

**SERVICIO DE RECOLECCIÓN Y  
SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE  
APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA EN  
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE  
EDIFICACIONES**

**DEPENDENCIA**

**Gerencia de Investigación y Normalización**

**ELABORADO POR**

**Mag. MARCK STEEWAR REGALADO ESPINOZA**

**LIMA - PERÚ**

**DICIEMBRE DEL 2023**

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
ÍNDICE .....	2
RESUMEN.....	5
LISTA DE TABLAS .....	6
LISTA DE FIGURAS .....	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	9
1.1 Generalidades .....	9
1.2 Descripción del problema .....	9
1.3 Objetivos del estudio.....	10
1.4. Conceptos principales.....	10
CAPÍTULO II: SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	11
2.1 Búsqueda de información internacional .....	11
2.2 Búsqueda de información nacional .....	14
2.3 Análisis y sistematización de la información .....	15
2.3.1 Análisis de bibliografía internacional.....	15
2.3.2 Resumen de temas abordados.....	15
2.3.3 Revisión de bibliografía sobre aplicaciones en general .....	19
2.3.4 Revisión de bibliografía sobre ergonomía en usuarios .....	20
2.3.5 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos - Albañilería.....	20
2.3.6 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos - Madera .....	22
2.3.7 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos – Armadura de acero .....	23
2.3.8 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos - Instalaciones.....	24
2.3.9 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos - Movimiento de tierras.....	25
2.3.10 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos - Soldadura .....	25
2.3.11 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos - En general .....	26
2.3.12 Revisión de bibliografía sobre inspección en obra – Calidad.....	27
2.3.13 Revisión de bibliografía sobre inspección en obra - Seguridad en obra.....	29
2.3.14 Revisión de bibliografía sobre educación afín a la construcción .....	30
2.3.15 Revisión de bibliografía sobre toma de decisiones .....	31
2.3.16 Revisión de bibliografía sobre futuras aplicaciones con robótica .....	32
CAPÍTULO III: EQUIPOS Y HERRAMIENTAS REQUERIDAS .....	34
3.1. Introducción .....	34
3.2. Software para la generación de los modelos virtuales .....	34
3.2.1. Autodesk Revit® .....	35
3.2.2. Otras aplicaciones Autodesk® .....	36

3.2.3.	Requisitos computacionales .....	37
3.2.4.	Otras aplicaciones de modelamiento.....	37
3.3.	Software para transformar los modelos en realidad aumentada .....	37
3.3.1.	Motor de juegos Unity .....	37
3.3.2.	Unity Mars.....	39
3.3.3.	Twinbuild.....	41
3.3.4.	Trimble Connect AR.....	42
3.3.5.	Otras herramientas.....	43
3.4.	Dispositivos de visualización de modelos .....	44
3.4.1.	Pantallas montadas en la cabeza: Microsoft HoloLens.....	45
3.4.2.	Pantallas montadas en la cabeza: Trimble XR10 Hololens 2.....	48
3.4.3.	Otras pantallas montadas en la cabeza.....	49
3.4.4.	Celulares y tablets.....	52
CAPÍTULO IV: VENTAJAS Y VIABILIDAD.....		53
4.1	Ventaja 1 - Mejora en los procesos constructivos .....	53
4.1.1	Construcción con albañilería .....	53
4.1.2	Construcción con madera.....	54
4.1.3	Construcción con refuerzo de acero.....	54
4.1.4	Ubicación de instalaciones subterráneas .....	54
4.1.5	Trabajo con maquinaria pesada .....	55
4.1.6	Procesos de soldadura.....	56
4.2	Ventaja 2 – Mejora en los procesos de inspección .....	56
4.2.1	Visualización de información del proyecto.....	57
4.2.2	Inspección de la seguridad en obra.....	57
4.2.3	Inspección en el refuerzo de elementos de concreto armado.....	58
4.3	Ventaja 3 – Mejora en el entendimiento del proyecto para toma de decisiones .....	59
4.4	Ventaja 4 - Mejora en los procesos de enseñanza.....	59
4.5	Análisis de viabilidad y costos.....	60
4.5.1.	Autodesk Revit® .....	60
4.5.2.	Autodesk AutoCAD®.....	61
4.5.3.	Unity Pro .....	62
4.5.4.	Twinbuild Pro .....	62
4.5.5.	Trimble Connect AR .....	63
4.5.6.	HoloLens 2 .....	64
4.5.7.	Trimble XR10 con HoloLens 2.....	64
4.5.8.	Celulares y tablets compatibles.....	65
4.5.9.	Resumen de costos.....	65
4.5.10.	Comentarios sobre viabilidad.....	66

