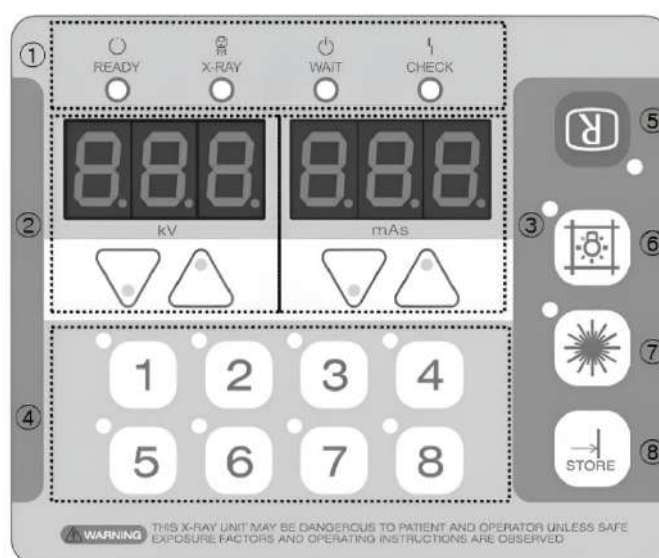
Nota. La tabla muestra las once partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, tales como el asa de transporte, cuerpo principal, panel de operación, colimador, perillas del colimador, entre otros.

2.3.7.4.3 Panel de control

En la siguiente figura se muestra el panel de control del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF (Ecoray, 2022).

Figura 33.

Panel de control del equipo de rayos x Orange 1040HF.



Nota. El gráfico ilustra el panel de control del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, donde se pueden observar los indicadores luminosos en la parte superior, la pantalla de visualización, botones para aumentar o disminuir los factores radiológicos, APRs y demás botones. Fuente: (Ecoray, 2022).

En la tabla 4 se indican las partes del panel de control del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, con sus respectivas funciones.

Tabla 4

Descripción de las partes del panel de control.

ID	Nombre	Descripción
1	READY	El equipo está listo para disparar.
	X-RAY	Se enciende durante la exposición.
	WAIT	Permanece encendido 5 segundos luego de la exposición
	CHECK	Se enciende si ocurre algún problema

2	kV	Ajusta el valor de kV
3	mAs	Ajusta el valor de mAs
4	APR	Permite acceder a valores de kV y mAs pregrabados
5	Inversión de pantalla	Invierte la visualización del kV y mAs
6	Lámpara de colimador	Ilumina el campo de exposición
7	Haz láser	Ayuda a enfocar el área de exposición
8	Store	Permite guardar valores de kV y mAs

Nota. La tabla muestra todas las partes del panel de control junto a la descripción de sus funciones.

2.3.7.4.4 Componentes y accesorios

En la tabla 5 se muestran los principales componentes y accesorios del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF (Ecoray, 2022).

Tabla 5

Componentes y accesorios del equipo de rayos x portátil.

Índice	Descripción
1	Hand switch (2 etapas: READY y SHOT)
2	Lámpara halógena (12V / 50W)
3	Fusible cerámico (15A / 250V)
4	Cable de poder (6 metros)
5	Manual de usuario
6	Correa (12.5 cm)
7	Baúl metálico (W: 53.0 cm, L: 29.5 cm, H: 25.5 cm)
8	Soporte (W: 77.5 cm, L: 72.0 cm, H: 125.5 cm)

Nota. La tabla muestra los componentes y accesorios necesarios para poner en funcionamiento adecuado al equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.

2.3.7.4.5 Especificaciones técnicas

Las especificaciones del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, tales como entrada de energía, salida de energía, características del generador, colimador, láser y cinta métrica, se muestran en las siguientes tablas.

Empezando por la tabla de entrada de energía del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, en la cual se indica las especificaciones de voltaje, potencia, fase y frecuencia requerida para la adecuada energización del equipo.

Tabla 6

Entrada de energía del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.

Entrada de energía	Especificación
Voltaje	Europa: 220 – 240 VAC
	América: 110 – 120VAC
Fase y frecuencia	Monofásico
	Europa: 50Hz
	América: 60Hz
Potencia requerida	3.8 kVA

Nota. La tabla muestra las especificaciones técnicas del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, referentes a las condiciones requeridas para su correcto funcionamiento.

Por otro lado, en la tabla 7 se presentan las especificaciones técnicas de salida de energía del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Estas características comprenden la potencia máxima de operación, así como los rangos de kilovoltaje (kV), miliamperaje (mA) y miliamperio-segundos (mAs), parámetros fundamentales para garantizar un desempeño óptimo en la generación de imágenes radiográficas.

Tabla 7

Salida de energía del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.

Salida de energía	Especificación
Potencia	2.4 kW a 80kV y 30mA
Rango de kV	40 – 100 kV $\pm$ 5%
Rango de mA	16 – 40 mA

Rango de
mAs 0.32 – 100 mAs $\pm$ 10%

Nota. La tabla muestra las especificaciones técnicas del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF referentes a la energía de salida, tales como: potencia, kilovoltaje, miliamperaje y miliamperio-segundo.

En la tabla 8 se detallan las características del generador del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Se incluyen parámetros clave como la salida de energía, tiempo de aumento de kV, el método de enfriamiento, frecuencia de conmutación y peso del generador.

Tabla 8

Características del generador del equipo de rayos x Orange 1040HF.

Generador	Especificación
Salida de energía	80 kV, 30 mA
Tiempo de aumento de kV	20 ms
Método de enfriamiento	Enfriamiento automático por inmersión en aceite.
Frecuencia de conmutación	40 kHz
Peso	5.7 kg

Nota. La tabla muestra las especificaciones técnicas del generador del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, enfocándose en parámetros tales como: salida de energía, tiempo de aumento para el kilovoltaje, método de enfriamiento, frecuencia de conmutación y peso.

En la tabla 9 se presentan las características del colimador, puntero láser y cinta métrica del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Se describen aspectos relevantes como el tipo de lámpara utilizada en el colimador, los tamaños mínimo y máximo del campo de radiación, características técnicas del punto láser y la longitud de la cinta métrica incorporada.

Tabla 9

Características del colimador, láser y cinta métrica

Colimador, láser y cinta métrica	Especificación
Lámpara del colimador	Halógena 12V / 50W

Tamaño del campo del colimador	Mínimo: 5cm x 5cm a 100cm SID Máximo: 35cm a 35cm a 66cm SID
Puntero láser	Clase 2, < 0.39 mW
Cinta métrica	2m

Nota. La tabla muestra las características técnicas del colimador, que utiliza un foco halógeno de 12V / 50W, los punteros láser y una cinta métrica incorporada en el equipo de rayos x portátil.

En la tabla 10 se detallan las especificaciones de filtración del haz de rayos x en el equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Se incluyen los valores correspondientes a la filtración inherente del tubo, el filtrado añadido, la contribución del colimador y la filtración total.

Tabla 10

Filtración de rayos x del equipo Orange 1040HF.

Filtración de rayos x	Especificación
Filtración inherente del tubo de rayos x	0.8 mmAl
Filtro añadido	1.5 mmAl ± 0.19mmAl
Colimador	0.58mmAl
Filtración total	3.07mmAl

Nota. La tabla muestra todos los filtros de aluminio que posee el equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, tales como el filtro inherente del tubo de rayos x, filtro añadido y el filtro del colimador.

2.3.7.4.6 Operación y manejo

El equipo para funcionar de manera correcta necesita una alimentación monofásica de 220V - 240V o 110V - 120V, 50Hz o 60Hz y una potencia de 2.4 kW como mínimo (Ecoray, 2022).

2.3.7.4.7 Preparación

Se inicia con el encendido del equipo, luego pasamos al posicionamiento del paciente a la distancia adecuada, en base al estudio seleccionado y utilizando la cinta métrica del equipo. Finalmente procedemos con el encendido del colimador y puntero láser

para definir el área de exposición, tener en cuenta que luego de 30 segundos el colimador y puntero láser se apagarán (Ecoray, 2022).

2.3.7.4.8 *Exposición*

El usuario debe colocarse el mandil y collarín plomado, una vez listo, debe hacer uso del hand switch y alejarse 2 metros, aproximadamente, del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. El siguiente paso es presionar la mitad del botón del hand switch para preparar el disparo (READY) (Ecoray, 2022).

El indicador READY se activará y después de 1.5 segundos, se debe presionar completamente el hand switch para emitir la radiación (SHOT). El indicador X-RAY se activará y terminada la exposición, el indicador WAIT se activará por 5 segundos (Ecoray, 2022).

2.3.7.4.9 *Códigos de error*

En la tabla 11 se muestran los códigos de error predefinidos del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF (Ecoray, 2022).

Tabla 11

Códigos de error para el equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.

Código	Descripción	Acción
ERR 01	El contactor READY del hand switch está en corto circuito.	Reiniciar el equipo.
		Reemplazar el hand switch.
ERR 02	Señal de retroalimentación EP no detectada.	Reiniciar el equipo.
		Reemplazar la main board.
ERR 03	Señal de retroalimentación IP no detectada.	Reiniciar el equipo.
		Reemplazar la main board.
ERR 04	Señal de retroalimentación FIL no detectada.	Reiniciar el equipo.
		Reemplazar la main board.
ERR 05	Activación del circuito de protección ante sobre corrientes.	Reiniciar el equipo.
		Reemplazar la main board o power board.

ERR 06	Señales de retroalimentación EP, IP y FIL fuera de rango.	Reiniciar el equipo. Reemplazar la main board.
ERR 07	Error de mAs	Reiniciar el equipo. Reemplazar la main board o power board.
ERR 08	Valor de mAs fuera de rango	Reiniciar el equipo. Calibración de la señal IP. Reemplazar la main board.
ERR 09	Error de memoria	Reiniciar el equipo. Reemplazar la main board.
ERR 10	Sobrecalentamiento del HV TANK A 55°C o más.	Esperar a que la temperatura baje a 50°C.
ERR 11	Circuito de termistor abierto.	Revisar el HV TANK

Nota. La tabla muestra todos los códigos que se pueden observar en la pantalla LCD del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, en caso ocurra algún error. Junto a los códigos se indica una breve descripción del problema y pasos a seguir para la resolución.

2.4 Definición de términos

2.4.1 Orange 1040HF

Es un equipo de rayos x portátil de la marca Ecoray, diseñado para aplicaciones médicas tanto en contextos hospitalarios como extrahospitalarios, caracterizado por su facilidad de transporte, operación versátil y capacidad de generar imágenes radiográficas de calidad diagnóstica en diversos entornos de trabajo.

2.4.2 Model Target

Es una funcionalidad de Vuforia Engine, plataforma para el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada, que permite reconocer y rastrear objetos físicos complejos basándose en su geometría 3D.

2.4.3 Archivo .OBJ

Es un formato estándar que permite transferir modelos 3D entre diferentes softwares de modelado, impresión 3D y aplicaciones digitales. Consiste en una representación geométrica del objeto escaneado, almacenada en un archivo de texto plano que describe la geometría 3D mediante vértices, texturas, vectores normales y caras.

2.4.4 APK

Es un formato de archivo utilizado por el sistema operativo Android para la distribución e instalación de aplicaciones. Similar a un instalador contiene todo el paquete necesario para que la aplicación se ejecute de manera correcta.

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Es posible el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida.

3.1.2 Hipótesis específicas

Es posible recopilar y organizar la información técnica esencial del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF para su comprensión en un entorno autodirigido.

Es posible diseñar una aplicación de realidad aumentada que presente la información técnica mediante recursos digitales.

Es posible validar la aplicación desarrollada mediante pruebas de operación con usuarios.

3.2 Variables

3.2.1 Variable independiente

Aplicación de realidad aumentada.

3.2.2 Variable dependiente

- Eficiencia de la capacitación autodirigida.
- Competencia adquirida en el manejo del equipo.

3.3 Operacionalización de las variables

En esta sección se presentan las variables del estudio, junto con sus respectivas dimensiones e indicadores, que permitirán evaluar y medir de manera objetiva los aspectos clave de la investigación (Tabla 12).

Tabla 12

Operacionalización de las variables

Variable de estudio	Indicadores
Variable independiente:	1. Módulo de las principales partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.
Aplicación de realidad aumentada	2. Módulo de los pasos a seguir para el correcto uso del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.
	3. Módulo de evaluación y retroalimentación sobre las partes y el uso correcto del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.
Variable dependiente:	1.1. Accesibilidad temporal.
1.Eficiencia de la capacitación autodirigida.	1.2. Accesibilidad geográfica
2.Competencia adquirida en el manejo del equipo.	1.3. Autonomía
	1.4. Repetibilidad
	2.1. Tiempo de aprendizaje
	2.2. Retención del conocimiento
	2.3. Reducción de errores
	2.4. Satisfacción con el aprendizaje

Nota. La tabla muestra las variables independientes y dependientes trabajadas en el presente estudio, así como los distintos indicadores a evaluar.

CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Área de estudio

La presente investigación se desarrolló en cuatro establecimientos de salud:

Centro de Salud Nuevo Milenio. Ubicado en el departamento de Madre de Dios, distrito Tambopata, cuyas coordenadas geográficas son: latitud -12.593845074864499 y longitud: -69.19933986930921.

Centro Materno Infantil José Gálvez. Ubicado en el departamento de Lima, distrito de Villa María del Triunfo, cuyas coordenadas geográficas son: latitud -12.210051582154062 y longitud -76.90710250545592.

Centro Materno Infantil Tahuantinsuyo Bajo. Ubicado en el departamento de Lima, distrito de Independencia, cuyas coordenadas geográficas son: latitud -11.978344647924251 y longitud -77.05291845767269.

Centro de Salud Fortaleza Contingencia. Ubicado en el departamento de Lima, distrito de Ate, cuyas coordenadas geográficas son: latitud -12.032229932235817 y longitud -76.94022002883634.

Finalmente, es importante mencionar que esta investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que se centra en la medición objetiva y numérica de diversos indicadores, tales como la accesibilidad temporal, accesibilidad geográfica, autonomía, repetibilidad, tiempo de aprendizaje, retención del conocimiento, reducción de errores y satisfacción con el aprendizaje, con el fin de evaluar la aplicación de realidad aumentada para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida.

4.2 Diseño de investigación

El tipo de investigación es de tipo aplicada, ya que tiene como finalidad el desarrollo y validación de una aplicación de realidad aumentada para la capacitación autodirigida en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.

El diseño del estudio corresponde a un diseño experimental, pues busca medir el efecto de la variable independiente, aplicación de realidad aumentada, sobre las variables dependientes, que están relacionadas a la eficiencia de la capacitación autodirigida y competencia adquirida en el manejo del equipo. Para ello se miden los siguientes indicadores: accesibilidad temporal, accesibilidad geográfica, autonomía, repetibilidad, tiempo de aprendizaje, retención del conocimiento, reducción de errores y satisfacción del aprendizaje.

La presente investigación tiene un alcance explicativo, pues busca identificar y demostrar el efecto del uso de una aplicación de realidad aumentada para la capacitación del personal en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida.

Asimismo, la investigación presenta un enfoque descriptivo, ya que describe las necesidades de capacitación del personal usuario, los requerimientos técnicos y pedagógicos para el desarrollo de la aplicación, así como las características de uso y aceptación por parte de los participantes.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población del estudio está conformada por cincuenta y un establecimientos de salud, tanto en Lima como en provincia.

4.3.2 Muestra

La muestra del estudio está conformada por treinta y dos establecimientos de salud, lo que representa el 62.7% de la población total, porcentaje considerado metodológicamente aceptable para estudios con poblaciones finitas.

4.4 Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información

Tras identificar la problemática existente en diversos establecimientos de salud a nivel nacional respecto a la falta de capacitación del personal y enfocando este trabajo de investigación al equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, debido a su importancia en el diagnóstico por imágenes, se plantea el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada orientada a la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida.

La técnica de recolección de datos utilizada en la presente investigación fue la encuesta, debido a que permitió obtener información directa de los participantes. Como instrumento de recolección de datos se empleó un cuestionario estructurado, elaborado mediante la plataforma Google Forms y en coherencia con las variables e indicadores definidos en la matriz de consistencia. El cuestionario estuvo conformado por cinco ítems evaluados mediante una escala de Likert de cinco niveles.

La confiabilidad del instrumento fue evaluada mediante el coeficiente de Alfa de Cronbach, con la finalidad de medir la consistencia interna del cuestionario aplicado a la muestra conformada por cada participante de los treinta y dos establecimientos de salud. El valor obtenido fue de $\alpha = 0.73$ considerado aceptable según criterios metodológicos para instrumentos basados en escala de Likert.

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_T^2} \right)$$

Donde:

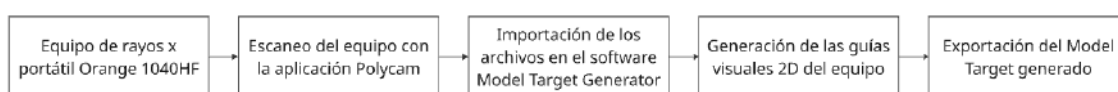
- α : Coeficiente Alfa de Cronbach.
- k : Número de ítems del instrumento.
- S_i^2 : Varianza del ítem i.
- $\sum S_i^2$: Suma de las varianzas de todos los ítems.
- S_T^2 : Varianza del puntaje total del cuestionario.

4.4.1 Procedimientos para el desarrollo del proyecto.

La primera etapa del proyecto consiste en identificar el equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, obtener su modelo 3D mediante una técnica de escaneo con la aplicación Polycam, importar los archivos obtenidos al software Model Target Generator, generar las distintas guías visuales 2D a utilizar y, finalmente, exportar el Model Target generado.

Figura 34.

Diagrama de bloques de la primera etapa del proyecto

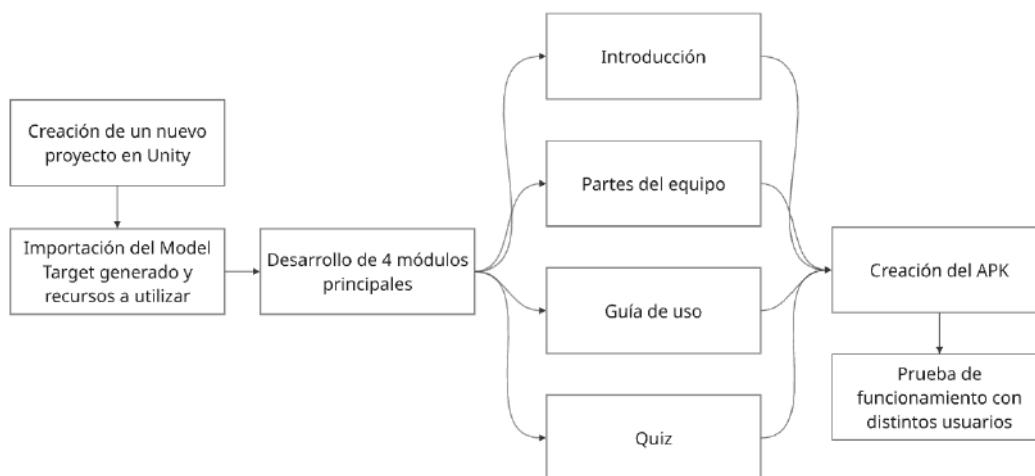


Nota. El gráfico ilustra la primera etapa abarcada para el desarrollo del presente proyecto, iniciando con la adquisición temporal de un equipo de rayos x portátil hasta la exportación del Model Target generador a partir de un modelo tridimensional adquirido con la aplicación Polycam. Fuente: Autoría propia.

La segunda etapa del trabajo comprende la creación de un proyecto en Unity, la importación del Model Target previamente generado y la integración de los distintos recursos a utilizar. En esta fase se diseñan cuatro módulos principales: introducción, partes del equipo, guía de uso y quiz.

Figura 35.

Diagrama de bloques de la segunda etapa del proyecto



Nota. El gráfico ilustra la segunda etapa del proyecto, iniciando con el diseño de la aplicación de realidad aumentada en el software Unity y el desarrollo de cuatro módulos. Fuente: Autoría propia.

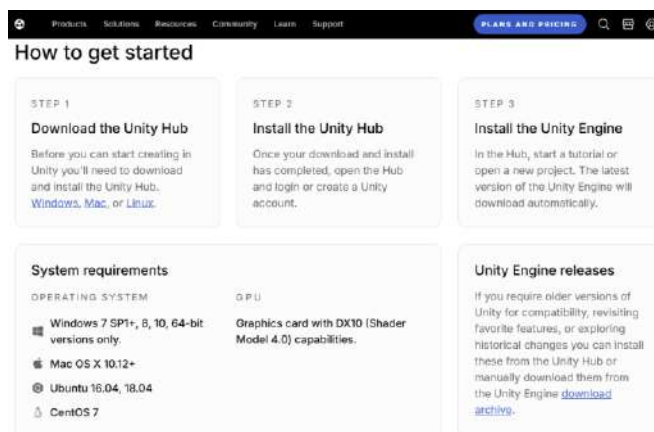
4.4.1.1 Preparación del entorno de desarrollo.

4.4.1.1.1 Instalación de Unity Hub y Unity.

Se empezó descargando Unity Hub (Figura 36), aplicación que permite instalar y gestionar distintas versiones de Unity, además de administrar el proyecto a realizar. Nos dirigimos a la página oficial de Unity y descargamos Unity Hub para el sistema operativo Windows 10 (64-bit versions).

Figura 36.

Página oficial de Unity.