CAPÍTULO V: CRITERIOS PARA APLICACIÓN .....	67
5.1 Proyección precisa de modelos .....	67
5.2 Posicionamiento y localización .....	68
5.3 Preparación previa.....	68
5.4 Manipulación de interfaces .....	68
5.5 Comodidad del usuario .....	69
5.6 Niveles de brillo .....	69
5.7 Percepción de la profundidad .....	70
5.8 Carga de dispositivos de visualización.....	70
5.9 Señal de internet.....	71
5.10 Ejemplos de aplicación nacionales.....	71
5.10.1 Aceros Arequipa.....	71
5.10.2 Aeropuerto Jorge Chávez.....	75
5.10.3 VyV Bravo Constructora .....	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79
a. Artículos científicos .....	79
b. Tesis nacionales.....	82
c. Otras páginas consultadas .....	83

## RESUMEN

Actualmente, la tecnología de realidad aumentada se ha estado aplicando en diferentes campos, desde el entretenimiento (videojuegos), hasta en la medicina y en la industria manufacturera, generando múltiples beneficios (entre otros, reducción de las tasas de error y un rápido acceso a la amplia cantidad de información con la que siempre se cuenta). En ese sentido, resulta importante conocer qué beneficios tendría en el sector construcción y cómo poderla implementar de forma satisfactoria, lo cual es la finalidad del presente informe.

En el capítulo I, se explica la introducción al tema, incluyendo el contexto general del sector y los problemas que actualmente está afrontando (como la baja productividad de la mano de obra, las tasas de errores y sobrecostos que generan). Luego, se indican los objetivos del informe.

En el capítulo II, se explica el proceso de búsqueda información bibliográfica internacional (40 artículos científicos de los últimos 5 años) y nacional (5 tesis de los últimos años). Luego, se identificó la temática que estos documentos trabajaban: Ergonomía por uso de los dispositivos, mejoras en los procesos constructivos (muros y refuerzo de acero), inspecciones de obra y la mejora en los procesos de enseñanza.

En el capítulo III, se indican los equipos y herramientas requeridos para implementar la tecnología, las cuales se dividen en tres. Primero, el software para la generación de los modelos virtuales, considerando que en el sector construcción lo principal está asociado a la metodología BIM, así que se resalta el empleo de Autodesk Revit®. Segundo, el software para transformar los modelos en realidad aumentada, siendo los más empleados el motor Unity, Twinbuild y Trimble Connect, siendo estos últimos especialmente enfocados al sector construcción. Tercero, se mencionan los dispositivos de visualización de modelos, existiendo aquellas pantallas montadas a la cabeza (especialmente los Microsoft HoloLens y los Trimble XR10), así como el uso de celulares y tablets que permitan usar aplicaciones de realidad aumentada.

En el capítulo IV, se explican las ventajas de emplear esta tecnología en el sector construcción, como la mejora en los procesos constructivos (apilado de muros, fabricación de elementos estructurales, armado de refuerzo de acero, entre otros), mejora en los procesos de inspección (para superponer los documentos del proyecto con lo realmente construido e identificar errores) con aplicaciones en la seguridad de obra, mejora en el entendimiento del proyecto (para la toma de decisiones), y la mejora en los procesos de enseñanza (como mejorar la lectura de planos). Asimismo, se evalúan los costos de todos los componentes, considerando las licencias de las aplicaciones y el costo de los dispositivos requeridos.

En el capítulo V, se explican los criterios para aplicar de forma satisfactoria esta tecnología en el sector, como la precisión en la proyección de los modelos (que dependería de los marcadores de posición), las capacidades que requeriría el equipo de trabajo, la facilidad de emplear las herramientas, el no alterar la comodidad del usuario, entre otros (niveles de brillo, profundidad, etc.).

## LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Listado de bibliografía internacional consultada .....	11
Tabla 2. Listado de bibliografía nacional consultada .....	14
Tabla 3. Antigüedad de bibliografía internacional consultada.....	15
Tabla 4. Temática desarrollada en bibliografías .....	16
Tabla 5. Resumen de costos .....	65

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Comunicación entre usuarios remotos y en obra .....	19
Figura 2. Experimento para medición de fatiga por dispositivos de realidad aumentada .....	20
Figura 3. Funcionamiento del sistema constructivo con realidad aumentada .....	21
Figura 4. Ejemplo del proceso constructivo con realidad aumentada .....	22
Figura 5. Impacto de la posición de marcadores QR en la proyección del modelo .....	23
Figura 6. Empleo de realidad aumentada en el armado de acero de refuerzo .....	24
Figura 7. Ubicación de instalaciones subterráneas con realidad aumentada .....	24
Figura 8. Aplicación de realidad aumentada con excavadora .....	25
Figura 9. Proyección de alineación para soldadura .....	26
Figura 10. Proyección de modelos en 3D a partir de imágenes .....	27
Figura 11. Inspección del refuerzo de elementos de concreto armado usando realidad aumentada.....	28
Figura 12. Información adjuntada al QR de un elemento constructivo.....	29
Figura 13. Identificación de requerir barandas perimetrales, empleando realidad aumentada .....	30
Figura 14. Interacción del usuario con el modelo de realidad aumentada .....	30
Figura 15. Mejora en el entendimiento de planos al visualizarlos en 3D .....	31
Figura 16. Evaluación de acabados empleando realidad aumentada.....	32
Figura 17. Proyección de un robot con aprendizaje mediante realidad aumentada.....	33
Figura 18. Software Autodesk Revit® .....	35
Figura 19. Entorno del software Revit®.....	35
Figura 20. Unity .....	39
Figura 21. Plataforma Unity MARS .....	40
Figura 22. Generación de QR con Unity MARS .....	40
Figura 23. Twinbuild para realidad aumentada en la construcción .....	41
Figura 24. QR con Twinbuild.....	41
Figura 25. Trimble Connect AR.....	42
Figura 26. Marcadores QR con Trimble Connect AR .....	43
Figura 27. Unity Reflect.....	44
Figura 28. ARCore .....	44
Figura 29. HoloLens.....	47
Figura 30. Aplicación de HoloLens.....	47
Figura 31. Aplicación de HoloLens.....	48
Figura 32. Trimble XR10 Hololens 2 .....	48
Figura 33. Moverio BT-300 .....	49
Figura 34. Lynx R-1 .....	50
Figura 35. Magic Leap .....	50

Figura 36. DAQRI Smart Helmet.....	51
Figura 37. RealWear Navigator® 520 .....	51
Figura 38. Alta precisión en trabajos de albañilería.....	53
Figura 39. Alta precisión en fabricación de vigas de madera .....	54
Figura 40. Menor tiempo en ejecutar armaduras de acero .....	54
Figura 41. Sencilla ubicación de instalaciones subterráneas .....	55
Figura 42. Realidad aumentada con maquinaria pesada .....	55
Figura 43. Realidad aumentada para soldadura mostrando especificaciones. ....	56
Figura 44. Procedimiento de acceso a información con escaneo de código QR .....	57
Figura 45. Identificación de criterios de seguridad con realidad aumentada.....	58
Figura 46. Inspección tradicional versus inspección con realidad aumentada.....	58
Figura 47. Comparación de la estética de acabados.....	59
Figura 48. Evaluación de la complejidad de realizar acabados diversos .....	59
Figura 49. Realidad aumentada en un plano de construcción .....	60
Figura 50. Opciones de pago Unity Pro .....	62
Figura 51. Opciones de pago Twinbuild .....	63
Figura 52. Precios de Trimble Connect AR .....	63
Figura 53. Precio del HoloLens 2 .....	64
Figura 54. Precio del Trimble XR10 con HoloLens 2.....	64
Figura 55. Influencia de marcadores en la proyección de modelos virtuales .....	67
Figura 56. Efecto de la profundidad observada en realidad aumentada.....	70
Figura 57. Conferencia sobre app PrearmAR .....	71
Figura 58. Implementación de app PrearmAR para inspección de estribos.....	72
Figura 59. Funcionalidades de la app PrearmAR (planos, grabación, etc.) .....	72
Figura 60. Superposición de información de armaduras de la app PrearmAR .....	73
Figura 61. Servicios TSC Innovation.....	73
Figura 62. Aplicación de TSC Innovation con Trimble Connect.....	74
Figura 63. Aplicación de realidad aumentada en el Aeropuerto Jorge Chávez.....	75
Figura 64. Aplicación de realidad aumentada en el proyecto Aramburu 836.....	76