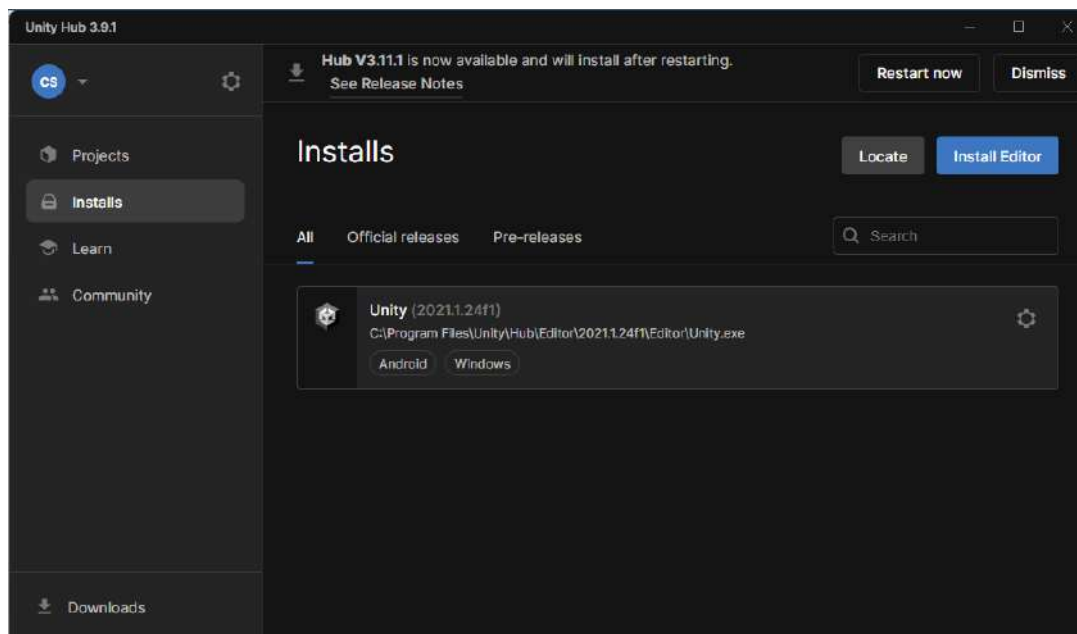


Nota. El gráfico ilustra la página oficial de Unity Technology, en la parte inferior se encuentra la sección de descarga y características mínimas necesarias del OS. Fuente: (Unity Technology, 2025)

Una vez instalado, se ejecuta Unity Hub y se instala el software Unity versión 2021.1.24f1 (Figura 37) con las librerías necesarias para ejecutar aplicaciones en Android, iOS y en el sistema operativo Windows, tal como se muestra en la figura inferior.

Figura 37.

Descarga de la versión 2021.1.24f1 de Unity desde Unity Hub.

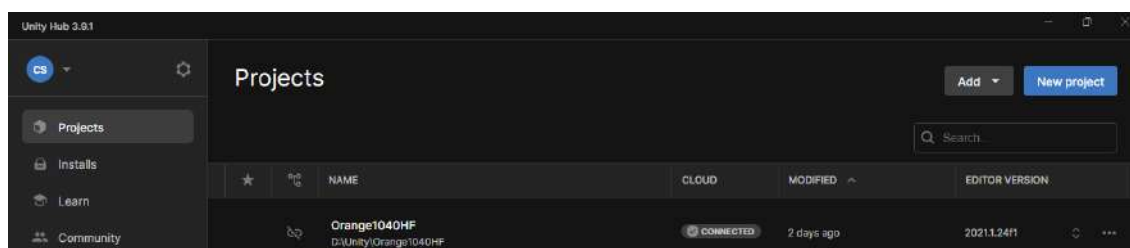


Nota. El gráfico ilustra el proceso de descarga del software Unity versión 2021.1.24f1 desde la plataforma de Unity Hub. Fuente: Autoría propia

En la figura 38 se procede a crear un proyecto, para lo cual seleccionamos nombre, ubicación, versión y plantilla para el mismo. En esta ocasión se está trabajando con la versión 2021.1.24f1 de Unity.

Figura 38.

Creación de un nuevo proyecto Unity.



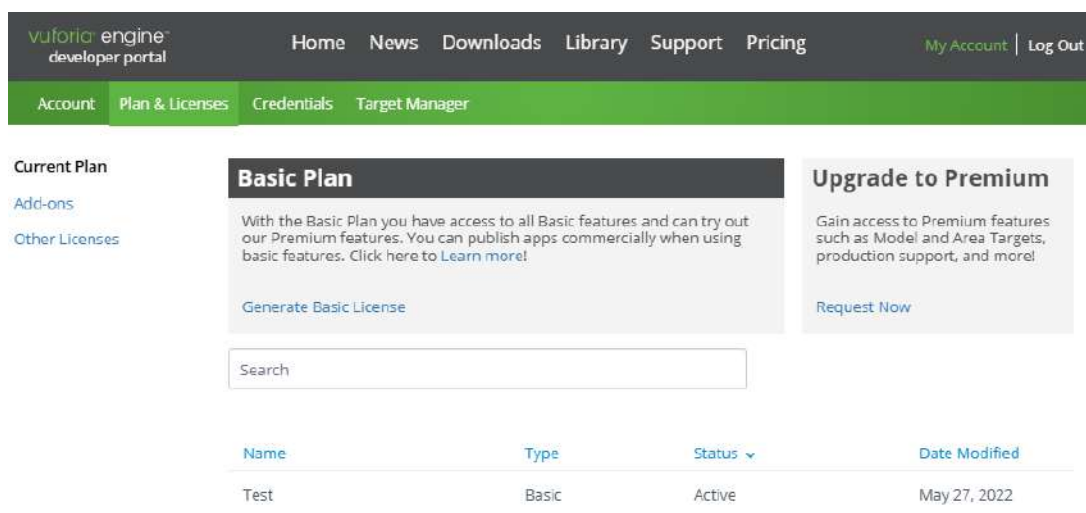
Nota. El gráfico ilustra la sección de proyectos dentro de la plataforma de Unity Hub, se visualiza el proyecto creado bajo el nombre de Orange1040HF y la versión de Unity utilizada. Fuente: Autoría propia.

4.4.1.1.2 Instalación y configuración de Vuforia SDK

Se ingresa a la página de desarrolladores de Vuforia Engine (Figura 39), nos registramos y se agrega una licencia para el proyecto. Dicha licencia brinda una key que se debe integrar en la configuración del proyecto para poder hacer uso de las herramientas de realidad aumentada de Vuforia Engine.

Figura 39.

Creación de licencia para Vuforia Engine.



The screenshot shows the Vuforia Engine developer portal. The top navigation bar includes links for Home, News, Downloads, Library, Support, and Pricing. The 'My Account' section is active, showing 'Log Out' and 'My Account' links. The 'Plan & Licenses' tab is selected in the sub-navigation. The main content area displays the 'Current Plan' as 'Basic Plan'. It includes a description of the plan's features and a 'Generate Basic License' button. To the right, there is an 'Upgrade to Premium' section. Below the plan information, there is a search bar and a table listing the licenses.

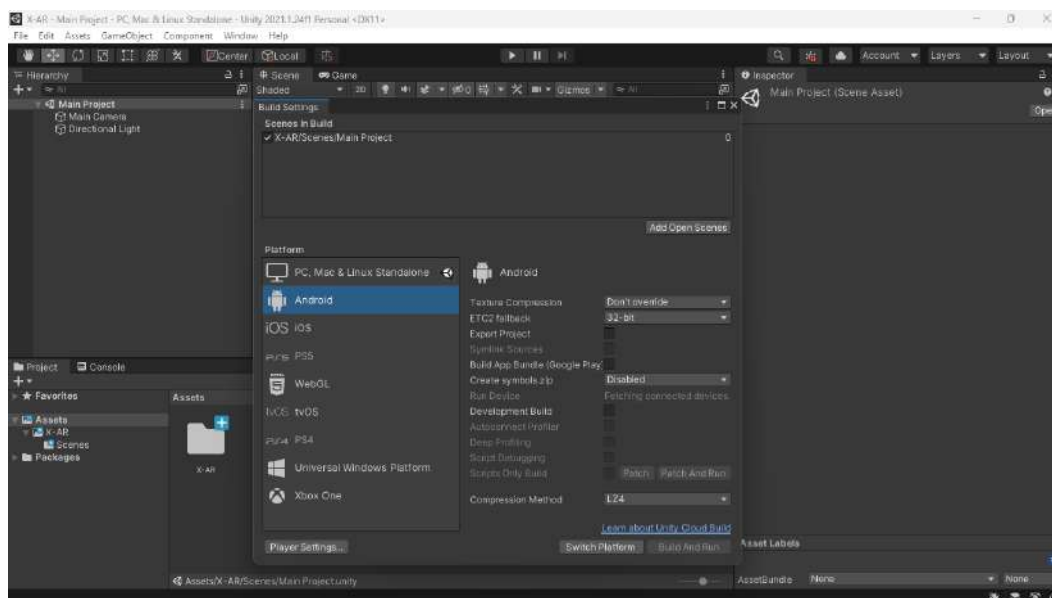
Name	Type	Status	Date Modified
Test	Basic	Active	May 27, 2022

Nota. El gráfico ilustra una licenciada de Vuforia Engine, creada bajo el nombre Test, de tipo básica y activa para ser empleada dentro del software Unity. Fuente: Autoría propia

4.4.1.1.3 Configuración inicial del proyecto en Unity

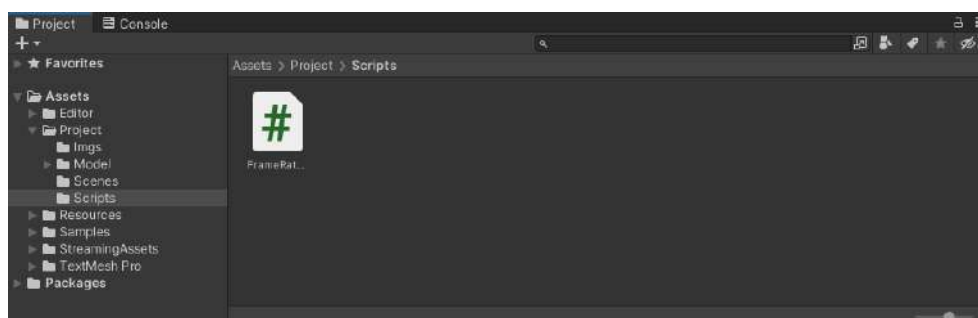
Se regresa a la interfaz de Unity Hub y se abre el proyecto previamente creado. Posterior a eso, se crea la carpeta Project y dentro de ella la subcarpeta Scenes, donde se guardarán todas las escenas a crear.

Se ingresa a Build Settings, se selecciona la plataforma Android y se realizan ciertas configuraciones en la sección de Player Settings para ejecutar correctamente la aplicación creada. Lo anterior se muestra en la figura 40.

Figura 40.*Build Settings.*

Nota. El gráfico ilustra el apartado de Build Setting, en el cual seleccionamos las escenas del proyecto a cargar y la plataforma a utilizar para ejecutar la aplicación a desarrollar. Fuente: Autoría propia.

Ahora se pasa a instalar el SDK de Vuforia, que se obtiene de la página oficial del mismo. Además, se crea la carpeta Scripts, donde se codificará el archivo `FrameRateSettings.cs`, el cual permite ajustar los frames de la aplicación al valor necesario para ejecutar Vuforia Engine de manera correcta (Figura 41).

Figura 41.*Script FrameRateSetting.cs*

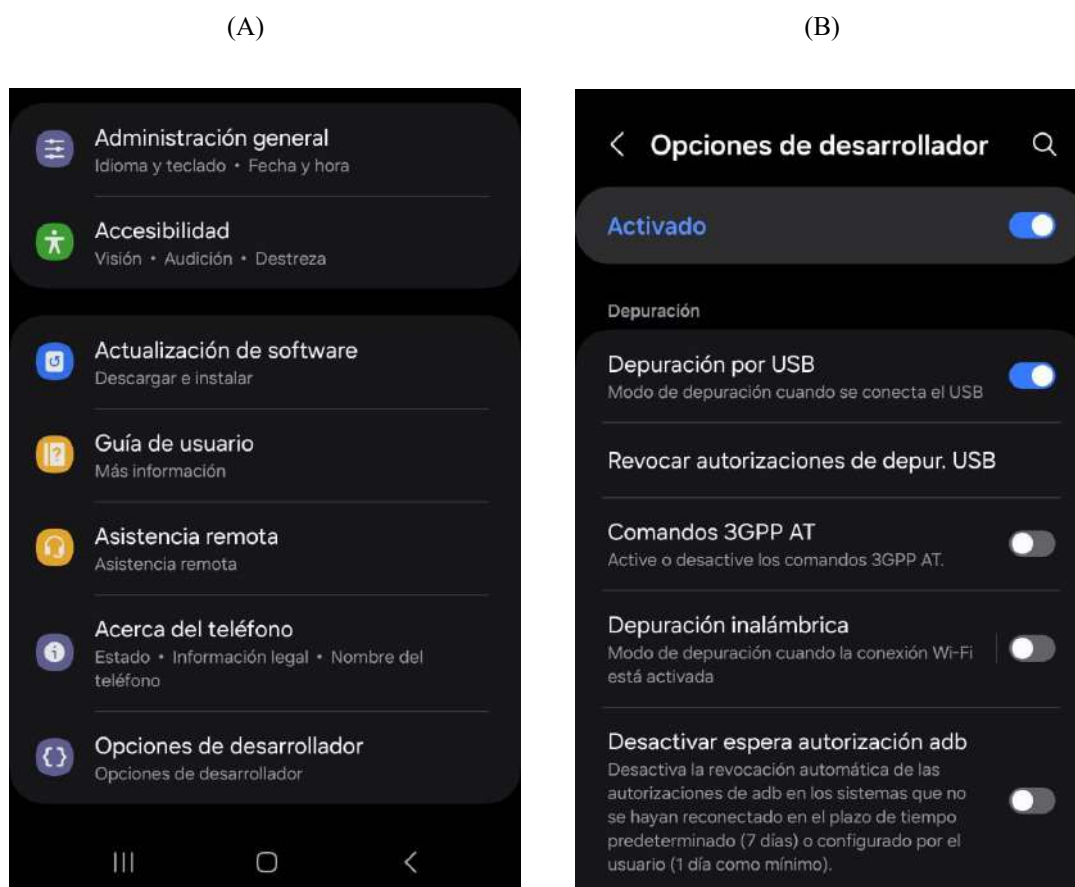
Nota. El gráfico ilustra un script creado en Unity, bajo el nombre de `FrameRateSettings.cs` que tiene como finalidad ajustar los frames de la aplicación al valor necesario para ejecutar Vuforia Engine de manera correcta. Fuente: Autoría propia.

4.4.1.1.4 Configuración del dispositivo de visualización (HMD o móvil)

El siguiente paso a realizar es configurar nuestro dispositivo móvil para que pueda ser reconocido por el entorno de Unity y permita ejecutar la aplicación a desarrollar. Para ello vamos a configuración, activamos el modo desarrollador (ver Figura 42-A) y la depuración por USB (ver Figura 42-B).

Figura 42

Configuración del móvil: (A): Modo desarrollador / (B): Depuración por USB.

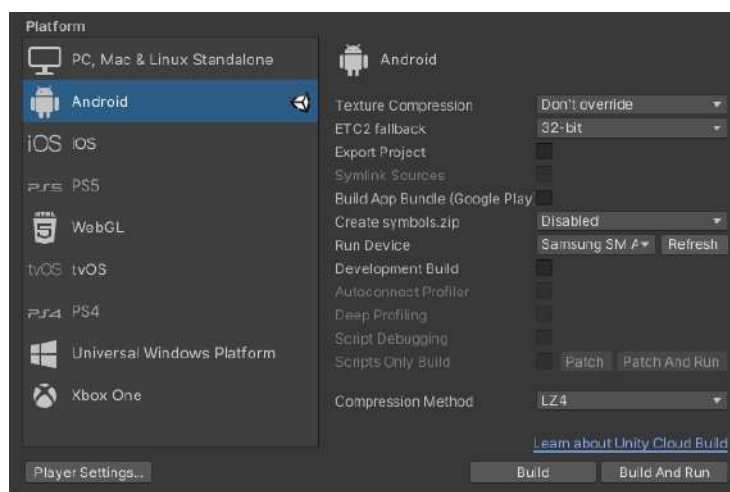


Nota. Las imágenes ilustran el proceso de configuración de un dispositivo móvil Android para habilitar las opciones de desarrollador y depuración por USB, con la finalidad de poder conectarlo con el software de desarrollo Unity y ejecutar el APK a generar. Fuente: Autoría propia.

Regresamos a la sección de Build Settings, en el apartado de plataforma seleccionamos Android o iOS dependiendo del sistema operativo que tenga nuestro móvil. En el apartado de Run Devices, seleccionamos el modelo de nuestro celular y finalmente damos clic a Build y Run (Figura 43).

Figura 43.

Conectividad entre Unity y nuestro celular (Run Device).

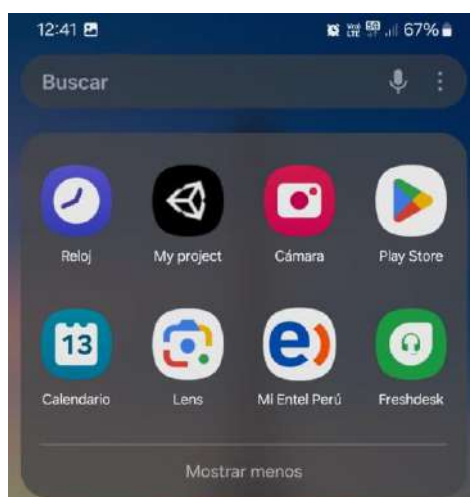


Nota. La imagen muestra la sección de la plataforma Android en el software de desarrollo Unity, así como la identificación del dispositivo móvil Samsung conectado a la computadora e indicado en el apartado de Run Device. Fuente: Autoría propia.

En la figura 44, se muestra el archivo APK generado previamente por Unity y descargado en un móvil, al seleccionarlo se debe activar la opción de “Permitir apps de fuentes desconocidas” y listo, la aplicación ya puede ser ejecutada desde el celular.

Figura 44.

Aplicación descargada en un celular de prueba.



Nota. La imagen muestra la aplicación, desarrollada en el software Unity, instalada en el dispositivo móvil de prueba. Fuente: Autoría propia.

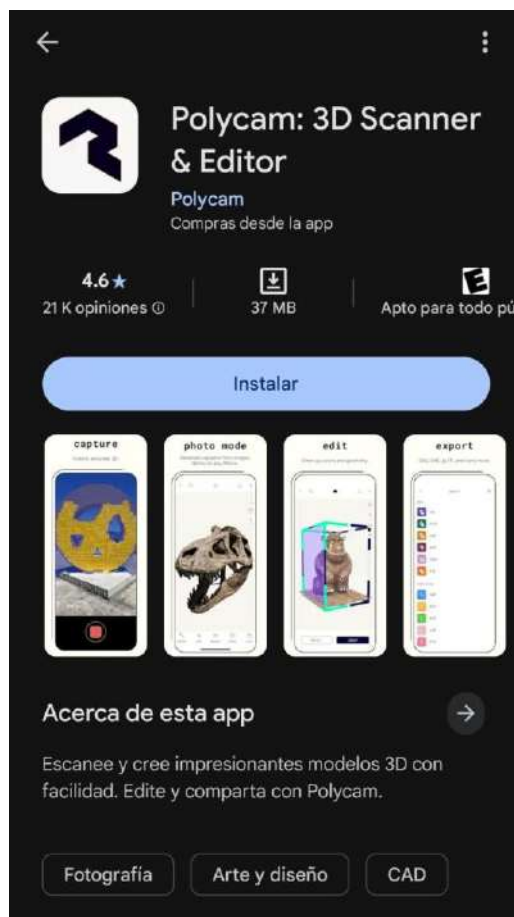
4.4.1.2 Modelado y digitalización del equipo de rayos x

4.4.1.2.1 Escaneo y modelado 3D del equipo de rayos X portátil

Ahora, seguimos con la segunda parte del proyecto que consiste en obtener un modelo 3D del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Para ello se hace uso de la aplicación móvil Polycam, que permite escanear y exportar los modelos en distintos formatos (figura 45).

Figura 45.

Polycam en Play Store.

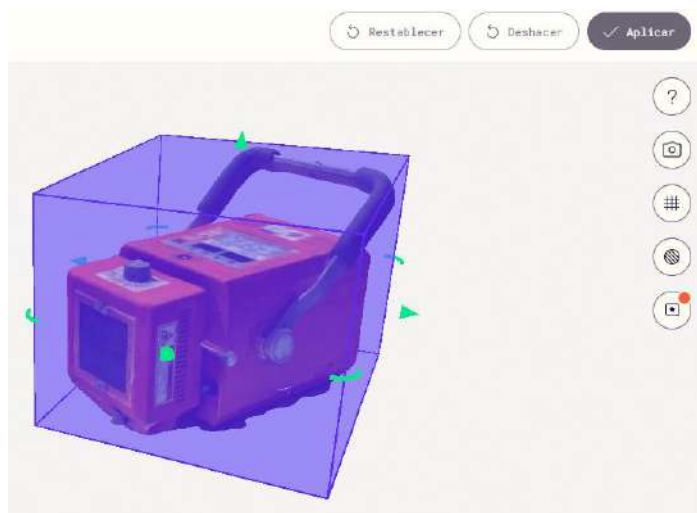


Nota. La imagen muestra el proceso de descarga e instalación de la aplicación Polycam: 3D Scanner & Editor, aplicación a utilizar para obtener el modelo tridimensional del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Se inicia el escaneo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF utilizando la aplicación Polycam. Como resultado, se obtiene un modelo 3D detallado del equipo, listo para su uso en la aplicación. Tal como se muestra en la figura 46.

Figura 46.

Modelo 3D del equipo de rayos x Orange 1040HF.



Nota. La imagen muestra el modelo tridimensional del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF obteniendo mediante el proceso de escaneo con la aplicación Polycam e importado al Model Target Generator. Fuente: Autoría propia.