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Generalidades**

La industria de la construcción resulta clave en la economía de cualquier sociedad (El Kassis et al., 2023), estimándose un aporte anual de 10 billones de dólares y siendo la fuente de trabajo para aproximadamente el 7% de la mano de obra a nivel mundial (Alkan & Basaga, 2023). Además, el empleo en este sector se encuentra en constante crecimiento (Hartless et al., 2020).

Cuando un nuevo producto tecnológico desea implementarse, pasa por las siguientes fases: innovación, crecimiento y madurez. En la innovación, el producto se introduce recién en el mercado y busca adaptarse, necesitando su fomento en la comercialización e inversión para introducirse eficazmente. En el crecimiento, el producto comienza a aportar en el sector, generando beneficios y llegando incluso a ser indispensable. Finalmente, en la etapa de madurez, el producto se afianza en el sector y comienza a desarrollarse más (Alkan & Basaga, 2023).

### **1.2 Descripción del problema**

Existe la preocupación de que, mientras otras industrias han presentado un incremento en su productividad en los últimos años gracias a la aplicación de nuevas tecnologías, la industria de la construcción no ha experimentado grandes cambios, repercutiendo en su crecimiento, rentabilidad y el sobreempleo debido a su producción ineficiente. Entre las principales causas del problema, está la falta de capacidad de poder adecuarse a la digitalización de forma adecuada (Alkan & Basaga, 2023). Otra de las causas es que los trabajadores dedican mucho tiempo en rectificar errores cometidos durante la construcción, lo cual se agrava al tratarse de aquellas actividades con mayor incidencia en el presupuesto. Esto podría deberse a una mala interpretación de los planos, una mala lectura de los instrumentos de medición o a las dificultades con el material que se trabaja, lo cual ocasiona una serie de desviaciones que, al superar los límites tolerables, deberán ser reparadas (Kwiatek et al., 2019). Queda claro que una mejora en la productividad se logrará solo si se minimizan las repeticiones de trabajo.

Son muchos los productos tecnológicos que han tratado de ingresar al sector construcción y que no han tenido éxito debido a problemas técnicos y organizativos no resueltos. Resulta clave impulsar su adopción en conjunto con la investigación científica, su comercialización e inversión por el sector privado. Sin embargo, la tecnología de realidad aumentada sí presenta una importante oportunidad. Existe mucho interés de las empresas, teniendo previsto una gran cantidad de usuarios que la emplearán (Alkan & Basaga, 2023).

En ese sentido, la tecnología de la realidad aumentada representa una oportunidad clave para el sector construcción en el aumento de la productividad de la mano de obra. Sin embargo, resulta necesario entender cómo se está desarrollando actualmente en el mundo, reconocer las ventajas clave que generaría y la forma ideal de su adopción con respecto a los equipos, herramientas y casos de éxito de referencia.

### 1.3 Objetivos del estudio

- Sistematización de información nacional e internacional, referida a la aplicación de realidad aumentada en los proyectos de construcción.
- Identificación de equipos y/o herramientas que se utilizan en la producción y supervisión de proyectos de construcción, que puedan incorporarse a un sistema de control y/o monitoreo mediante realidad aumentada.
- Determinar las ventajas que generaría la aplicación de la realidad aumentada en proyectos de construcción en el país.
- Proponer criterios para aplicación de la realidad aumentada en las diferentes etapas de los proyectos de construcción.

### 1.4. Conceptos principales

Para poder desarrollar de forma correcta el presente informe, se inicia con algunas definiciones importantes (Hartless et al., 2020).

- Realidad aumentada (AR por sus siglas en inglés): Consiste en superponer contenidos virtuales a la visión que tiene un usuario de un espacio físico. Se presenta el contenido simultáneamente con el mundo real que rodea al usuario, lo que permite que no se desvincule de la realidad. Incluso, para recorrer el modelo, deberá desplazarse a través de este.
- Realidad virtual (VR por sus siglas en inglés): Consiste en sustituir completamente el mundo físico por una experiencia virtual sintética.

## CAPÍTULO II: SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

En el presente capítulo se explicará la recopilación, análisis y sistematización de información nacional e internacional, referida a la aplicación de la realidad aumentada en los proyectos de construcción de edificaciones.

Es importante señalar que, al realizar la búsqueda de bibliografía referida al tema de estudio, existen documentos como tesis y artículos científicos. Si bien es posible llegar a identificar una gran cantidad de estos, se considera ideal una cantidad de 40 documentos en total a nivel internacional, y 5 a nivel nacional (especialmente tesis en este último caso).

### 2.1 Búsqueda de información internacional

Para desarrollar la búsqueda de información a nivel internacional, se utilizó el buscador de Science Direct y del ASCE (American Society of Civil Engineers), debido a que son repositorios a los que se cuenta con acceso por nexos académicos e investigativos. Asimismo, se emplearon otras fuentes bibliográficas que permiten un acceso abierto a sus artículos completos. Cabe señalar que todas las bibliografías empleadas están en idioma inglés.

Se emplearon una serie palabras clave para la búsqueda de artículos científicos en inglés, las cuales fueron “Augmented Reality”, “Augment”, “AR”, “Assembly”, “Building”, “Management” y “Construction”. Asimismo, se complementaba con artículos citados por investigaciones importantes que guarden relación con el tema.

Como antigüedad, se vio necesario trabajar con bibliografía reciente de los últimos 5 años para que la información tenga correcta validez. Así, se decidió trabajar con información publicada desde el año 2018 hasta la fecha.

Cabe resaltar que la búsqueda no consiste solamente en estos filtros, sino que se debe analizar los títulos, resúmenes y contenidos de los artículos para identificar aquellos realmente importantes para el tema. De esta manera, se pudo recopilar un total de 40 artículos científicos afines (ver Tabla 1).

Tabla 1. Listado de bibliografía internacional consultada

N°	Bibliografía	Título
1	Fazel & Izadi (2018)	An interactive augmented reality tool for constructing free-form modular surfaces
2	Li et al. (2018)	A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety
3	Wang et al. (2018)	Does Augmented Reality Effectively Foster Visual Learning Process in Construction? An Eye-Tracking Study in Steel Installation
4	Ahmed (2019)	A Review on Using Opportunities of Augmented Reality and Virtual Reality in Construction Project Management
5	Kwiatek et al. (2019)	Impact of augmented reality and spatial cognition on assembly in construction