En este punto, se pueden realizar algunas modificaciones al modelo. Se utiliza la herramienta de recorte para reducir el área de interés y centrarnos únicamente en las partes relevantes del equipo (Figura 47).

Figura 47.

Modelo 3D del equipo de rayos x.

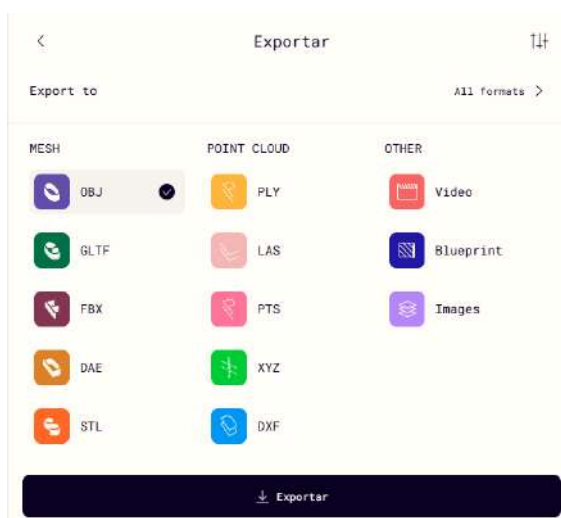


Nota. La imagen muestra el modelo tridimensional del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, archivo que fue exportado en formato .OBJ. Fuente: Autoría propia.

Una vez que el modelo 3D está listo, procedemos a exportarlo en un formato compatible con Unity. En este caso, elegimos el formato OBJ, ideal para su integración con el proyecto planteado (Figura 48).

Figura 48.

Exportación del modelo 3D en formato OBJ.

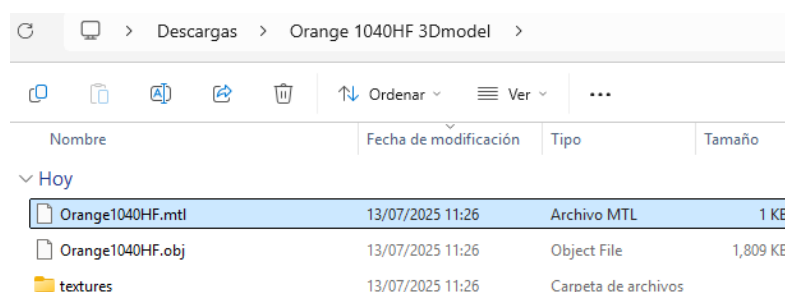


Nota. La imagen muestra el proceso de exportación del modelo tridimensional del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en formato .OBJ. Fuente: Autoría propia.

Esto generará una carpeta que contiene varios archivos, incluyendo las texturas y el modelo 3D, los cuales serán utilizados para representar correctamente el objeto dentro del entorno de Unity (Figura 49).

Figura 49.

Archivos generados en la exportación del modelo.



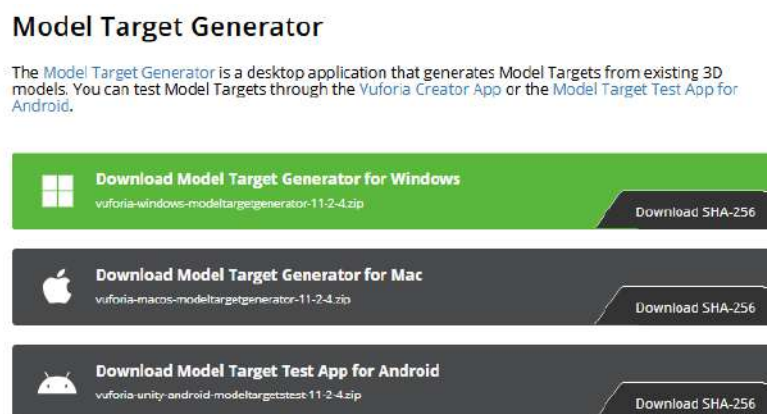
Nota. La imagen muestra todos los archivos generados al momento de exportar el modelo tridimensional en formato .OBJ. Se pueden observar los archivos .mtl y .obj, además de una carpeta con las texturas del modelo. Fuente: Autoría propia.

4.4.1.3 Optimización del modelo para su uso en AR

En la figura 50 se tiene la página de Vuforia Engine, se ingresa a la sección Model Target Generator y se descarga la herramienta según nuestro sistema operativo, en este caso para el sistema operativo Windows.

Figura 50.

Página de descarga del Model Target Generator.

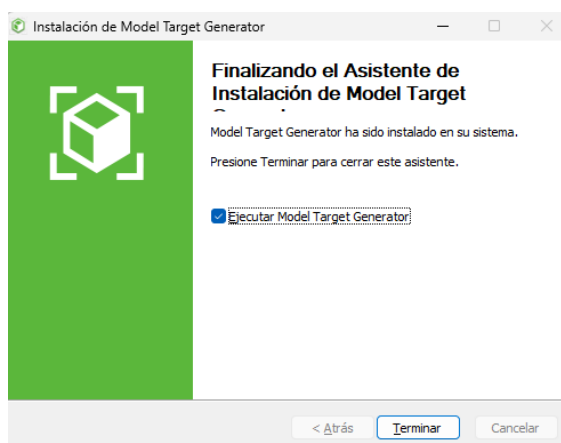


Nota. La imagen muestra el apartado de descarga del software Model Target Generator para distintos sistemas operativos: Windows, MAC y Android. Fuente: Autoría propia.

Para la descarga del software, únicamente hay que seleccionar algunas opciones referentes al software y la ubicación de instalación en nuestro equipo (Figura 51).

Figura 51.

Instalación de Model Target Generator.

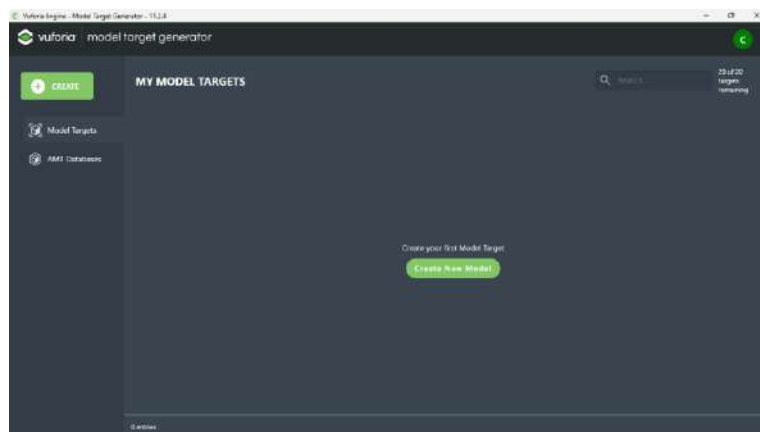


Nota. La imagen muestra la ventana de instalación del Model Target Generator. Fuente: Autoría propia.

Ahora abrimos el programa Model Target Generator e iniciamos sesión con nuestra cuenta de Vuforia para comenzar a trabajar (Figura 52).

Figura 52.

Entorno principal de Vuforia Model Target Generator.



Nota. La imagen muestra el entorno principal del software Vuforia Model Target Generator, donde se crearán los targets a partir del modelo tridimensional del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Empezaremos creando un nuevo Model Target, para ello se debe seleccionar un modelo CAD, asignar un nombre y elegir la ubicación donde se guardará el archivo (Figura 53).

Figura 53.

Creación del Model Target.

Create Model Target
See [Supported Objects and Best Practices](#)

CAD Model

☐ Interpret this model as a state based model target

Model Target Name

Location

Nota. La imagen muestra el proceso de creación de un Model Target y los campos requeridos: CAD Model, Model Target Name y Location. Fuente: Autoría propia.

Para ello, seleccionamos nuestro modelo CAD (archivo con extensión .OBJ), se asigna el nombre Orange1040HF al Model Target y se elige la carpeta de destino (Figura 54).

Figura 54.

Configuración final del Model Target a crear.

Create Model Target
See [Supported Objects and Best Practices](#)

CAD Model
C:\Users\csaldana\OneDrive - GAMEL SRL\DOCUMENTOS\dummy\Mod Select

☐ Interpret this model as a state based model target

Model Target Name
Orange1040HF
valid

Location
C:\Users\csaldana\Documents\Vuforia\ModelTargets Browse

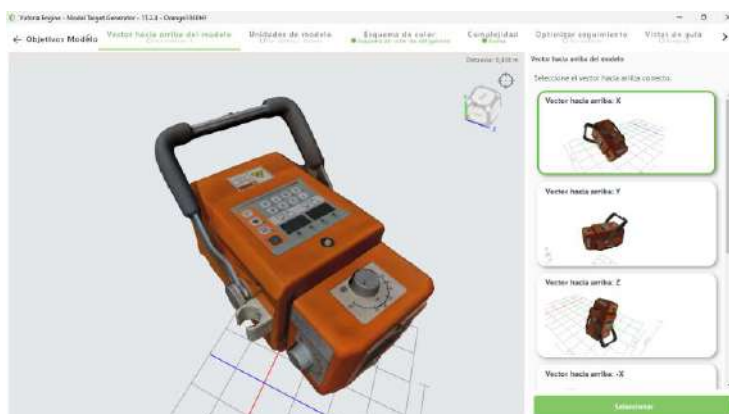
Cancel Create

Nota. La imagen muestra el llenado de los campos requeridos para iniciar con la generación del Model Target basado en el modelo 3D del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Una vez finalizado el procesamiento del modelo, se abrirá una ventana con opciones de visualización y post-procesamiento. Como se observa en la figura 55, el primer paso será confirmar los vectores de dirección (orientación) del modelo 3D, asegurándonos de que coincidan con la posición esperada en Unity.

Figura 55.

Vectores respecto a la orientación del modelo.

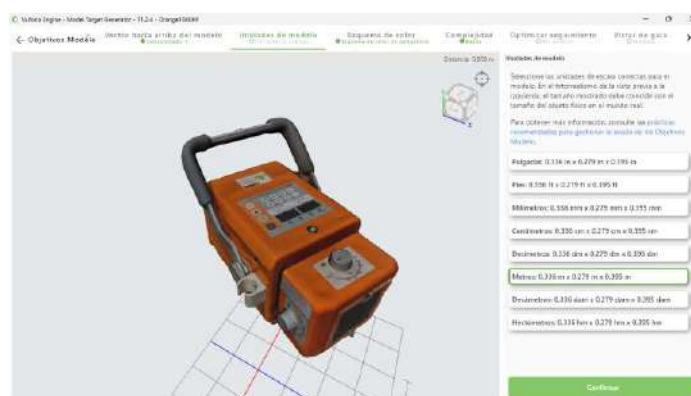


Nota. La imagen muestra el modelo tridimensional del equipo de rayos x Orange 1040HF en el espacio, así como los diferentes vectores espaciales sugeridos. Fuente: Autoría propia.

El siguiente paso (figura 56) es confirmar las unidades de medida del modelo 3D. En este caso, seleccionamos metros para asegurar una escala adecuada al integrarlo en Unity.

Figura 56.

Unidades de medida.

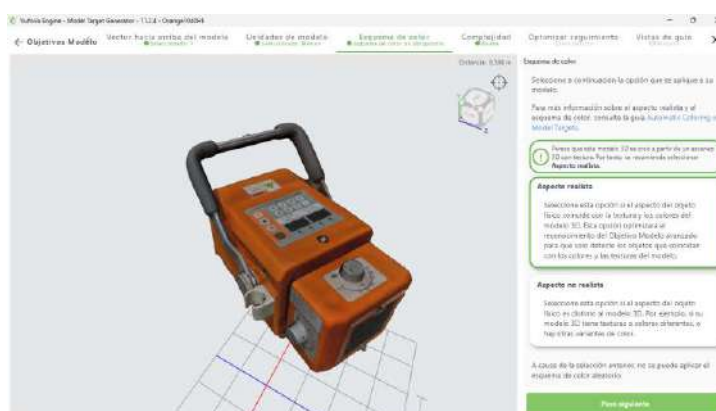


Nota. La imagen muestra la selección de las unidades de medida a utilizar para dimensionar el modelo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Se selecciona el esquema de color. Para el presente trabajo, se elige la opción de aspecto realista para que el modelo conserve sus colores originales (figura 57).

Figura 57.

Esquema de color para el modelo CAD.

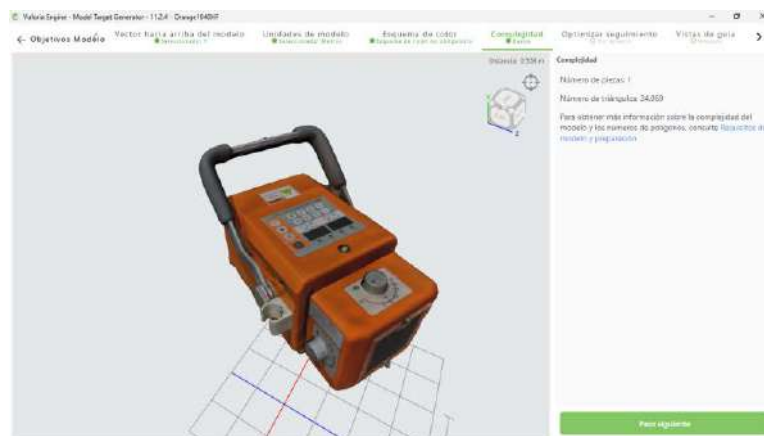


Nota. La imagen muestra la selección del esquema de color para el equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

El siguiente apartado, muestra la complejidad de procesamiento del modelo, calculada en función de las configuraciones seleccionadas previamente. El modelo generado contiene 24,069 triángulos, que conforman toda la geometría del CAD (figura 58).

Figura 58.

Complejidad del modelo.

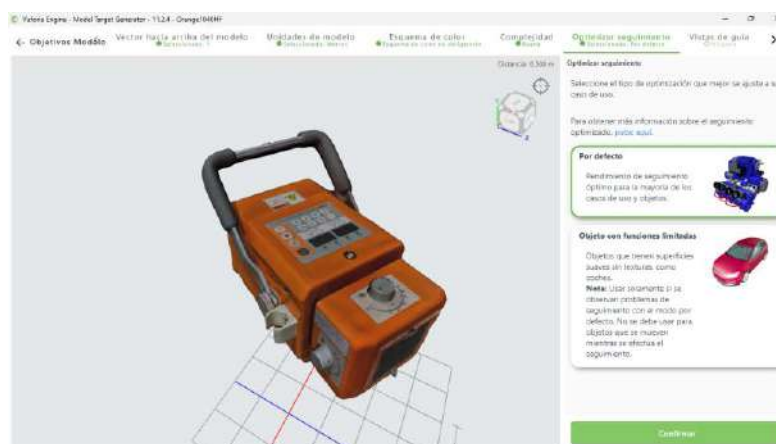


Nota. La imagen muestra la cantidad de triángulos generados para conformar la geometría CAD del modelo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Se continua con la optimización de procesamiento, la cual se deja con los valores predeterminados, para evitar un consumo excesivo de recursos computacionales sin comprometer el rendimiento (figura 59).

Figura 59.

Optimización del seguimiento al modelo.

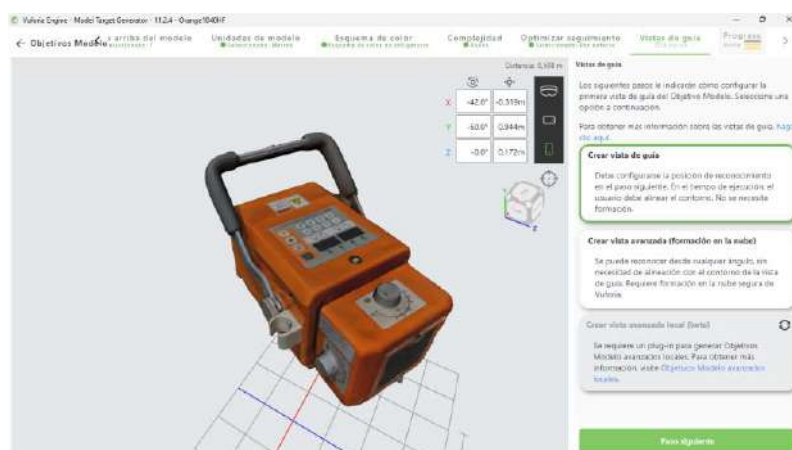


Nota. La imagen muestra la etapa de optimización de procesamiento del modelo tridimensional del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

A continuación, procedemos a crear una vista de guía, la cual será utilizada por la cámara del dispositivo móvil para reconocer el modelo y permitir la interacción dentro de la aplicación de realidad aumentada (figura 60).

Figura 60.

Creación de las vistas de guía 2D.

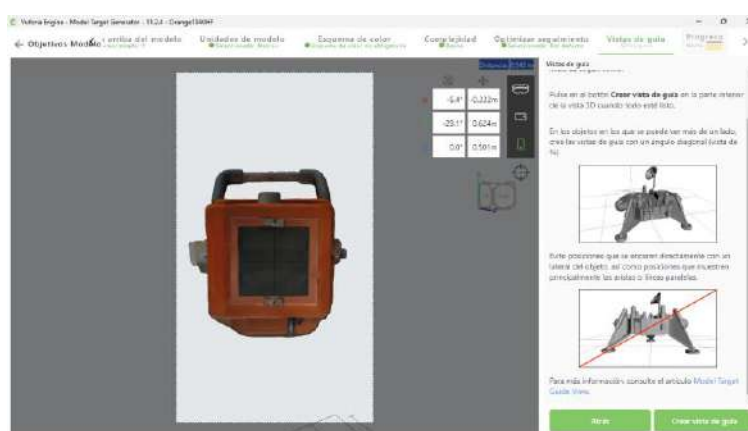


Nota. La imagen muestra el proceso de creación de las vistas de guía, las cuales sirven para identificar y activar la interacción de realidad aumentada. Fuente: Autoría propia.

Ajustamos el tamaño y la posición del modelo en función de un rectángulo de referencia, el cual simula la pantalla del dispositivo móvil. Esto permite definir cómo se visualizará el modelo al momento del reconocimiento (figura 61).

Figura 61.

Vista frontal del modelo.

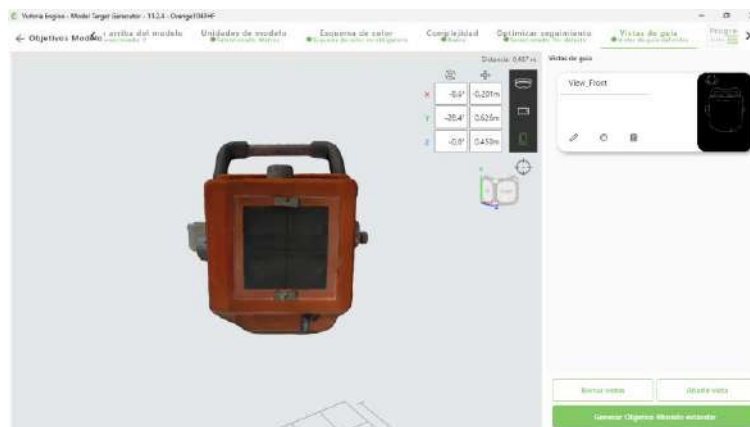


Nota. La imagen muestra la creación de la vista de guía para la parte frontal del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Finalmente, se inicia la generación del Model Target, archivo que permitirá el reconocimiento del modelo 3D en la aplicación de realidad aumentada (figura 62).

Figura 62.

Guardado de la vista 2D generada.

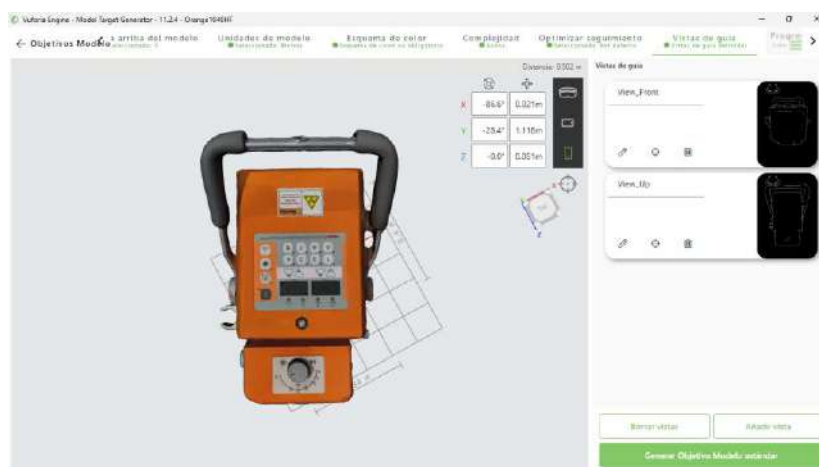


Nota. La imagen muestra la vista de guía creada para la parte frontal del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Repetimos el mismo proceso para generar las vistas adicionales, permitiendo que el modelo pueda ser reconocido desde diferentes ángulos en la aplicación de realidad aumentada (figura 63). El total de vistas generadas se adjuntan en el anexo A.

Figura 63.

Vista superior del modelo.

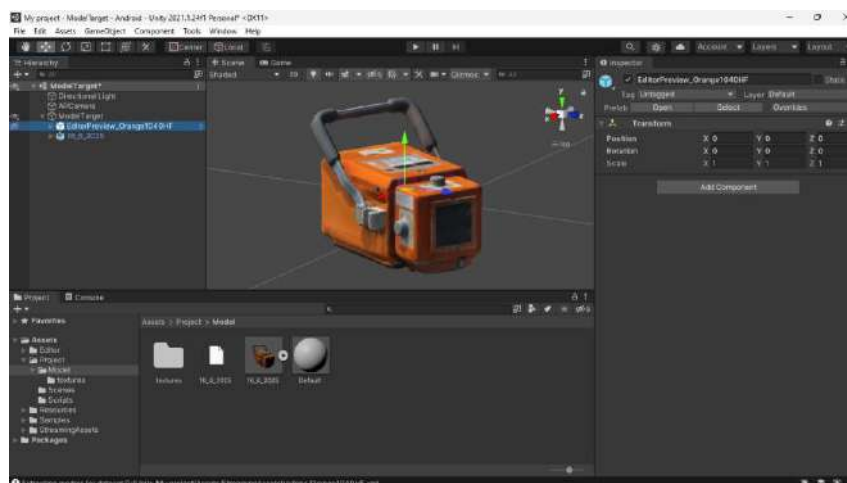


Nota. La imagen muestra la vista de guía creada para la parte superior del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

A continuación, se deben ajustar las opciones de importación para aplicar correctamente las texturas al modelo, el cual ya estaría importado a nuestro proyecto (figura 68).

Figura 68.

Modelo 3D del equipo de rayos x.



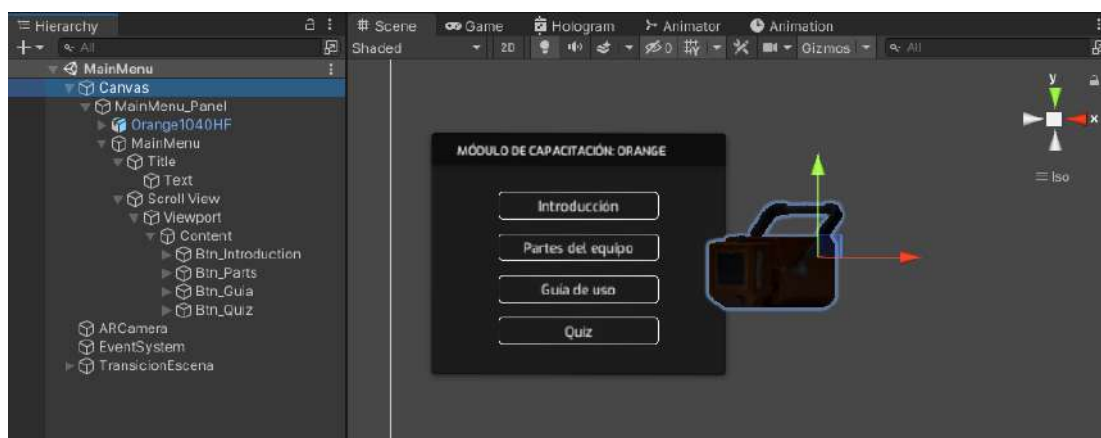
Nota. La imagen muestra el modelo tridimensional del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF importado completamente al proyecto en Unity, con sus respectivas texturas. Fuente: Autoría propia.

4.4.1.5 Desarrollo de los módulos de la aplicación

En la figura 69 se muestra el desarrollo del proyecto, que comenzó con la creación de una escena denominada MainMenu.unity. En su jerarquía, se implementó un Canvas que contiene un Panel principal encargado de mostrar los cuatro módulos del proyecto: Introducción, Partes del equipo, Guía de uso y Quiz. Adicionalmente, se incorpora un modelo 3D del equipo de rayos x Orange 1040HF, permitiendo al usuario una primera interacción con el mismo. También se agrega la cámara de Vuforia Engine (ARCamera) para poder utilizar la cámara del celular.

Figura 69.

Jerarquía y escena MainMenu.unity.

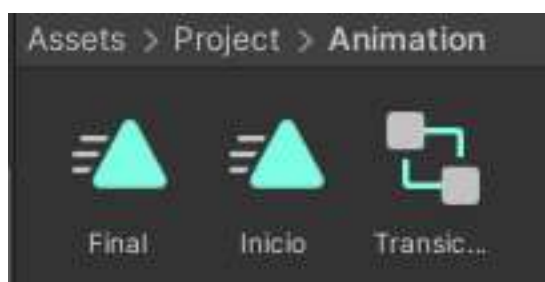


Nota. La imagen muestra la jerarquía de todos los elementos que componen la escena principal (MainMenu.unity). Fuente: Autoría propia.

La navegación entre módulos se realiza mediante cuatro botones interactivos, cada uno programado para cambiar de escena al ser seleccionado. Esta funcionalidad se implementó mediante un script denominado TransicionEscena.cs, en conjunto con dos animaciones (figura 70) que permiten una transición visual suave y coherente entre escenas. Dichas animaciones se crean junto a un controlador Unity y se guardan en una carpeta creada de nombre Animation.

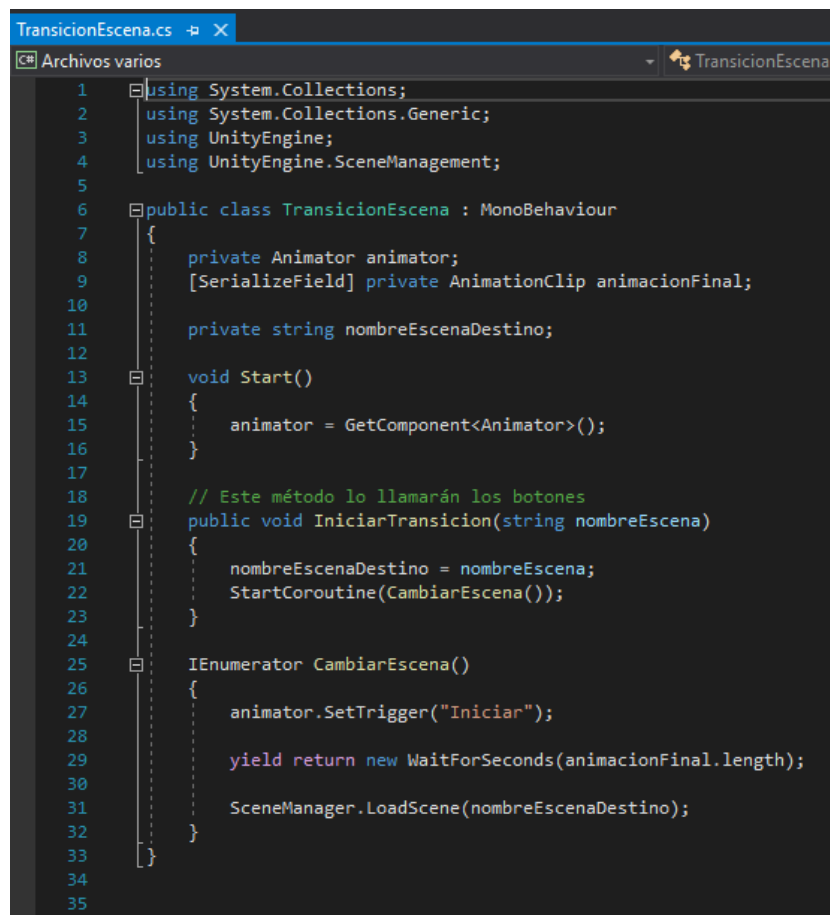
Figura 70.

Animaciones fade in / fade out y controlador.



Nota. La imagen muestra los archivos de animación creados para la transición de escenas. Fuente: Autoría propia.

En la figura 71 se muestra el script TransicionEscena.cs, adjunto a un objeto con la misma denominación, el cual forma parte de la jerarquía de la escena y es responsable de gestionar el comportamiento asociado a los cambios de interfaz.

Figura 71.*Script TransicionEscena.cs*


```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.SceneManagement;
5
6  public class TransicionEscena : MonoBehaviour
7  {
8      private Animator animator;
9      [SerializeField] private AnimationClip animacionFinal;
10
11     private string nombreEscenaDestino;
12
13     void Start()
14     {
15         animator = GetComponent<Animator>();
16     }
17
18     // Este método lo llamarán los botones
19     public void IniciarTransicion(string nombreEscena)
20     {
21         nombreEscenaDestino = nombreEscena;
22         StartCoroutine(CambiarEscena());
23     }
24
25     IEnumerator CambiarEscena()
26     {
27         animator.SetTrigger("Iniciar");
28
29         yield return new WaitForSeconds(animacionFinal.length);
30
31         SceneManager.LoadScene(nombreEscenaDestino);
32     }
33 }
34
35

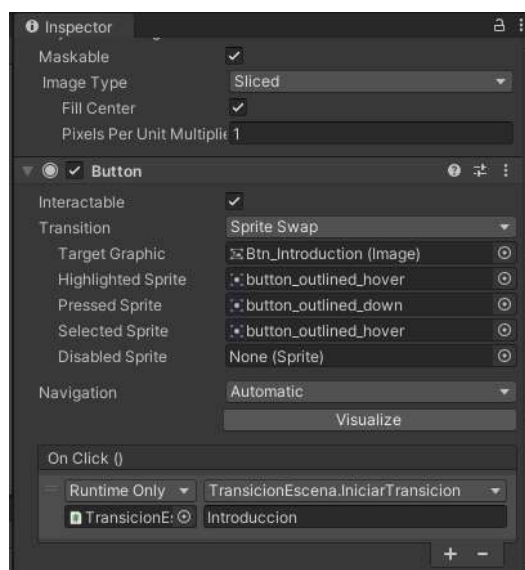
```

Nota. La imagen muestra el script desarrollado para agregar animaciones al cambiar de escenas. Se tiene la función principal *TransicionEscena* y el método *IniciarTransicion* que ejecuta las animaciones implementadas. Fuente: Autoría propia.

Para la configuración de cada botón, se accede a la sección de Inspector, donde se utiliza la función *On Click ()* para definir su comportamiento al ser presionado, como se indica en la figura 72. Se adjunta el objeto *TransicionEscena* y en el campo correspondiente, se especifica el nombre de la escena destino, de modo que, al interactuar con el botón, la aplicación navegue automáticamente hacia la interfaz seleccionada. El mismo procedimiento se repite para los demás botones: Partes del equipo, Guía de uso y Quiz.

Figura 72.

On Click () para cambio de escena MainMenu – Introduccion.



Nota. La imagen muestra los parámetros empleados por la herramienta botón, entre ellos el script desarrollado y de nombre TransicionEscena.cs Fuente: Autoría propia.

Para lograr una interacción entre el usuario y el modelo 3D del equipo de rayos x Orange 1040HF ubicado en la escena MainMenu.unity se crea el script RotarModelo.cs, el cual se adjunta al modelo 3D del equipo (figura 73).

Figura 73.

Script RotarModelo.cs

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class RotarModelo : MonoBehaviour
6  {
7      public float velocidadRotacion = 100f;
8
9      void Update()
10     {
11         // Para PC con mouse
12         if (Input.GetMouseButton(0))
13         {
14             float deltaX = Input.GetAxis("Mouse X");
15             transform.Rotate(Vector3.up, -deltaX * velocidadRotacion * Time.deltaTime, Space.World);
16         }
17
18         // Para móviles con touch
19         if (Input.touchCount == 1)
20         {
21             Touch toque = Input.GetTouch(0);
22
23             if (toque.phase == TouchPhase.Moved)
24             {
25                 Vector2 delta = toque.deltaPosition;
26                 transform.Rotate(Vector3.up, -delta.x * velocidadRotacion * Time.deltaTime, Space.World);
27             }
28         }
29     }
30 }

```

Nota. La imagen muestra el script desarrollado para que el usuario pueda interactuar con el modelo tridimensional del equipo de rayos x Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

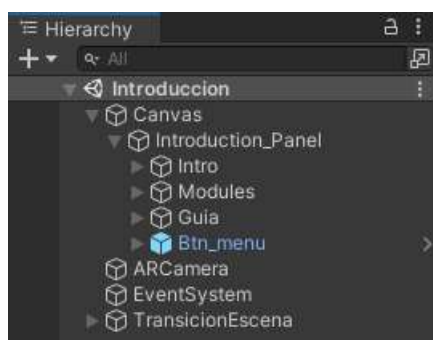
4.4.1.5.1 Módulo: Introducción

El módulo Introducción presenta una breve descripción del propósito de la aplicación, cuyo objetivo principal es capacitar al personal en la identificación de las partes esenciales del equipo de rayos x Orange 1040HF y en su correcta operación, mediante el uso de la realidad aumentada. Además, proporciona una guía básica sobre cómo utilizar esta tecnología para interactuar de manera efectiva con la aplicación.

En la figura 74, se muestra la creación de la escena Introduccion.unity.

Figura 74.

Jerarquía de la escena de Introducción.



Nota. La imagen muestra la jerarquía y todos los elementos que engloba la escena Introduccion.unity.
Fuente: Autoría propia.

El resultado del módulo desarrollado se muestra en la figura 75.

Figura 75.

Desarrollo de la escena Introduccion.unity.



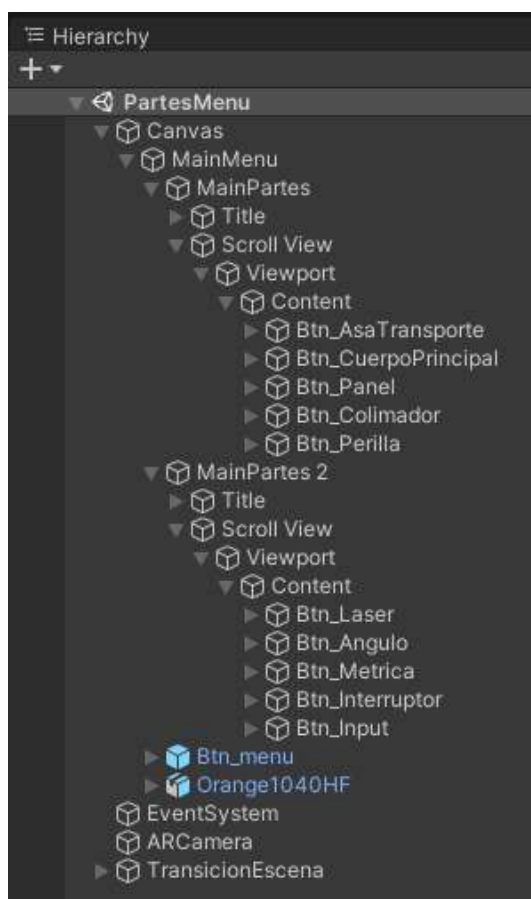
Nota. La imagen muestra la escena Introducción culminada, la cual abarca 3 ventanas: introducción y objetivos, módulos y guía rápida. Fuente: Autoría propia.

4.4.1.5.2 Módulo: Partes del equipo

Este módulo inicia con una escena denominada PartesMenu.unity (figura 76) en la cual se presentan las principales partes del equipo de rayos x Orange 1040HF, organizadas en submódulos interactivos. Al seleccionar uno de ellos, la aplicación activa la funcionalidad de realidad aumentada mediante Vuforia Model Targets, guiando al usuario para que enfoque correctamente la parte correspondiente del equipo. Una vez identificada, se despliega en pantalla su nombre y una breve descripción informativa.

Figura 76.

Jerarquía de la escena PartesMenu.

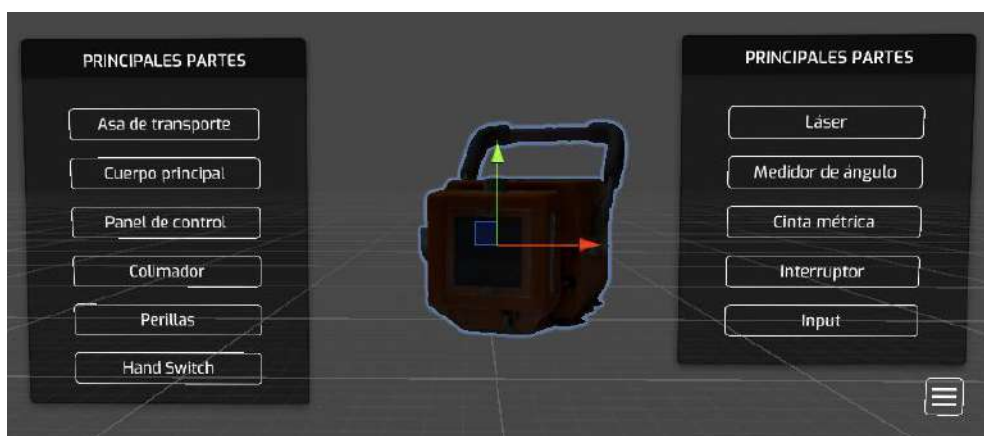


Nota. La imagen muestra la jerarquía de la escena PartesMenu, la cual contiene distintos recursos digitales como: Canvas, botones y modelos tridimensionales. Fuente: Autoría propia.

El resultado del módulo desarrollado se muestra en la figura 77.

Figura 77.

Desarrollo de la escena PartesMenu.unity.



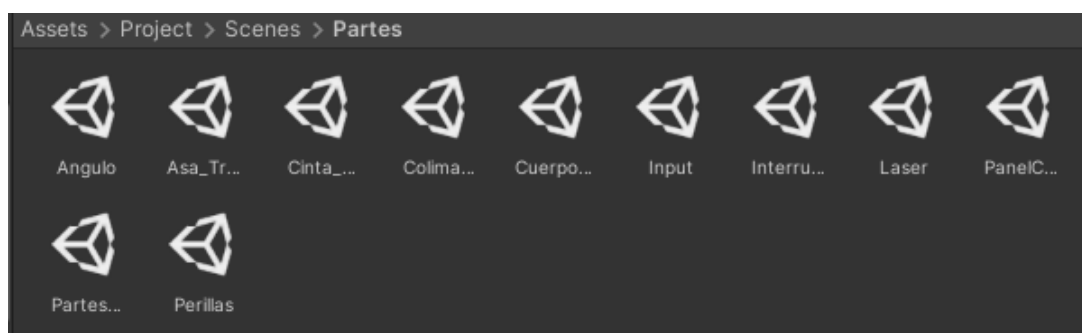
Nota. La imagen muestra el módulo partes del equipo culminado, el cual consiste en once opciones en base a todas las partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Al seleccionar alguna de las partes del equipo mostrada en la figura anterior se cambiará de interfaz y se observará una guía visual 2D del equipo de rayos x, con el propósito de que el usuario lo alinee correctamente con el equipo físico. Para lograr esto se debe crear un Model Target, seleccionar la base de datos importada al inicio del proyecto y la guía de vista. Todas las guías visuales 2D se adjuntan en el anexo B.

En la figura 78 se muestran todas las escenas creadas para cada parte del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.

Figura 78.

Escenas creadas para cada parte del equipo.

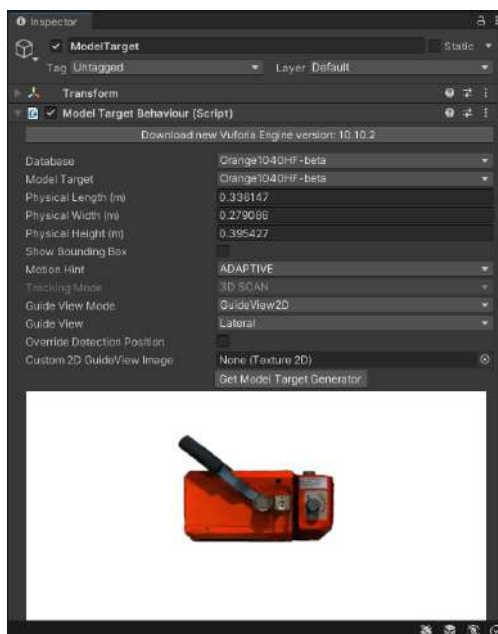


Nota. La imagen muestra las once escenas creadas para todas las partes del equipo visualizadas en la imagen anterior. Fuente: Autoría propia.

En la figura 79 se muestra el detalle del Model Target creado, referente a la guía 2D lateral del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Asimismo, en la figura 80 se muestra la guía 2D creada en el Model Target Generator e importada al proyecto Unity.

Figura 79.

Configuración de un Model Target.



Nota. La imagen muestra las características de un Model Target, el cual tiene la base de datos Orange1040HF y la guía de vista 2D de la parte lateral del equipo de rayos x. Fuente: Autoría propia.

Figura 80.

Guía visual 2D de un Model Target.



Nota. La imagen muestra una guía visual 2D en funcionamiento. Fuente: Autoría propia.

Una vez se alinee correctamente la guía visual con el equipo físico, se activará la interacción con la realidad aumentada, donde se describe y señala la parte seleccionada. En la figura 81 se muestra un ejemplo con la sección lateral del equipo y su medidor de ángulo.

Figura 81.

Model Target del medidor de ángulo.



Nota. La imagen muestra la ejecución de la herramienta de realidad aumentada para el Model Target que posee una guía de vista 2D de la parte lateral del equipo de rayos x, lo cual permite identificar el medidor de ángulo. Fuente: Autoría propia.

El mismo procedimiento se aplica para las demás partes del equipo incluidas en la aplicación. Para ello, se desarrollaron escenas independientes para cada Model Target, tomando como referencia el manual de operación del equipo a fin de asegurar una descripción precisa de cada parte.

Por ejemplo, en la siguiente figura se muestra un Canvas informativo correspondiente al colimador, el cual brinda detalles sobre su función y ubicación dentro del equipo, facilitando así la comprensión por parte del área usuaria.

Figura 82.

Integración del Canva Colimador al entorno 3D.



Nota. La imagen muestra la integración de las herramientas digitales de Unity con el modelo 3D del equipo y las herramientas de realidad aumentada para el colimador. Fuente: Autoría propia.

En la figura 83 se presenta un ejemplo de Canvas asociado al medidor de ángulo y en la figura 84 se presenta un ejemplo de Canvas asociado al panel de control. Las demás partes implementadas, junto con sus respectivas descripciones y visualizaciones, se encuentran detalladas en el anexo C.

Figura 83.

Canvas: Medidor de ángulo.



Nota. La imagen muestra la integración de las herramientas digitales de Unity con el modelo 3D del equipo y las herramientas de realidad aumentada para el medidor de ángulo. Fuente: Autoría propia.

Figura 84.

Canvas: Panel de control.



Nota. La imagen muestra la integración de las herramientas digitales de Unity con el modelo 3D del equipo y las herramientas de realidad aumentada para el panel de control. Fuente: Autoría propia.

4.4.1.5.3 Módulo: guía de funcionamiento

El módulo guía de funcionamiento corresponde a cinco escenas distintas que abarcan distintos pasos a seguir para la correcta operación del equipo de rayos x. Cada paso incluye una instrucción textual, complementada con la activación de elementos de realidad aumentada para ilustrar de manera interactiva cada etapa del proceso, lo cual busca facilitar la comprensión y aprendizaje.

Para esto se crean siete escenas, que abarcan todos los pasos a seguir para montar el equipo y hacerlo funcionar de manera óptima.

Figura 85.

Escenas creadas para el módulo Guía de funcionamiento.



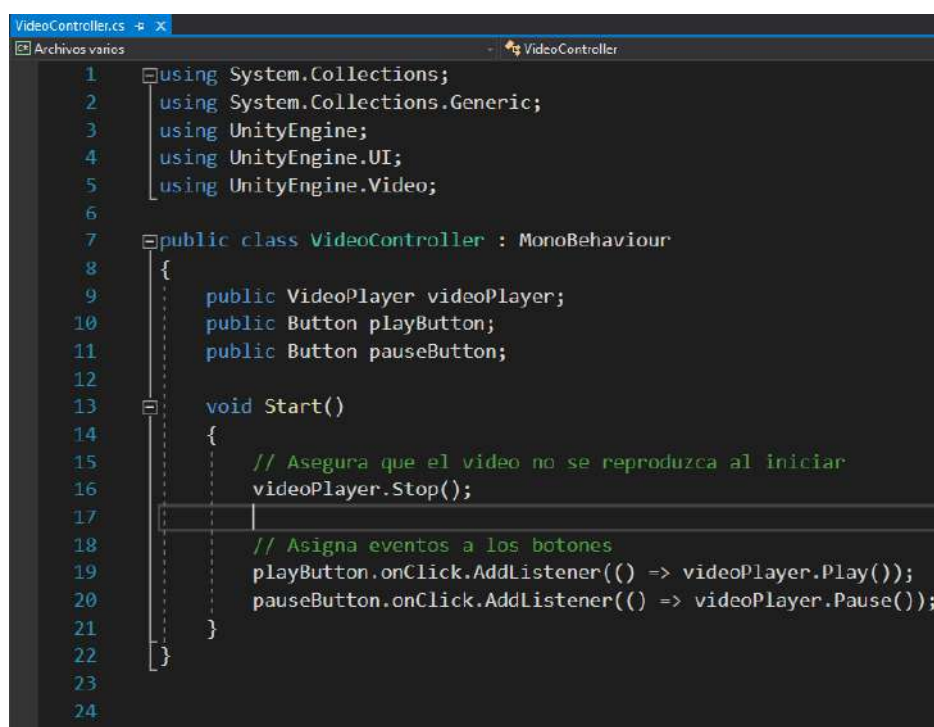
Nota. La imagen muestra las distintas escenas creadas para el módulo guía de uso. Fuente: Autoría propia.

La primera escena abarca los dos primeros pasos a seguir para sacar el equipo de rayos x portátil de su baúl y colocarlo correctamente en su coche u algún sistema de soporte, de esta manera lo aseguramos y manipulamos con facilidad. Para ello se hace uso de elementos visuales como videos e imágenes con el fin de facilitar la comprensión de la información.

Para poder incorporar videos al proyecto se desarrolla un script denominado VideoController.cs (figura 86).

Figura 86.

Script VideoController.cs.



```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.UI;
5  using UnityEngine.Video;
6
7  public class VideoController : MonoBehaviour
8  {
9      public VideoPlayer videoPlayer;
10     public Button playButton;
11     public Button pauseButton;
12
13     void Start()
14     {
15         // Asegura que el video no se reproduzca al iniciar
16         videoPlayer.Stop();
17
18         // Asigna eventos a los botones
19         playButton.onClick.AddListener(() => videoPlayer.Play());
20         pauseButton.onClick.AddListener(() => videoPlayer.Pause());
21     }
22 }
23
24

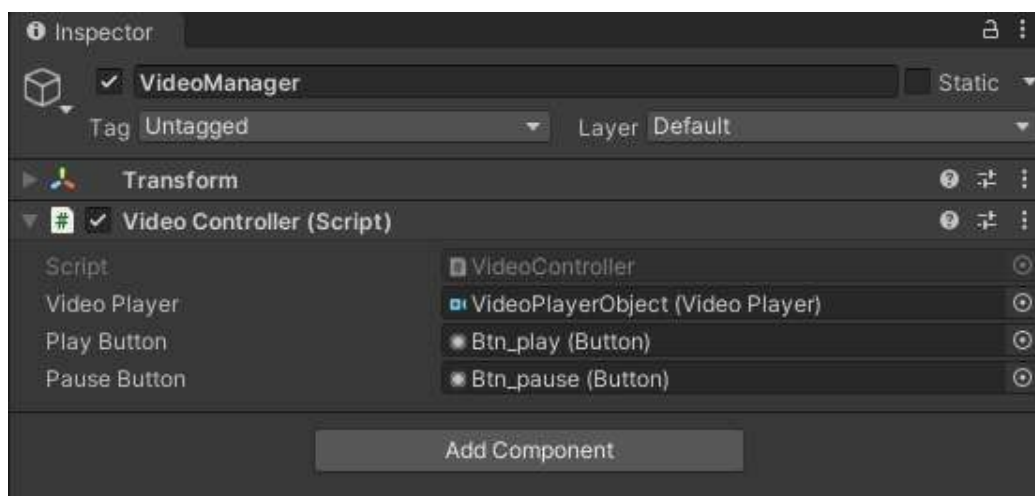
```

Nota. La imagen muestra un script desarrollado para integrar herramientas audiovisuales a la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Autoría propia.

El script creado se adjunta a un elemento de nombre VideoManager para poder indicarle al software que vídeo queremos reproducir y agregar ciertas funcionalidades, como se muestra en la figura 87.

Figura 87.

Elementos del script VideoController.cs.



Nota. La imagen muestra la configuración y elementos necesarios para el adecuado funcionamiento del script VideoController.cs. Requiere el vídeo a reproducir, además de botones de inicio y pausa. Fuente: Autoría propia.

Además de la información y elementos visuales agregados, se incorporan botones para que el usuario pueda navegar libremente por la aplicación (figura 88).

Figura 88.

Escena 1 de la guía de operación.



Nota. La imagen muestra la primera parte de la guía de operación del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Se indica la manera correcta de posicionarlo. Fuente: Autoría propia.

La segunda escena hace referencia a la instalación del hand switch o pulsador, parte importante pues permite la emisión de rayos x. Para lo cual, se hace uso de un Model Target y una vez que el usuario alinee correctamente la guía 2D con el equipo aparecerán los elementos de interacción (figura 89).

Figura 89.

Escena 2 de la guía de operación.



Nota. La imagen muestra la segunda parte de la guía de operación del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Se debe verificar que el hand switch esté correctamente conectado. Fuente: Autoría propia.

En la figura 90, se continua con la tercera escena, donde se verifica la conexión del cable de poder y activación del switch principal para el suministro eléctrico y encendido del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.

Figura 90.

Escena 3 de la guía de operación.

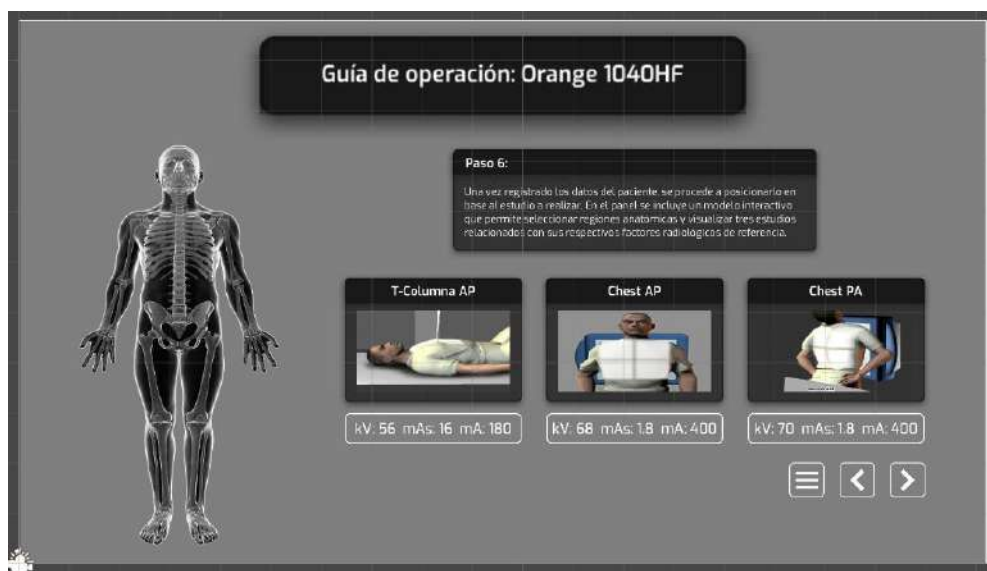


Nota. La imagen muestra la tercera parte de la guía de operación del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Se debe conectar el cable de poder desde una toma de red eléctrica al equipo y accionar el switch principal. Fuente: Autoría propia.

En la figura 91 se continúa con la cuarta escena, dónde el usuario debe verificar el registro correcto del paciente y posicionarlo adecuadamente, de acuerdo al estudio a realizar. Por lo que se agregan algunos estudios y factores radiológicos de referencia. Los demás estudios y factores radiológicos de referencia se adjuntan en el anexo D.

Figura 91.

Escena 4 de la guía de operación.



Nota. La imagen muestra la cuarta parte de la guía de operación del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Se brinda una referencia para la toma de algunos estudios en base a la parte anatómica del paciente y se sugieren factores radiológicos para la toma del estudio. Fuente: Autoría propia.

En la figura 92, se muestra la quinta escena. Una vez el paciente ha sido registrado y posicionado, se procede a ajustar los factores radiológicos (kV y mAs) según el estudio elegido. También se recomienda activar la luz de colimación y láser para el centrado correcto del equipo de rayos x respecto al paciente.

Figura 92.*Escena 5 de la guía de operación.*

Nota. La imagen muestra la quinta parte de la guía de operación del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Se debe seleccionar los factores radiológicos a emplear en base al estudio y contextura del paciente, además de activar el colimador y láser para fijar el área de radiación. Fuente: Autoría propia.

En la penúltima escena, con el colimador y láser activos, se procede a ajustar el área de colimación con las perillas indicadas en la figura de abajo (figura 93).

Figura 93.*Escena 6 de la guía de operación.*

Nota. La imagen muestra la sexta parte de la guía de operación del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Se debe ajustar el área de radiación utilizando las perillas del colimador. Fuente: Autoría propia.

Finalmente, en la última escena se recomienda que el usuario utilice un mandil plomado y/o se ubique detrás de un biombo o pared plomada durante la realización del estudio, como medida de seguridad radiológica. Posteriormente, se indica el procedimiento para efectuar la exposición utilizando el hand switch del equipo, el cual se realiza en dos fases: preparación y radiación (figura 94).

En la misma escena se adjunta un video de apoyo, con ello se culmina la toma y la imagen radiológica obtenida podrá visualizarse en el software correspondiente.

Figura 94.

Escena 7 de la guía de operación.



Nota. La imagen muestra la séptima parte de la guía de operación del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, en esta sección se sugiere al participante utilizar algún elemento de protección radiológica para posteriormente realizar la toma del estudio. Fuente: Autoría propia.

4.4.1.5.4 Módulo: quiz

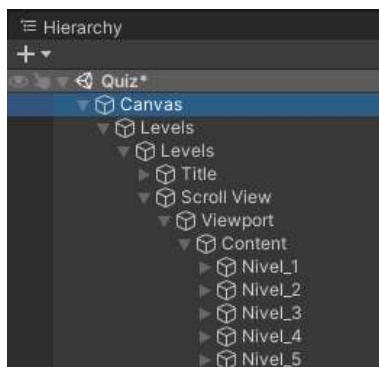
Con el objetivo de evaluar el nivel de comprensión adquirido por el usuario tras interactuar con la aplicación desarrollada, se diseña un Quiz que permite validar los conocimientos obtenidos respecto a las partes y operación del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.

Para su implementación, se desarrolla una escena denominada Quiz.unity (figura 95), en la cual se organizan diversos paneles dentro de su jerarquía: un panel para cada pregunta y dos paneles adicionales para mostrar si la respuesta seleccionada fue

correcta o incorrecta. Cada pregunta cuenta con cuatro opciones de respuesta, de las cuales solo una es la correcta.

Figura 95.

Jerarquía de la escena Quiz.unity

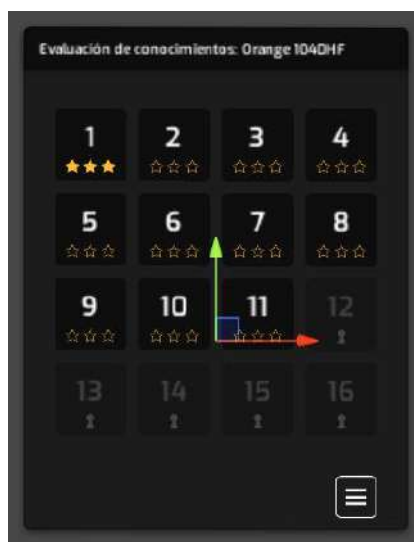


Nota. La imagen muestra la jerarquía y elementos de la escena quiz, la cual abarca distintas preguntas escenas para las respuestas correctas e incorrectas. Fuente: Autoría propia.

En la figura 96, se muestra el cuestionar desarrollado que consta de un total de dieciséis preguntas, de las cuales inicialmente están habilitadas once. Las preguntas restantes se desbloquean de forma progresiva conforme el usuario avanza en el módulo.

Figura 96.

Panel principal del Quiz.



Nota. La imagen muestra el menú principal de quiz, donde se tienen algunas preguntas habilitadas para el usuario, mientras que las demás se desbloquean conforme se va avanzando. Fuente: Autoría propia.

La navegación entre paneles se desarrolla mediante un script denominado QuizManager.cs (figura 97) el cual gestiona la secuencia de preguntas y la visualización dinámica de los paneles de retroalimentación según la respuesta seleccionada por el usuario.

Figura 97.

Primera sección del script QuizManager.cs

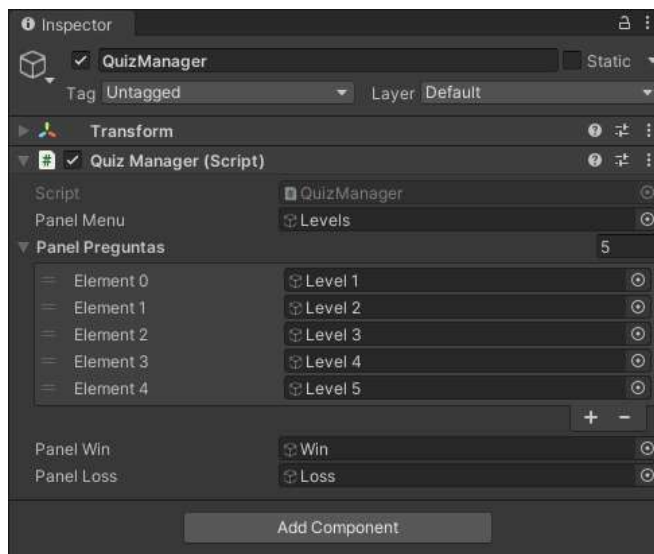
```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class QuizManager : MonoBehaviour
6  {
7      public GameObject panelMenu;
8      public GameObject[] panelPreguntas;
9      public GameObject panelWin;
10     public GameObject panelLoss;
11
12     private int preguntaActual = 0;
13
14     void Start()
15     {
16         IrAlMenu(); // Inicia en el menú
17     }
18
19     public void IrAlMenu()
20     {
21         DesactivarTodosLosPaneles();
22         panelMenu.SetActive(true);
23         preguntaActual = 0;
24     }
25
26     public void MostrarPregunta(int indice)
27     {
28         DesactivarTodosLosPaneles();
29         panelPreguntas[indice].SetActive(true);
30         preguntaActual = indice;
31     }
32
33     public void RepetirPregunta()
34     {
35         MostrarPregunta(preguntaActual);
36     }

```

Nota. La imagen muestra el script desarrollado para que el usuario pueda interactuar correctamente con las preguntas del quiz. Fuente: Autoría propia.

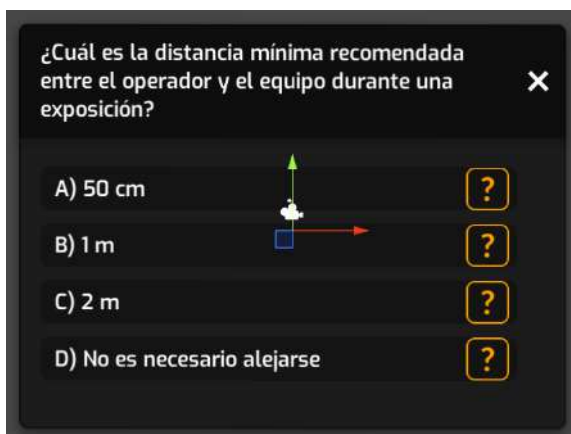
Para ejecutar el script previamente desarrollado, se crea un objeto denominado QuizManager, al cual se adjunta el script del mismo nombre. Este script expone tres campos configurables desde el Inspector: el primero permite asignar la lista de preguntas, mientras que los otros dos se utilizan para vincular los paneles de retroalimentación correspondientes a las respuestas correctas e incorrectas (figura 98).

Figura 98.*Quiz manager*

Nota. La imagen muestra la configuración del script QuizManager, el cual contiene paneles para todas las preguntas, respuestas correctas e incorrectas. Fuente: Autoría propia.

El objeto QuizManager fue referenciado en los botones de cada panel, permitiendo así la interacción dinámica entre el usuario y el sistema de evaluación, según la opción seleccionada.

En la figura 99 se muestra un ejemplo de pregunta planteada en el quiz, diseñada para evaluar si el usuario ha comprendido adecuadamente los contenidos abordados en los módulos anteriores. Las demás preguntas desarrolladas se adjuntan en el anexo E.

Figura 99.*Pregunta N01 del Quiz.*

Nota. La imagen muestra la primera pregunta del módulo quiz, que consiste en determinar la distancia mínima recomendada entre el operador y el equipo durante una exposición. Fuente: Autoría propia.

4.4.2 Técnicas de recolección de datos

Para la investigación desarrollada se aplican técnicas de carácter tecnológico y participativo. En primer lugar, se efectúa el escaneo tridimensional del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF mediante la aplicación Polycam, con el fin de obtener un modelo tridimensional de referencia para el desarrollo de la aplicación de realidad aumentada. Posteriormente, se realiza el diseño de la aplicación utilizando Unity, Vuforia Engine y su funcionalidad Model Target.

Finalmente, para evaluar la experiencia del usuario y recopilar datos sobre su percepción, se compartió un formulario de Google Forms destinado a recoger información respecto a la interacción con la aplicación.

4.4.3 Instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación se utilizaron diversos instrumentos de recolección de datos. Se empleó como objeto físico de referencia un equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, el cual fue escaneado mediante la aplicación Polycam obteniendo un modelo tridimensional del mismo. Posteriormente, se utilizó el software Unity en conjunto con Vuforia Engine y su funcionalidad Model Target para el desarrollo de la aplicación.

Adicionalmente, se utilizó un formulario de Google para recopilar información sobre el nivel de satisfacción de los usuarios tras la interacción con la aplicación.

4.5 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de la investigación desarrollada se utilizaron las respuestas obtenidas a través del formulario de Google Forms, las cuales fueron exportadas a Microsoft Excel para su procesamiento. Se aplicó un análisis estadístico descriptivo, calculando frecuencias y porcentajes para evaluar la percepción de los usuarios en base a los indicadores planteados.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1 Presentación y análisis de resultados.

El presente proyecto desarrolló una solución innovadora que permite capacitar de manera eficiente al personal de salud, tanto en Lima como en las distintas regiones del país, en el uso adecuado del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida. La propuesta planteada busca superar las limitaciones inherentes a las capacitaciones presenciales tradicionales, las cuales suelen estar restringidas a un número reducido de participantes y resultan logísticamente más complejas y costosas de implementar en provincias. Algo similar, sucede con las capacitaciones virtuales, que están sujetas a la disponibilidad del usuario y a su conectividad a internet, en zonas rurales, la conexión a internet no suele ser buena.

Con el desarrollo de la aplicación de realidad aumentada, la dinámica de capacitación se transforma significativamente. La herramienta permite que la capacitación llegue de manera inmediata a un mayor número de usuarios, mediante el simple envío de la aplicación por correo electrónico o enlace de descarga, eliminando la necesidad de coordinar sesiones presenciales o esperar a que el usuario se encuentre disponible. De esta forma, se logró extender la capacitación a distintos usuarios de treinta y dos centros de salud, ubicados tanto en Lima como en provincias, democratizando el acceso al conocimiento y estandarizando el procedimiento de uso del equipo.

5.1.1 Flujo de la aplicación

La aplicación de RA desarrollada para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF bajo la modalidad autodirigida, ha sido estructurada en cuatro módulos principales. La aplicación inicia con un menú principal, que muestra los módulos previamente mencionados: Introducción, partes del equipo, guía de uso y quiz, esto acompañado de un modelo 3D del equipo que permite al usuario

familiarizarse con él. La figura 100 ilustra la disposición del menú principal y modelo 3D incorporado en la aplicación en un entorno real.

Figura 100.

Aplicación en ejecución: Menú principal.



Nota. La imagen muestra la ejecución de la escena que engloba el menú principal de la aplicación y consta de cuatro módulos: introducción, partes del equipo, guía de uso y quiz. Fuente: Autoría propia

Al ingresar al primer módulo: Introducción, el usuario podrá visualizar información básica acerca del uso y objetivos de la aplicación, una breve introducción a los módulos y una guía rápida para el uso de la realidad aumentada implementada dentro de la aplicación. Esto se detalla en la siguiente figura.

Figura 101.

Aplicación en ejecución: Introducción.



Nota. La imagen muestra la ejecución del módulo Introducción que abarca una breve descripción de la aplicación, de los módulos desarrollados y una guía rápida de cómo interactuar correctamente con las herramientas de realidad aumentada. Fuente: Autoría propia

En el segundo módulo, el usuario accede a un menú con las principales partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Desde esta interfaz, es posible seleccionar

la parte de interés y, a continuación, ingresar a la sección de realidad aumentada, donde la parte elegida se visualiza a detalle, permitiendo identificar sus características específicas e interactuar con ella de manera dinámica.

La figura 102 muestra la interfaz correspondiente a este módulo.

Figura 102.

Aplicación en ejecución: Principales partes del equipo.



Nota. La imagen muestra la ejecución del módulo Partes del equipo, donde se observan las once partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, en este apartado el usuario puede seleccionar la parte de interés para identificar. Fuente: Autoría propia

En la figura 103 se muestra el resultado de la interacción con la aplicación de realidad aumentada aplicada al panel de control del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. En esta interfaz se destacan los principales indicadores y controles operativos, tales como: el indicador Ready, que señala cuando el equipo se encuentra preparado para realizar una exposición; el indicador X-Ray, que permite ejecutar la exposición; las teclas de ajuste de kV y mAs; la opción de inversión de pantalla; así como los botones correspondientes a la lámpara del colimador y los punteros láser.

Figura 103.*Aplicación en ejecución: Panel principal.*

Nota. La imagen muestra la ejecución del sub-módulo panel de control, ubicado en el módulo Partes del equipo. Tras activar la herramienta de realidad aumentada aparece un canva con las principales características de la parte seleccionada. Fuente: Autoría propia

Otro ejemplo de interacción se muestra en la figura 104, correspondiente al colimador del equipo de rayos x. Al seleccionar esta parte del equipo, se accede al entorno de realidad aumentada, donde se proporciona información técnica relevante al usuario. Se describe al colimador como un dispositivo destinado a limitar el área de radiación, el cual emplea una lámpara halógena de 12V/50W con un tiempo de encendido de 30 segundos. Asimismo, se especifican las dimensiones mínima y máxima del campo de radiación que el equipo es capaz de abarcar. Las demás interacciones referentes a las partes del equipo se encuentran en el anexo F.

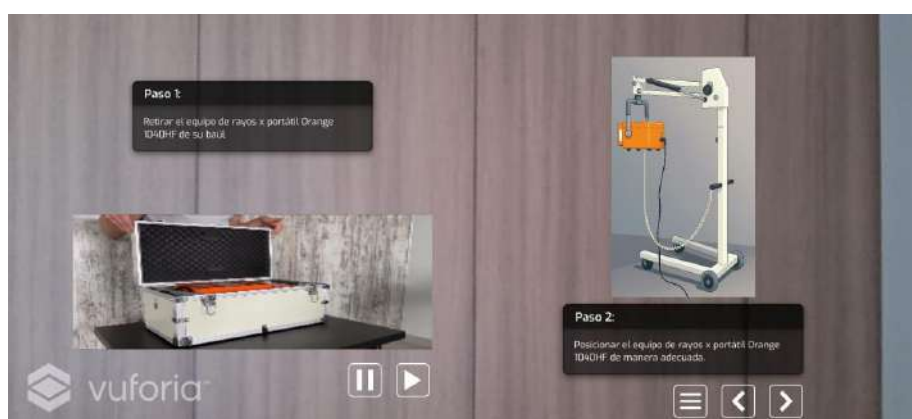
Figura 104.*Aplicación en ejecución: Colimador.*

Nota. La imagen muestra la ejecución del sub-módulo colimador, ubicado en el módulo Partes del equipo. Tras activar la herramienta de realidad aumentada aparece un canva con las principales características de la parte seleccionada. Fuente: Autoría propia

En el tercer módulo: guía de uso, se organizan diversas secciones destinadas a orientar la correcta operación del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. El usuario empieza con una guía visual, videos e imágenes, para el adecuado posicionamiento del equipo en su respectivo coche de transporte (figura 105).

Figura 105.

Guía de uso: Escena 1



Nota. La imagen muestra la ejecución de la primera parte del módulo guía de uso, donde se indican los pasos a seguir para retirar del baúl, al equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, y posicionarlo en su coche. Fuente: Autoría propia

Posteriormente, se abordan los pasos de verificación del hand switch, conexión del cable de poder y el encendido del sistema, tal como se ilustra en las figuras 106 y 107.

Figura 106.

Guía de uso: Escena 2



Nota. La imagen muestra la ejecución de la segunda parte del módulo guía de uso, donde se debe verificar que el hand switch esté correctamente conectado al equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura 107.

Guía de uso: Escena 3



Nota. La imagen muestra la ejecución de la tercera parte del módulo guía de uso, donde se debe conectar el cable de poder al equipo de rayos x portátil Orange 1040HF y accionar el switch principal. Fuente: Autoría propia.

La siguiente sección corresponde a la selección de los factores radiológicos a emplear, donde el usuario debe establecer los valores de kilo-voltaje y miliamperio-segundos adecuados para el estudio a realizar. Previo a la manipulación del panel de control para el ingreso de dichos parámetros, se presenta una sección de ayuda que incluye ejemplos de estudios junto con sus valores referenciales de kV y mAs (Figura 108).

Figura 108.

Guía de uso: Escena 4



Nota. La imagen muestra la ejecución de la cuarta parte del módulo guía de uso, donde se muestran diversos estudios en base a las partes anatómicas de una persona, asimismo, se sugieren valores de kV, mAs y mA. Fuente: Autoría propia.

La siguiente sección comprende una guía de uso del panel de control, destinada a la configuración de los parámetros de kV y mAs en el equipo, los cuales se detallan en la figura siguiente.

Figura 109.

Guía de uso: Escena 5.



Nota. La imagen muestra la ejecución de la quinta parte del módulo guía de uso, donde se deben seleccionar los factores radiológicos a utilizar y accionar el colimador. Fuente: Autoría propia.

A continuación, se muestra la sección dedicada al uso de las perillas de colimación, empleadas para que el personal pueda ajustar con precisión el área de radiación, tal como se muestra en la figura 110.

Figura 110.

Guía de uso: Escena 6



Nota. La imagen muestra la ejecución de la sexta parte del módulo guía de uso, donde se debe ajustar el área de radiación mediante las perillas de colimación para evitar irradiar innecesariamente al paciente. Fuente: Autoría propia.

Ya en la última sección del módulo: guía de uso, se recomienda al personal la colocación del mandil de plomo y demás accesorios de protección radiológica. Asimismo, se incorpora un vídeo de guía para el uso correcto del hand switch y con ello proceder a la adquisición de la imagen radiográfica del paciente (figura 111).

Figura 111.

Guía de uso: Escena 7



Nota. La imagen muestra la ejecución de la séptima parte del módulo guía de uso, se sugiere el uso de elementos de protección radiológica para posteriormente realizar la emisión de rayos x y adquirir una imagen radiográfica. Fuente: Autoría propia.

Por último, el usuario puede acceder al cuarto módulo, denominado quiz, el cual consiste en una evaluación de los conocimientos adquiridos mediante el uso de la aplicación. Este módulo presenta un menú principal con distintos niveles de preguntas, como se muestra en la figura 112.

Figura 112.

Quiz: Menú principal

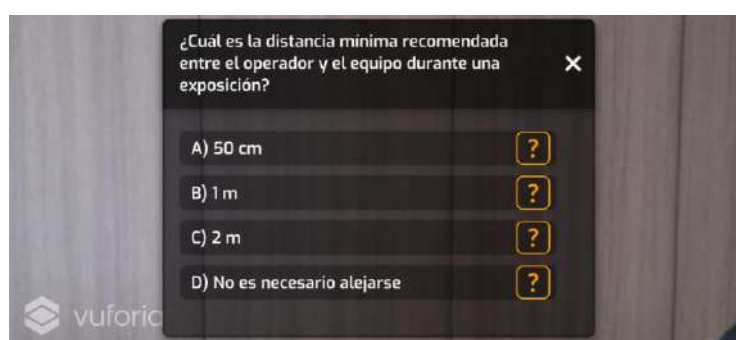


Nota. La imagen muestra la ejecución del módulo quiz, donde se visualizan las distintas preguntas que tienen como finalidad brindar una retroalimentación al usuario. Fuente: Autoría propia.

Al seleccionar uno de los niveles disponibles, el usuario accede a una pregunta relacionada con los contenidos presentados en los módulos anteriores. Por ejemplo, al seleccionar el nivel 1, se presenta la siguiente pregunta “¿Cuál es la distancia mínima recomendada entre el operador y el equipo durante una exposición?”. Para responderla se ofrecen cinco opciones, de las cuales solo una es correcta, tal como se muestra en la figura 113.

Figura 113.

Quiz: Pregunta 1



Nota. La imagen muestra la primera pregunta del módulo quiz, que consiste en indicar cuál es la distancia mínima recomendada entre el operador y el equipo de rayos x durante una exposición. Fuente: Autoría propia.

Al seleccionar la respuesta correcta, el usuario obtiene un pase para la siguiente pregunta (Figura 114), lo que permite corroborar la eficacia de la aplicación en el aprendizaje autodirigido.

Figura 114.

Quiz: Panel de respuesta correcta



Nota. La imagen muestra la interfaz que aparece al seleccionar la respuesta correcta a cualquiera de las preguntas planteadas. Fuente: Autoría propia.

En caso de responder incorrectamente, la aplicación muestra un mensaje de aliento y ofrece la opción de repetir el quiz (Figura 115).

Figura 115.

Panel de respuesta incorrecta



Nota. La imagen muestra la interfaz que aparece al seleccionar la respuesta incorrecta a cualquiera de las preguntas planteadas. Fuente: Autoría propia.

5.1.2 Pruebas de funcionamiento

Con el propósito de validar la efectividad de la aplicación de RA desarrollada para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en modalidad autodirigida, se realizaron pruebas de funcionamiento con usuarios de diversos establecimientos de salud, tanto en Lima como en provincia.

A continuación, se presentan algunos ejemplos representativos de las pruebas realizadas en los establecimientos de salud, los cuales corresponden una porción del total de las evaluaciones efectuadas.

5.1.2.1 Centro de Salud Nuevo Milenio – Tambopata

En el Centro de Salud Nuevo Milenio, ubicado en Tambopata – Madre de Dios se llevó a cabo la prueba de funcionamiento el 22 de julio. Todos los participantes lograron acceder sin inconvenientes a la aplicación y a cada uno de sus módulos. Durante el uso de la aplicación, el personal logró identificar correctamente las distintas partes del equipo de rayos x portátil, realizar la operación del equipo siguiendo la guía interactiva de la aplicación y recibir retroalimentación inmediata mediante el quiz integrado (figura 116).

Figura 116.*Pruebas de operatividad N01.*

Nota. La imagen muestra a un personal del Centro de Salud Nuevo Milenio utilizando la aplicación de realidad aumentada para interactuar con la parte superior del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

5.1.2.2 Centro Materno Infantil José Gálvez

En el Centro Materno Infantil José Gálvez, ubicado en Lima, se llevó a cabo la prueba de funcionamiento el 24 de julio, los participantes lograron acceder satisfactoriamente a la aplicación y a cada uno de sus módulos. Durante la capacitación autodirigida lograron identificar las principales partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, ejecutar de manera guiada el procedimiento correcto de operación y responder al cuestionario integrado (figura 117).

Figura 117.*Pruebas de operatividad N02.*

Nota. La imagen muestra a un personal del Centro Materno Infantil José Gálvez utilizando la aplicación de realidad aumentada para interactuar con la parte superior del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

5.1.2.3 Centro Materno Infantil Tahuantinsuyo Bajo

En el Centro Materno Infantil Tahuantinsuyo Bajo, ubicado en Lima, se llevó a cabo la prueba de funcionamiento el 22 de agosto, los participantes pudieron acceder a los módulos de la aplicación. Durante la sesión, los participantes identificaron correctamente las principales partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, siguiendo de manera autónoma la guía interactiva para la operación del equipo y completaron el cuestionario integrado en la aplicación (figura 118).

Figura 118.

Pruebas de operatividad N03.



Nota. La imagen muestra a un personal del Centro Materno Infantil Tahuantinsuyo Bajo resolviendo el quiz implementado en la aplicación de realidad aumentada. Fuente: Autoría propia.

5.1.2.3.1 Centro de Salud Fortaleza Contingencia

En el Centro de Salud Fortaleza Contingencia, ubicado en Lima, se realizaron las pruebas de funcionamiento, los participantes lograron acceder a la aplicación y módulos. Durante la capacitación los participantes reconocieron las principales partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, practicaron los pasos de operación a través de la guía interactiva y respondieron el cuestionario integrado, obteniendo retroalimentación inmediata (figura 119).

Figura 119.

Pruebas de operatividad N04.



Nota. La imagen muestra a un personal del Centro de Salud Fortaleza Contingencia utilizando la aplicación de realidad aumentada para interactuar con la parte lateral del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de un cuestionario, elaborado en la plataforma Google Forms, dirigido al personal que interactuó con la aplicación de realidad aumentada desarrollada para la capacitación en el uso del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.

El cuestionario, cuyo detalle se encuentra en el anexo H, fue diseñado en base a los siguientes indicadores clave: principales partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, pasos a seguir para el correcto uso del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, evaluación y retroalimentación sobre las partes y el uso correcto del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, accesibilidad temporal, accesibilidad geográfica, autonomía, repetibilidad, tiempo de aprendizaje, retención del conocimiento, reducción de errores y satisfacción con el aprendizaje.

6.1 Identificación, evaluación y retroalimentación de las principales partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF y autonomía en el uso de la aplicación

La primera pregunta del cuestionario abarcó tres indicadores: principales partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, evaluación y retroalimentación sobre las principales partes del equipo de rayos Orange 1040HF y autonomía en el uso de la aplicación. Según lo mostrado en la Tabla 13, el 78.10% de los usuarios manifestó estar “totalmente de acuerdo” y el 21.90% “de acuerdo” en que la aplicación les permitió identificar de manera clara y autónoma las partes del equipo.

Este resultado evidencia que la aplicación promueve la autonomía del usuario en el reconocimiento de los elementos físicos del equipo, sin requerir la presencia constante de algún instructor. Asimismo, se infiere una retención más efectiva del conocimiento

atribuida al uso de realidad aumentada y a la retroalimentación proporcionada a través del quiz.

Tabla 13

Nivel de acuerdo de los participantes respecto a la claridad y autonomía para identificar las partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF

Nivel de acuerdo	Cantidad	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente de acuerdo	25	78.10%	78.10%
De acuerdo	7	21.90%	100.00%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0.00%	100.00%
En desacuerdo	0	0.00%	100.00%
Totalmente en desacuerdo	0	0.00%	100.00%
Total	32	100.00%	

Nota. La tabla muestra el nivel de acuerdo, tanto en valor numérico como en porcentaje, de los participantes respecto a la claridad y autonomía para identificar las partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.

6.2 Identificación, evaluación y retroalimentación de los pasos a seguir para el correcto uso del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF y reducción de errores.

La segunda pregunta del cuestionario abarcó los indicadores relacionados con los pasos a seguir para el correcto uso del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, evaluación u retroalimentación sobre el uso correcto del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF y la reducción de errores. Según lo mostrado en la Tabla 14, el 25.00% de los usuarios están “totalmente de acuerdo” en que la aplicación les permitió comprender los pasos de uso del equipo y reducir errores en el proceso, mientras que el 21.90% indicó estar “de acuerdo” y el 3.10% señaló estar “ni de acuerdo ni en desacuerdo”.

Por lo tanto, se puede observar que los usuarios coinciden en que la aplicación contribuyó significativamente a la comprensión del procedimiento operativo del equipo, reduciendo la posibilidad de cometer errores durante su manipulación. Esto

indica que la representación visual y la posibilidad de repetir las instrucciones de manera autónoma favorecen la consolidación del aprendizaje.

Tabla 14

Nivel de acuerdo de los participantes respecto a la utilidad de la aplicación para comprender los pasos de uso del equipo y reducir errores en el proceso

Frecuencia	Cantidad	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente de acuerdo	24	75.00%	75.00%
De acuerdo	7	21.90%	96.90%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	3.10%	100.00%
En desacuerdo	0	0.00%	100.00%
Totalmente en desacuerdo	0	0.00%	100.00%
Total	32	100.00%	

Nota. La tabla muestra el nivel de acuerdo, tanto en valor numérico como en porcentaje, de los participantes respecto a la utilidad de la aplicación para comprender los pasos de uso del equipo y reducir errores en el proceso.

6.3 Repetibilidad y retención del conocimiento

La tercera pregunta del cuestionario abarcó los indicadores relacionados con la repetibilidad y retención del conocimiento. Según lo mostrado en la Tabla 15, el 23.00% de los usuarios consideró que la aplicación fue “muy útil” para reforzar su aprendizaje y facilitar la repetición del contenido cuando se necesitó, mientras que el 21.90% indicó que la aplicación fue “útil” y el 6.20% manifestó una postura “neutral”.

Los resultados obtenidos muestran que los participantes del cuestionario valoraron positivamente la utilidad de la visualización en 3D para reforzar el aprendizaje y facilitar la repetición del contenido. Esta función permitió a los usuarios interactuar directamente con modelos digitales, promoviendo un aprendizaje basado en la experiencia.

Tabla 15

Nivel de utilidad percibida de la visualización en 3D para reforzar el aprendizaje y facilitar la repetición del contenido

Frecuencia	Cantidad	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Muy útil	23	71.90%	71.90%
Útil	7	21.90%	93.80%
Neutral	2	6.20%	100.00%
Poco útil	0	0.00%	100.00%
Nada útil	0	0.00%	100.00%
Total	32	100.00%	

Nota. La tabla muestra el nivel de utilidad percibida, tanto en valor numérico como en porcentaje, de los participantes respecto a la visualización en 3D para reforzar el aprendizaje y facilitar la repetición del contenido.

6.4 Accesibilidad temporal y accesibilidad geográfica

La cuarta pregunta del cuestionario abarca los indicadores de accesibilidad temporal y accesibilidad geográfica. Según lo mostrado en la Tabla 16, el 25.00% del personal indicó que la aplicación fue “muy accesible” considerando el horario, lugar de uso y facilidad de navegación, mientras que el 21.90% lo consideró “accesible”.

Los resultados demuestran que la aplicación fue percibida como altamente accesible en términos de disponibilidad horario, ubicación geográfica y usabilidad. Esto pone en evidencia su capacidad para democratizar el acceso a la capacitación, sin limitaciones de tiempo o lugar. Además, el diseño de la interfaz intuitivo y amigable fue reconocido por los participantes como un factor que facilita la navegación y comprensión del contenido.

Tabla 16

Percepción de accesibilidad de la aplicación en relación con el horario, lugar de uso y facilidad de navegación

Frecuencia	Cantidad	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Muy accesible	25	78.10%	78.10%
Accesible	7	21.90%	100.00%
Neutral	0	0.00%	100.00%
Poco accesible	0	0.00%	100.00%

Nada accesible	0	0.00%	100.00%
Total	32	100.00%	

Nota. La tabla muestra el nivel de accesibilidad percibida, tanto en valor numérico como en porcentaje, de los participantes respecto a la aplicación en relación con el horario, lugar de uso y facilidad de navegación.

6.5 Tiempo de aprendizaje, retención del conocimiento y satisfacción con el aprendizaje.

La quinta pregunta del cuestionario abarcó los siguientes indicadores: tiempo de aprendizaje, retención del conocimiento y satisfacción con el aprendizaje. Según lo mostrado en la Tabla 17, el 90.60% de los usuarios indicó estar “totalmente de acuerdo” en que la aplicación les permitió optimizar la velocidad de aprendizaje, mejorar la retención del conocimiento y aumentar la satisfacción con la experiencia, mientras que el 9.40% manifestó estar “de acuerdo” con dicha afirmación.

Los resultados obtenidos muestran que los participantes consideraron que la aplicación representa una alternativa más eficiente frente al modelo tradicional de capacitación. Varios usuarios resaltaron que el tiempo de aprendizaje se redujo considerablemente, permitiéndoles adquirir los conocimientos esenciales en un menor lapso de tiempo y de forma más intuitiva.

Además, se valoró positivamente la posibilidad de que cada usuario pueda aprender a su propio ritmo, repitiendo los módulos cuantas veces sea necesario, lo que contrasta con la rigidez de las sesiones presenciales. Esta flexibilidad y autonomía en el proceso de aprendizaje se tradujo en un mayor nivel de satisfacción.

Tabla 17

Comparación con la capacitación tradicional respecto a velocidad de aprendizaje, satisfacción y retención del conocimiento

Frecuencia	Cantidad	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Totalmente de acuerdo	29	90.60%	90.60%
De acuerdo	3	9.40%	100.00%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0.00%	100.00%

En desacuerdo	0	0.00%	100.00%
Totalmente en desacuerdo	0	0.00%	100.00%
Total	32	100.00%	

Nota. La tabla muestra el nivel de acuerdo, tanto en valor numérico como en porcentaje, de los participantes respecto a la mejora en la velocidad de aprendizaje, satisfacción y retención del conocimiento en comparación con las capacitaciones tradicionales.

Otro aspecto destacado fue la reducción significativa de los costos asociados a la logística de capacitación. En modelos tradicionales, es frecuente incurrir en gastos de transporte, alimentación, alojamiento, entre otros, especialmente cuando la capacitación se realiza en provincias o fuera de la sede principal. Con la aplicación desarrollada, estos gastos disminuyen significativamente, dado que los usuarios pueden capacitarse de manera autodirigida.

En el marco de la presente investigación, se incluye un cuadro referencial de viáticos (Tabla 18) proporcionado por el área de servicio técnico (SSTT) de la empresa Gamel S.R.L. correspondiente a un servicio de capacitación realizada en el Centro de Salud Micaela Bastidas, Piura, el 9 de setiembre de 2025.

Tabla 18

Cuadro referencial de viáticos para un viaje por motivo de capacitación usuaria.

Nº	Solicitante	Fecha de solicitud	Servicio a realizar	Cliente	Ingeniero a cargo	Destino	Fecha de salida	Fecha de retorno
30	Área de SSTT	9/07/2025	Capacitación	Socios en Salud Sucursal Perú CS Micaela Bastidas	Carlos Saldaña Amézquita	Piura	9/07/2025	10/07/2025

Nota. La tabla muestra una solicitud de emisión de viáticos por parte del área de SSTT para un servicio de capacitación en Piura con fecha 09/07/2025, a cargo del Ing. Carlos Saldaña Amézquita.

Para dicho servicio se incurrió en múltiples gastos por pasajes aéreos, alimentación, hospedaje, traslados, insumos y otros conceptos, alcanzando un monto total de S/ 1 428.00, cuyo detalle se muestra en la Tabla 19.

Por otro lado, el único gasto asociado al desarrollo de la aplicación de realidad aumentada corresponde a la suscripción mensual del software Polycam, necesaria para obtener el modelo 3D del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en un formato compatible para su implementación en Unity. Este gastó ascendió a S/ 120.00. Asimismo, se consideró el costo de horas – hombre, equivalente a seis días de trabajo valorizados en S/ 600.00, lo que representa un gasto único total de S/ 920.00.

Es importante precisar que este gasto se realizó una sola vez, exclusivamente para el desarrollo de la aplicación, y no implica costos recurrentes para su utilización posterior. En contraste con la capacitación presencial, la cual conlleva gastos permanentes como viáticos, movilidad, alojamiento, entre otros, detallados en la Tabla 19. De manera similar, la capacitación virtual mediante videollamadas o plataformas de videoconferencia implican también una demanda continua de recursos, tales como horas – hombre, acceso a internet estable y coordinación constante de horarios.

Tabla 19

Detalle de los montos solicitados para un viaje por motivo de capacitación usuaria

Detalle	Cantidad	Monto	Total
Pasaje aéreo (ida)	1	S/ 556.00	S/ 556.00
Pasaje aéreo (regreso)	1	S/ 342.00	S/ 342.00
Alimentación	3	S/ 50.00	S/ 150.00
Hospedaje	1	S/ 60.00	S/ 60.00
Traslados (Lima)	2	S/ 50.00	S/ 100.00
Transporte (provincia)	1	S/ 80.00	S/ 80.00
Movilidad zonal	4	S/ 10.00	S/ 40.00
Insumos y otros	1	S/ 100.00	S/ 100.00
		Total	S/ 1,428.00

Nota. La tabla muestra el detalle de los montos solicitados para el servicio de capacitación realizado en Piura: pasaje aéreo, alimentación, hospedaje, traslados, movilidad, insumos y otros.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

- Se recopiló y organizó de manera sistemática la información técnica esencial del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, lo cual permitió disponer de contenidos estructurados y adecuados para su comprensión en un entorno de aprendizaje autodirigido.
- Se diseñó una aplicación de realidad aumentada que integra módulos sobre las principales partes del equipo, los pasos para su correcta operación y una sección de retroalimentación.
- Se validó la aplicación con distintos usuarios en treinta y dos centros de salud a nivel nacional, lo cual evidenció mejoras significativas en la eficiencia de la capacitación autodirigida, resaltando la accesibilidad temporal y geográfica, la autonomía y la repetibilidad, así como un impacto positivo en las competencias adquiridas. Los participantes mostraron una reducción en el tiempo de aprendizaje, mayor retención del conocimiento, disminución de errores y satisfacción con la experiencia de aprendizaje.
- Se cumplió con el objetivo general planteado, demostrando que la aplicación de realidad aumentada es una herramienta eficaz para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en modalidad autodirigida, aportando además una alternativa innovadora aplicable a la formación en el ámbito de la salud.

CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar la implementación de la aplicación a un número mayor de establecimientos de salud, con el propósito de consolidar la evidencia estadística y analizar posibles variaciones en su eficacia según distintos contextos clínicos.
- Se recomienda, como línea de trabajo futuro, extender el uso de la aplicación a los procesos de evaluación, planificación y mejora de la infraestructura en hospitales y otros centros de salud.
- Se recomienda desarrollar estudios de seguimiento longitudinal que permitan evaluar el impacto sostenido de la aplicación de realidad aumentada en el tiempo, considerando indicadores como la retención de conocimientos, la reducción de errores operativos, el cumplimiento de protocolos de seguridad y la mejora en el desempeño del personal.

CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA

- Aivaliotis, S. y Papavasileiou, A. y Konstantinou, C. y Anastasiou, T. y Gkournelos, C. y Koukas, S. y Makris, S. (2024). An interactive Augmented Reality based framework assisting operators in. In *ScienceDirect* (pp. 170–175). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.08.319>
- Awasthi, D. y Shukla, P. (2024). *Radiación Electromagnética: Importancia y aplicación*. Ediciones Nuestro Conocimiento.
- Brosed Serreta, A. (n.d.). *Fundamentos de Física Médica*. Aula Documental de Investigación (ADI).
- Caballero Garriazo, J. A. (2023). *Aplicación de un nuevo modelo 3D de realidad aumentada en la capacidad espacial de los estudiantes de ingeniería en una universidad de Lima*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Contraloría General de la República. (2023). *Contraloría detecta equipos médicos inoperativos y defectuosos por más de S/ 12 millones en el Callao*. Plataforma del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/contraloria/noticias/771393-contraloria-detecta-equipos-medicos-inoperativos-y-defectuosos-por-mas-de-s-12-millones-en-el-callao>
- Contraloría General de la República. (2024a). *Contraloría advierte inoperatividad de equipos en hospitales de primer nivel de atención de San Martín* (Plataforma del Estado Peruano, Ed.). <https://www.gob.pe/institucion/contraloria/noticias/933246-contraloria-advierde-inoperatividad-de-equipos-en-hospitales-de-primer-nivel-de-atencion-de-san-martin>
- Contraloría General de la República. (2024b). *Contraloría alerta inexistencia e inoperatividad de equipos en cuatro centros de salud de Ica* (Plataforma del Estado

Peruano, Ed.). <https://www.gob.pe/institucion/contraloria/noticias/957952-contraloria-alerta-inexistencia-e-inoperatividad-de-equipos-en-cuatro-centros-de-salud-de-ica>

Contraloría General de la República. (2024c). Encuentran equipos de rayos X inoperativos en Hospital del Niño en Breña y falta de médicos radiólogos. *Plataforma del Estado Peruano*. <https://www.gob.pe/institucion/contraloria/noticias/1013442-encuentran-equipos-de-rayos-x-inoperativos-en-hospital-del-nino-en-brena-y-falta-de-medicos-radiologos>

Doran, J. (2023). *Unity 2022 Mobile Game Development*. Packt Publishing.

Ecoray. (2022a). *Diagnostic x-ray unit: User Manual*.

Ecoray. (2022b). *Equipo de rayos x portátil Ultra 100. Manual de operación*.

Ecoray. (2024). *HF-525 Plus (Single Phase) Ecoview9 Plus (Three Phase)*.

El Peruano. (2019). *Senati innova aprendizaje con realidad aumentada* (Diario Oficial del Bicentenario: El Peruano, Ed.). <https://elperuano.pe/noticia/81322-senati-innova-aprendizaje-con-realidad-aumentada>

Encinas Quea, K. Y. (2020). *Diseño e implementación de un prototipo de lentes con realidad aumentada que instruya al nueva personal para realizar el mantenimiento de tableros eléctricos en subestaciones de distribución del tipo interior*. Universidad Tecnológica del Perú.

Espinosa de la Rosa, R. (2023). *Sistemas de Realidad Virtual y Realidad Aumentada en pacientes con Baja Visión*. Universidad de Valladolid.

Essam, M. (2024). *Mastering Unity Game Development with C#*. Packt Publishing.

Fuente, M. d y Jiménez, C. y Pérez, S. (2024). *Experiencias inmersivas. Realidad virtual y realidad aumentada en periodismo, publicidad y artes*. Editorial Tirant Lo Blanch.

Garcés Moncayo, D. M. (2024). *Simulación de una aplicación de realidad aumentada para el mantenimiento de un equipo médico*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Gracia Otálvaro, R. (2020). *Aplicación de la realidad aumentada para el mantenimiento de equipos industriales*. Universidad Pontificia Comillas.

IKEA Place. (2025). *IKEA Place AR app*. <https://www.ikea.com/>

Instituto Peruano de Energía Nuclear. (2024). *Protección Radiológica en Radiodiagnóstico Médico*. IPEN.

Jaramillo, N. A. y Macas, R. E. (2020). *DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL CON REALIDAD AUMENTADA QUE APOYE EL PROCESO DE ENSEÑANZA - APRENDIZAJE DEL USO DE LOS EQUIPOS DE LABORATORIO DE MÁQUINAS CNC DE LA CARRERA DE MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA*. Universidad Politécnica Salesiana.

Kan, A. y Tosevka, A. y Klager, E. y Eibensteiner, F. y Laxar, D. y Stoyanov, J. y others. (2021). Virtual and Augmented Reality Applications in Medicine: Analysis of the Scientific Literature. *Journal of Medical Internet Research*. <https://doi.org/10.2196/25499>

Linowes, J. (2021). *Augmented Reality with Unity AR Foundation*. Packt Publishing.

Lozado Yáñez, R. M. (2023). *Modelo de realidad aumentada que considere características cognitivas para aprendizaje de niños en edad escolar*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Microsoft. (2025). *Microsoft Mixed Reality*. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/develop/>

Nacarino Guevara, J. R. (2022). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos médicos del área de hospitalización del Hospital Simón Bolívar de Cajamarca - 2021*. Universidad Privada del Norte.

Navarro, F. y Martínez, A. y Martínez, M. (2019). *Realidad virtual y Realidad Aumentada: Desarrollo de aplicaciones*. Ediciones de la U.

Osso VR. (2024). *Osso VR*. <https://www.ossovr.com/>

- Palacios Estrada, B. F. (2021). *Diseño de implementación de un sistema para información de productos del sector retail basado en realidad aumentada*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Polycam. (2025a). Creating LiDAR captures. In *Polycam*. <https://learn.poly.cam/hc/en-us/articles/27419935601940-Creating-LiDAR-Captures>
- Polycam. (2025b). Creating photogrammetry captures in object mode. In *Polycam*. <https://learn.poly.cam/hc/en-us/articles/27425185907348-Creating-Photogrammetry-Captures-in-Object-Mode>
- Polycam. (2025c). Using the Polycam App to create 3D models. In *Polycam*. <https://learn.poly.cam/hc/en-us/sections/30298203696788-Using-the-Polycam-App-to-Create-3D-Models>
- Pontificia Universidad Católica del Perú. (2021). *Real Life Learning: la realidad virtual en la industria*. Pontificia Universidad Católica del Perú: Vicerrectorado de Investigación. <https://investigacion.pucp.edu.pe/noticias-y-eventos/real-life-learning-la-realidad-virtual-en-la-industria/>
- Ruiz, M. y Johnston, T. (2023). *Realidad virtual y entornos inmersivos en educación superior*. Octaedro.
- Sánchez, G. D. (2024). *Protección radiológica en medicina: apuntes para estudiantes de física médica*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Serway, R. y Vuille, C. (2023). *Fundamentos de Física*. Cengage Learning.
- Tom, M. y Jung, T. y Loureiro, S. (2020). *Augmented Reality and Virtual Reality: New Trends in Immersive Technology*. Springer Nature Switzerland AG.
- Unity Technology. (2024a). *Create virtual and mixed reality experiences in Unity* (Unity Technology, Ed.).
- Unity Technology. (2024b). *How to start with Unity Technology* (Unity Technology, Ed.). <https://unity.com/es/download>

- Unity Technology. (2024c). *The definitive guide to animation in Unity* (Unity Technology, Ed.).
- Vacca, G. (2023). *3D Survey with Apple LiDAR Sensor - Test and Assessment for Architectural and Cultural Heritage*. Heritage.
- Valera Gómez, G. C. (2020). *APP de entrenamiento en realidad aumentada para Prevención de Riesgos Laborales*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Vallejo Pilataxi, M. A. (2024). *Revisión sistemática de la optimización de procesos industriales mediante la aplicación de realidad aumentada*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Vargas, F. y Mayhuasca, J. (2023). Realidad aumentada, para el proceso de enseñanza - aprendizaje del curso de química a nivel secundario en los colegios de Lambayeque. *Revista Peruana de Computación y Sistemas*, 41–51. <https://doi.org/10.15381/rpcs.v5i2.27137>
- Vuforia Engine. (2025a). Barcode Scanner. In *Vuforia Engine Library*. <https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/images-and-objects/barcode-scanner/barcode-scanner/>
- Vuforia Engine. (2025b). Cloud Image Recognition. Vuforia Engine Library. <https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/images-and-objects/cloud-recognition/cloud-recognition/>
- Vuforia Engine. (2025c). Cylinder Target. Vuforia Engine Library. <https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/images-and-objects/cylinder-targets/cylinder-targets/>
- Vuforia Engine. (2025d). Image Targets. In *Vuforia Engine Library*. <https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/images-and-objects/image-targets/image-targets/>
- Vuforia Engine. (2025e). Model Targets. In *Vuforia Engine Library*. <https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/images-and-objects/model-targets/model-targets/>

Vuforia Engine. (2025f). *Multi Targets*. Vuforia Engine Library.
<https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/images-and-objects/multi-targets/multi-targets/>

Vuforia Engine. (2025g). *VuMarks*. Vuforia Engine Library.
<https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/images-and-objects/vumarks/design-guide/vumark-design-guide/>

Wandong. (2024). Equipo de rayos x rodable digital. Manual de operación. In *Wandong M40-1: Manual de operación*.

CAPÍTULO X: ANEXOS

Anexo A

Tabla 20
Matriz de consistencia

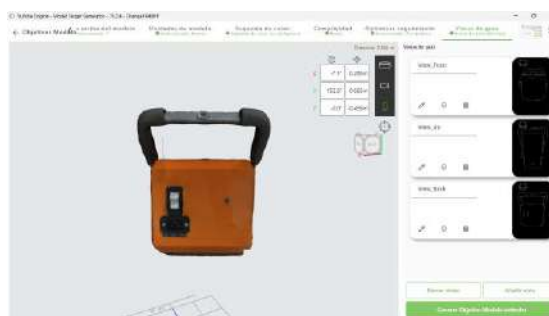
DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA LA CAPACITACIÓN EN EL MANEJO DEL EQUIPO DE RAYOS X PORTÁTIL ORANGE 1040HF EN LA MODALIDAD AUTODIRIGIDA					
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cómo desarrollar una aplicación de realidad aumentada para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida?	Desarrollar una aplicación de realidad aumentada para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida.	Es posible el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada para la capacitación en el manejo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF en la modalidad autodirigida.	Aplicación de realidad aumentada	1. Módulo de las principales partes del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. 2. Módulo de los pasos a seguir para el correcto uso del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. 3. Módulo de evaluación y retroalimentación sobre las partes y el uso correcto del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.	ENFOQUE: CUANTITATIVO
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Es posible recopilar y organizar la información técnica esencial del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF para su comprensión en un entorno autodirigido?	Recopilar y organizar la información técnica esencial del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF para su comprensión en un entorno autodirigido.	Es posible recopilar y organizar la información técnica esencial del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF para su comprensión en un entorno autodirigido.	1. Eficiencia de la capacitación autodirigida.	1.1. Accesibilidad temporal. 1.2. Accesibilidad geográfica. 1.3 Autonomía. 1.4 Repetibilidad.	TIPO: APLICADA
¿Cómo diseñar una aplicación de realidad aumentada que presente la información técnica mediante recursos digitales?	Diseñar una aplicación de realidad aumentada que presente la información técnica mediante recursos digitales.	Es posible diseñar una aplicación de realidad aumentada que presente la información técnica mediante recursos digitales.	2. Competencia adquirida en el manejo del equipo.	2.1. Tiempo de aprendizaje. 2.2. Retención del conocimiento. 2.3. Reducción de errores. 2.4. Satisfacción con el aprendizaje.	ALCANCE: DESCRIPTIVO DISEÑO: EXPERIMENTAL POBLACIÓN: MUESTRA: 51 establecimientos de salud 32 establecimientos de salud
¿Es posible validar la aplicación desarrollada mediante pruebas de operación con usuarios?	Validar la aplicación desarrollada mediante pruebas de operación con usuarios.	Es posible validar la aplicación desarrollada mediante pruebas de operación con usuarios.			

Nota: La tabla muestra la matriz de consistencia elaborada a partir del problema de investigación, los objetivos e hipótesis planteados, las variables, indicadores y metodología

Anexo B

Figura B1.

Guía visual para la vista trasera del modelo.



Nota. La imagen muestra la guía visual bidimensional para la vista trasera del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura B2

Guía visual para la vista lateral del modelo.

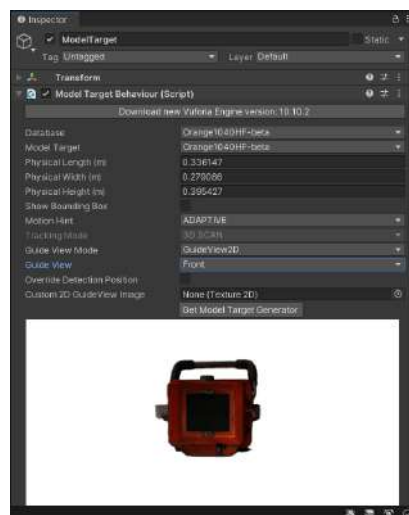


Nota. La imagen muestra la guía visual bidimensional para la vista lateral del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Anexo C

Figura C1

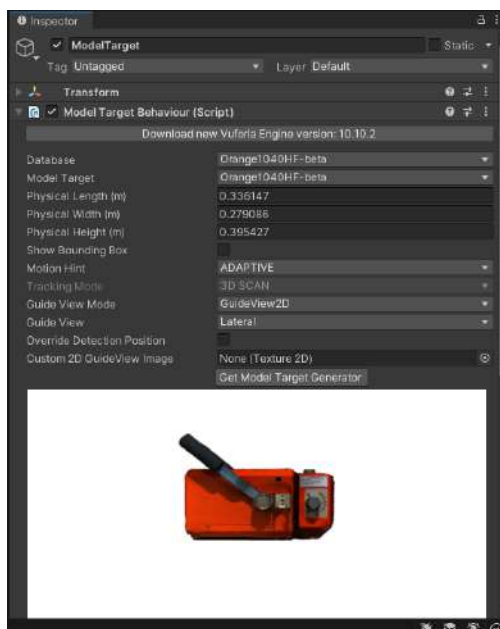
Guía 2D de la vista: Front.



Nota. La imagen muestra la guía 2D de la vista Front incorporada en el proyecto Unity a partir de la base de datos Orange1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura C2

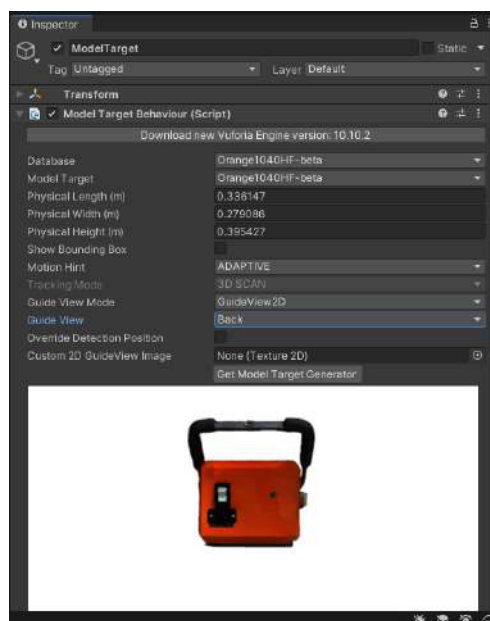
Guía 2D de la vista: Lateral.



Nota. La imagen muestra la guía 2D de la vista Lateral incorporada en el proyecto Unity a partir de la base de datos Orange1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura C3

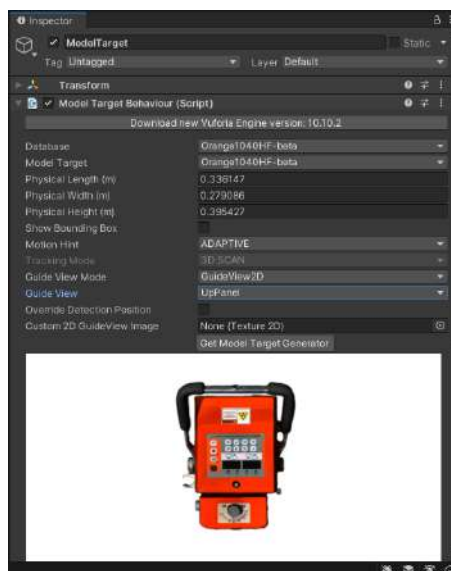
Guía 2D de la vista: Back.



Nota. La imagen muestra la guía 2D de la vista Back incorporada en el proyecto Unity a partir de la base de datos Orange1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura C4

Guía 2D de la vista: UpPanel.



Nota. La imagen muestra la guía 2D de la vista UpPanel incorporada en el proyecto Unity a partir de la base de datos Orange1040HF. Fuente: Autoría propia.

Anexo D

Figura D1

Partes del equipo de rayos x Orange 1040HF: Asa de transporte



Nota. La imagen muestra el desarrollo del canva para el asa de transporte del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, junto a un modelo tridimensional del mismo. Fuente: Autoría propia.

Figura D2

Partes del equipo de rayos x Orange 1040HF: Cinta métrica



Nota. La imagen muestra el desarrollo del canva para la cinta métrica del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, junto a un modelo tridimensional del mismo. Fuente: Autoría propia.

Figura D3

Partes del equipo de rayos x Orange 1040HF: Cuerpo principal



Nota. La imagen muestra el desarrollo del canva para el cuerpo principal del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, junto a un modelo tridimensional del mismo. Fuente: Autoría propia.

Figura D4

Partes del equipo de rayos x Orange 1040HF: Entrada de alimentación



Nota. La imagen muestra el desarrollo del canva para la entrada de alimentación del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, junto a un modelo tridimensional del mismo. Fuente: Autoría propia.

Figura D5

Partes del equipo de rayos x Orange 1040HF: Switch principal



Nota. La imagen muestra el desarrollo del canva para el switch principal del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, junto a un modelo tridimensional del mismo. Fuente: Autoría propia.

Figura D6

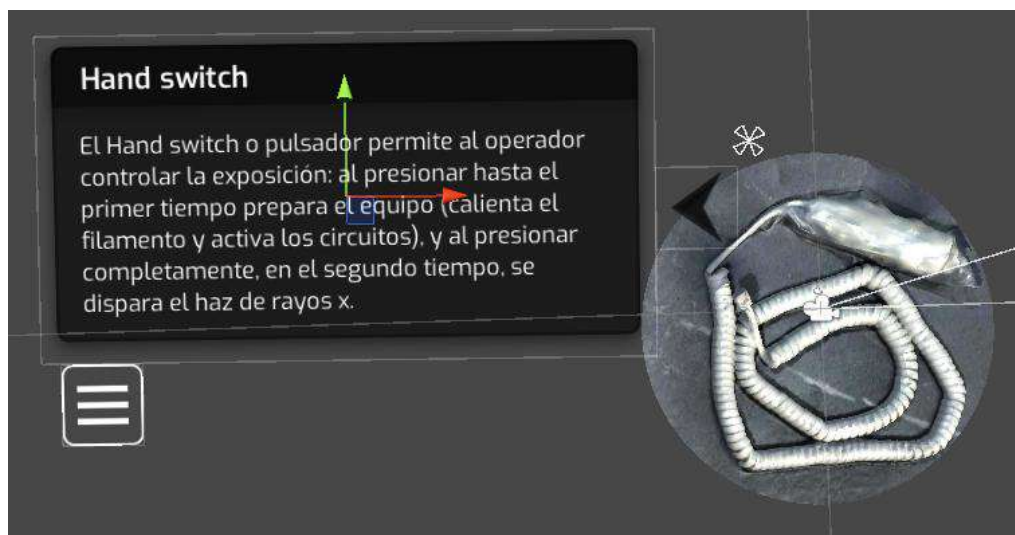
Partes del equipo de rayos x Orange 1040HF: Perillas del colimador



Nota. La imagen muestra el desarrollo del canva para las perillas del colimador del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, junto a un modelo tridimensional del mismo. Fuente: Autoría propia.

Figura D7

Partes del equipo de rayos x Orange 1040HF: Hand switch



Nota. La imagen muestra el desarrollo del canva para el hand switch del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, junto a un modelo tridimensional del mismo. Fuente: Autoría propia.

Anexo E

Figura E1

Panel de estudios y factores radiológicos referenciales: Estudios de Abdomen



Nota. La imagen muestra una guía de referencia para la toma de estudios en la parte abdominal de una persona. Se sugieren algunos valores de kV, mAs y mA. Fuente: Autoría propia.

Figura E2

Panel de estudios y factores radiológicos referenciales: Estudios del miembro superior izquierdo.



Nota. La imagen muestra una guía de referencia para la toma de estudios en la parte del miembro superior izquierdo de una persona. Se sugieren algunos valores de kV, mAs y mA. Fuente: Autoría propia.

Figura E3

Panel de estudios y factores radiológicos referenciales: Estudios del miembro superior derecho.



Nota. La imagen muestra una guía de referencia para la toma de estudios en la parte del miembro superior derecho de una persona. Se sugieren algunos valores de kV, mAs y mA. Fuente: Autoría propia.

Figura E4

Panel de estudios y factores radiológicos referenciales: Estudios del miembro superior derecho.



Nota. La imagen muestra una guía de referencia para la toma de estudios en la parte del cráneo de una persona. Se sugieren algunos valores de kV, mAs y mA. Fuente: Autoría propia.

Figura E5

Panel de estudios y factores radiológicos referenciales: Estudios del miembro inferior izquierdo.



Nota. La imagen muestra una guía de referencia para la toma de estudios en la parte del miembro inferior izquierdo de una persona. Se sugieren algunos valores de kV, mAs y mA. Fuente: Autoría propia.

Figura E6

Panel de estudios y factores radiológicos referenciales: Estudios del miembro inferior derecho.

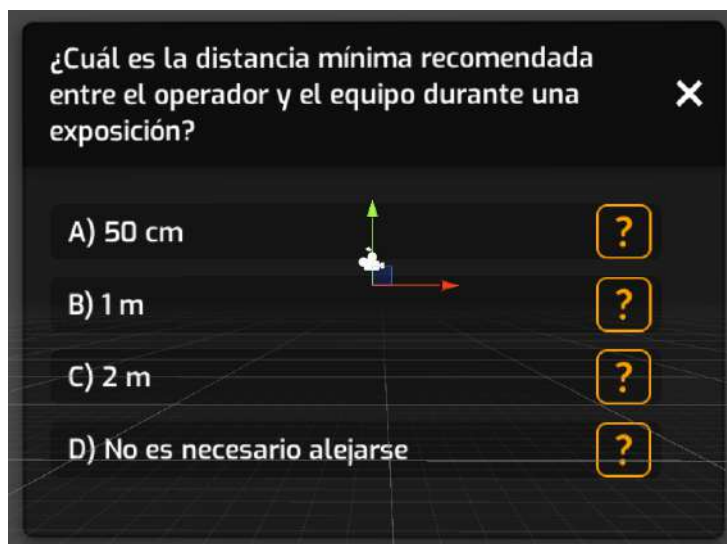


Nota. La imagen muestra una guía de referencia para la toma de estudios en la parte del miembro inferior derecho de una persona. Se sugieren algunos valores de kV, mAs y mA. Fuente: Autoría propia.

Anexo F

Figura F1

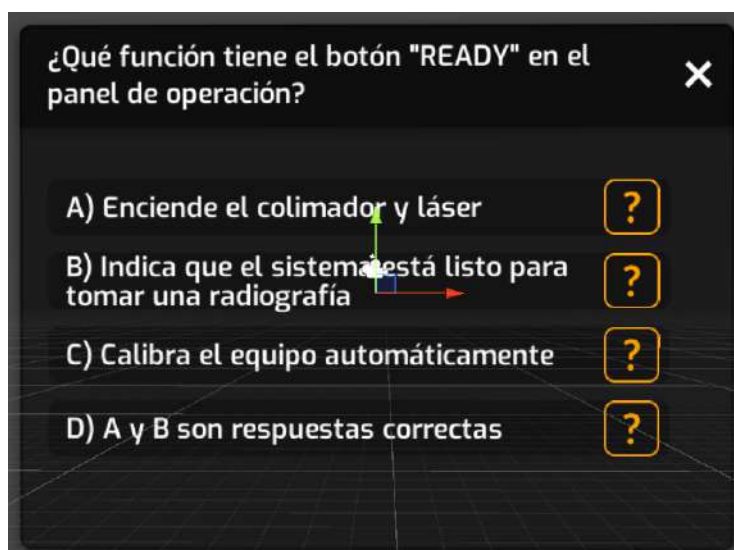
Pregunta 1 del Quiz.



Nota. La imagen muestra la primera pregunta del quiz que consiste en identificar la distancia mínima recomendada entre el operador y el equipo durante una exposición de radiación, se colocan cuatro alternativas. Fuente: Autoría propia.

Figura F2

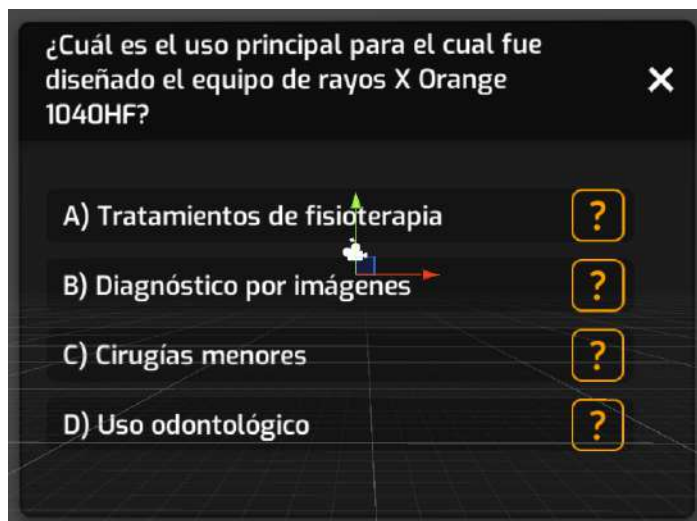
Pregunta 2 del Quiz.



Nota. La imagen muestra la primera pregunta del quiz que consiste en identificar que función tiene el botón "READY" en el panel de operación del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF, se colocan cuatro alternativas. Fuente: Autoría propia.

Figura F3

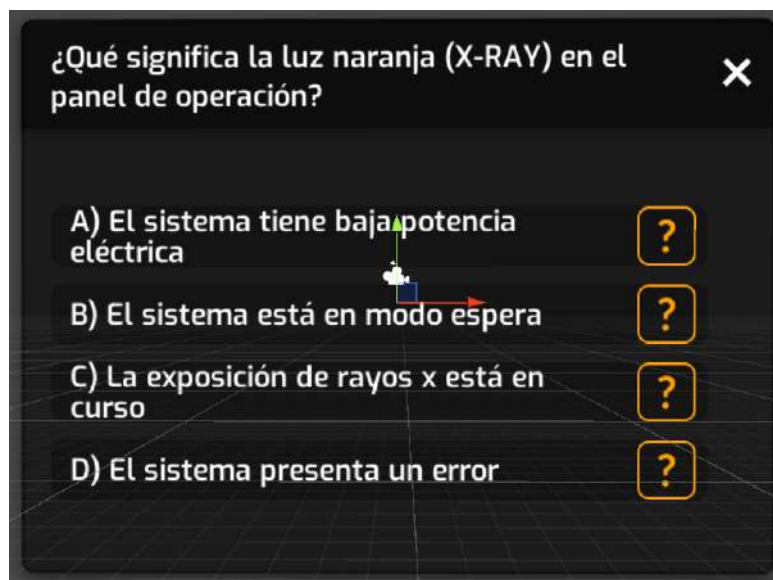
Pregunta 3 del Quiz.



Nota. La imagen muestra la primera pregunta del quiz que consiste en identificar cuál es el uso principal para el cual fue diseñado el equipo de rayos x Orange 1040HF, se colocan cuatro alternativas. Fuente: Autoría propia.

Figura F4

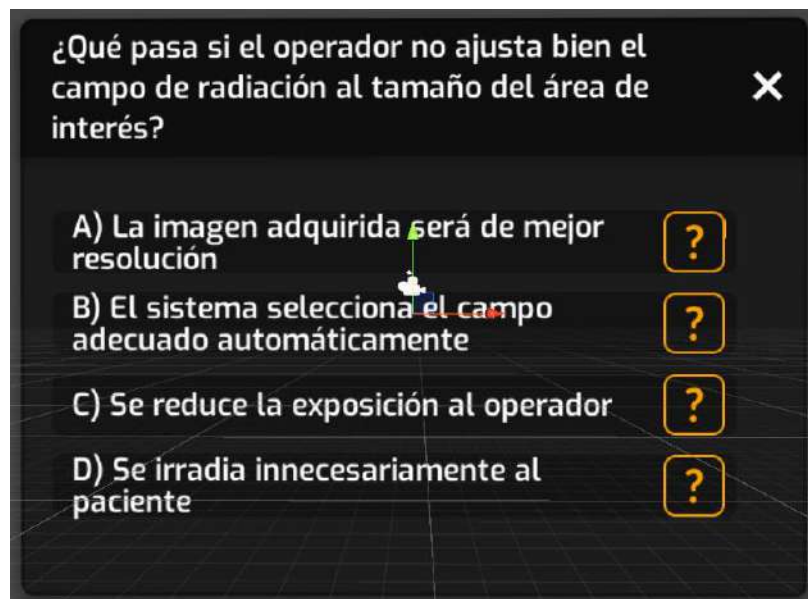
Pregunta 4 del Quiz.



Nota. La imagen muestra la primera pregunta del quiz que consiste en identificar qué significa la luz naranja (X-RAY) en el panel de operación del equipo de rayos x Orange 1040HF, se colocan cuatro alternativas. Fuente: Autoría propia.

Figura F5

Pregunta 5 del Quiz.



Nota. La imagen muestra la primera pregunta del quiz que consiste en identificar qué pasa si el operador no ajusta bien el campo de radiación al tamaño del área de interés, se colocan cuatro alternativas.

Fuente: Autoría propia.

Anexo G

Figura G1

Aplicación en ejecución: Asa de transporte.



Nota. La imagen muestra el funcionamiento de la aplicación de realidad aumentada durante la identificación y reconocimiento del asa de transporte del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.
Fuente: Autoría propia.

Figura G2

Aplicación en ejecución: Cuerpo principal.



Nota. La imagen muestra el funcionamiento de la aplicación de realidad aumentada durante la identificación y reconocimiento del cuerpo principal del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.
Fuente: Autoría propia.

Figura G3*Aplicación en ejecución: Perillas*

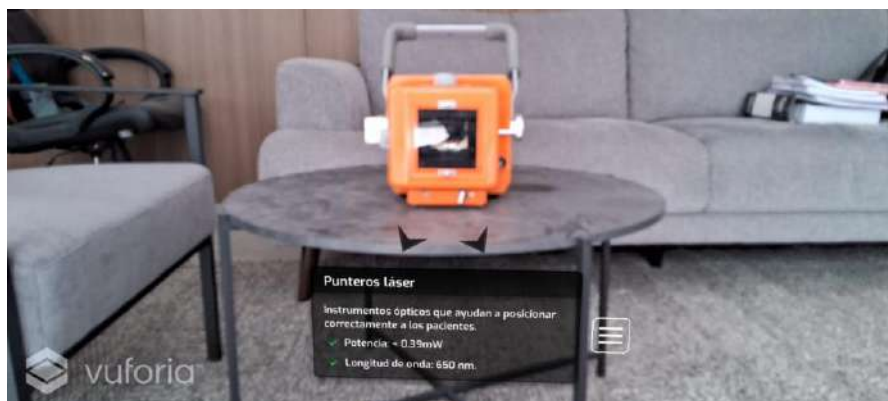
Nota. La imagen muestra el funcionamiento de la aplicación de realidad aumentada durante la identificación y reconocimiento de las perillas del colimador del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura G4*Aplicación en ejecución: Hand switch*

Nota. La imagen muestra el funcionamiento de la aplicación de realidad aumentada durante la identificación y reconocimiento del hand switch del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura G5

Aplicación en ejecución: Láser.



Nota. La imagen muestra el funcionamiento de la aplicación de realidad aumentada durante la identificación y reconocimiento de los punteros láser del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.
Fuente: Autoría propia.

Figura G6

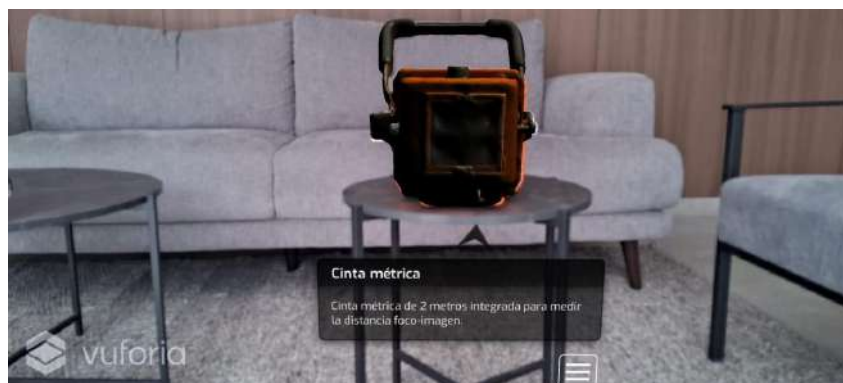
Aplicación en ejecución: Medidor de ángulo.



Nota. La imagen muestra el funcionamiento de la aplicación de realidad aumentada durante la identificación y reconocimiento del medidor de ángulo del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF.
Fuente: Autoría propia.

Figura G7

Aplicación en ejecución: Cinta métrica.



Nota. La imagen muestra el funcionamiento de la aplicación de realidad aumentada durante la identificación y reconocimiento de la cinta métrica del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura G8

Aplicación en ejecución: Interruptor



Nota. La imagen muestra el funcionamiento de la aplicación de realidad aumentada durante la identificación y reconocimiento del switch principal del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura G9

Aplicación en ejecución: Entrada AC (input).



Nota. La imagen muestra el funcionamiento de la aplicación de realidad aumentada durante la identificación y reconocimiento de la entrada de alimentación del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Anexo H

Figura H1

Pruebas de operatividad en el Centro de Salud Nuevo Milenio



Nota. La imagen muestra a un personal del Centro de Salud Nuevo Milenio utilizando la aplicación de realidad aumentada para interactuar con la parte frontal del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura H2

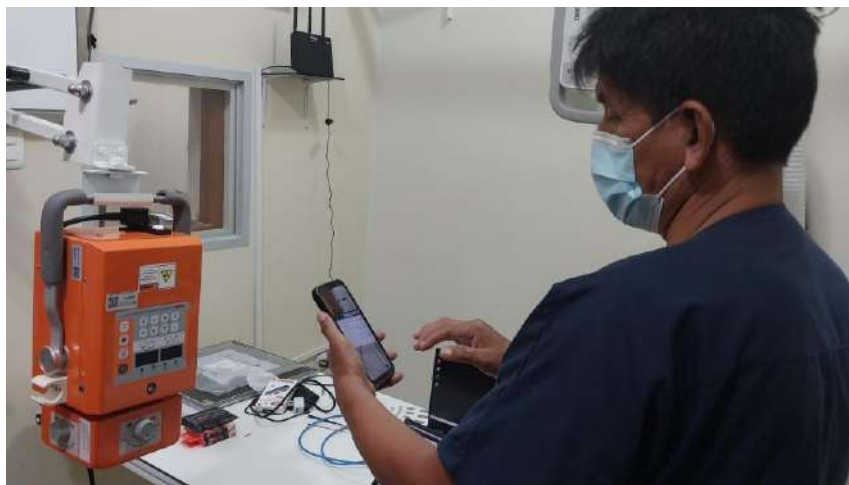
Pruebas de operatividad en el Centro de Salud Nuevo Milenio



Nota. La imagen muestra a un personal del Centro de Salud Nuevo Milenio utilizando la aplicación de realidad aumentada para interactuar con la parte lateral del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura H3

Pruebas de operatividad en el Centro de Salud Nuevo Milenio



Nota. La imagen muestra a un personal del Centro de Salud Nuevo Milenio utilizando la aplicación de realidad aumentada para interactuar con la parte superior del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura H4

Pruebas de operatividad en el Centro de Salud Nuevo Milenio



Nota. La imagen muestra a un personal del Centro de Salud Nuevo Milenio utilizando la aplicación de realidad aumentada para interactuar con la parte trasera del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF. Fuente: Autoría propia.

Figura H5

Pruebas de operatividad en el Centro Materno Infantil Tahuantinsuyo Bajo



Nota. La imagen muestra a un personal del Centro Materno Infantil Tahuantinsuyo Bajo utilizando la aplicación de realidad aumentada para posicionar al paciente en base al módulo guía de uso.
Fuente: Autoría propia.

Anexo I

Figura I1

Cuestionario de validación desarrollado en Google Forms.

Cuestionario de validación de la aplicación de realidad aumentada para la capacitación en el uso del equipo de rayos X portátil Orange 1040HF

¿La aplicación le permitió identificar de manera clara y autónoma las partes del equipo de rayos X portátil Orange 1040HF?

☐ Totalmente de acuerdo

☐ De acuerdo

☐ Ni de acuerdo ni en desacuerdo

☐ En desacuerdo

☐ Totalmente en desacuerdo

¿Considera que la aplicación le ayudó a comprender correctamente los pasos para el uso del equipo, reduciendo errores en el proceso?

☐ Totalmente de acuerdo

☐ De acuerdo

☐ Ni de acuerdo ni en desacuerdo

☐ En desacuerdo

☐ Totalmente en desacuerdo

¿Qué tan útil fue la visualización en 3D para reforzar su aprendizaje y facilitar la repetición del contenido cuando lo necesite?

☐ Muy útil

☐ Útil

☐ Neutral

☐ Poco útil

☐ Nada útil

¿Qué tan accesible le resultó la aplicación en cuanto al tamaño, lugar de uso y facilidad de navegación?

☐ Muy accesible

☐ Accesible

☐ Neutral

☐ Poco accesible

☐ Nada accesible

En comparación con la capacitación tradicional, ¿considera que el uso de la aplicación le permitió aprender más rápido, con mayor satisfacción y mejor retención del conocimiento?

☐ Totalmente de acuerdo

☐ De acuerdo

☐ Ni de acuerdo ni en desacuerdo

☐ En desacuerdo

☐ Totalmente en desacuerdo

Jean Carlos Malca Fernández
VºBº del Asesor

Nota. La imagen muestra el cuestionario de validación de la aplicación de realidad aumentada para la capacitación en el uso del equipo de rayos x portátil Orange 1040HF y las cinco preguntas que abarca para verificar el cumplimiento de los objetivos e indicadores planteados. Fuente: Autoría propia.