6	McMeel (2019)	Robots and AR: towards a platform economy for construction
7	Tavares et al. (2019)	Collaborative Welding System using BIM for Robotic Reprogramming and Spatial Augmented Reality
8	Abbas et al. (2020)	Impact of Mobile Augmented Reality System on Cognitive Behavior and Performance during Rebar Inspection Tasks
9	Chen et al. (2020)	BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment
10	Hartless et al. (2020)	Comparison of Building Design Assessment Behaviors of Novices in Augmented- and Virtual-Reality Environments
11	Kim & Irizarry (2020)	Evaluating the Use of Augmented Reality Technology to Improve Construction Management Student's Spatial Skills
12	Chalhoub et al. (2021)	Augmented reality for enabling un- and under-trained individuals to complete specialty construction tasks
13	Liu et al. (2021)	Integrating Building Information Model and Augmented Reality for Drone-Based Building Inspection
14	Qin et al. (2021)	Impact of information display on worker performance for wood frame wall assembly using AR HMD under different task conditions
15	Sangiorgio et al. (2021)	Augmented reality based - decision making (AR-DM) to support multi-criteria analysis in constructions
16	Sidani et al. (2021)	Recent tools and techniques of BIM-Based Augmented Reality: A systematic review
17	Song et al. (2021)	Review and analysis of augmented reality (AR) literature for digital fabrication in architecture
18	Xiang et al. (2021)	Mobile projective augmented reality for collaborative robots in construction
19	Xu & Moreu (2021)	A Review of Augmented Reality Applications in Civil Infrastructure During the 4th Industrial Revolution
20	Abdeen et al. (2022)	The usability of a novel mobile augmented reality application for excavation process considering safety and productivity in construction
21	Adebowale & Agumba (2022)	Applications of augmented reality for construction productivity improvement: a systematic review
22	Kolaei et al. (2022)	Challenges and opportunities of augmented reality during the construction phase
23	Muthalif et al. (2022)	A review of augmented reality visualization methods for subsurface utilities
24	Ramos-Hurtado et al. (2022)	Proposal for the Deployment of an Augmented Reality Tool for Construction Safety Inspection

25	Schiavi et al. (2022)	BIM data flow architecture with AR/VR technologies: Use cases in architecture, engineering and construction
26	Wolf et al. (2022)	Investigating hazard recognition in augmented virtuality for personalized feedback in construction safety education and training
27	Alkan & Basaga (2023)	Augmented reality technologies in construction project assembly phases
28	Amin et al. (2023)	Key functions in BIM-based AR platforms
29	El Kassis et al. (2023)	Augmented Reality Applications for Synchronized Communication in Construction: A Review of Challenges and Opportunities
30	Kyaw et al. (2023)	Augmented Reality for high precision fabrication of Glued Laminated Timber beams
31	Marklin et al. (2023)	Do Head-Mounted Augmented Reality Devices Affect Muscle Activity and Eye Strain of Utility Workers Who Do Procedural Work? Studies of Operators and Manhole Workers
32	McCord et al. (2023)	Using Augmented Reality to Simulate Authentic Learning Building Assessment and Construction Experiences
33	Qin & Bulbul (2023a)	An EEG-Based Mental Workload Evaluation for AR Head-Mounted Display Use in Construction Assembly Tasks
34	Qin & Bulbul (2023b)	Electroencephalogram-based mental workload prediction for using Augmented Reality head mounted display in construction assembly: A deep learning approach
35	Qin et al. (2023)	Measuring the impacts of AR HMD on users' situation - Awareness during wood frame assembly tasks
36	Revolti et al. (2023)	Augmented Reality to support the maintenance of urban-line infrastructures: A case study
37	Sabzevar et al. (2023)	AR-QR code for improving crew access to design and construction information
38	Shore et al. (2023)	Using Augmented Reality in AEC Tertiary Education: A Collaborative Design Case
39	Um et al. (2023)	Low-cost mobile augmented reality service for building information modeling
40	Wu et al. (2023)	Cognitive ergonomics-based Augmented Reality application for construction performance

Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Búsqueda de información nacional

Para la búsqueda de información a nivel nacional, se consideró como fuente las tesis que hayan sido publicadas al respecto.

Respecto a su antigüedad, se consideró necesario que fueran publicadas los últimos 5 años para que su información tenga validez. De esta manera, se filtrarían tesis publicadas desde el año 2018, aunque finalmente solo se obtuvieron a partir del año 2020.

Para su búsqueda, se utilizó el buscador de Google Académico, empleando las palabras clave “Realidad aumentada”, “Construcción”, “Tesis” y “Perú”. Se empleó el filtro de antigüedad y se comenzó a identificar aquellos relacionados con el tema mediante la lectura del título, la revisión del resumen y el contenido afín. Cabe señalar que solo se podría trabajar con aquellas tesis de acceso abierto, ya que algunas al momento de buscarlas tendrían acceso restringido.

Lamentablemente, un aspecto peculiar fue el no identificar una cantidad considerable de tesis peruanas afines al tema. De hecho, aquellas que mencionaban el término “realidad aumentada” en su contenido, solo lo mencionaban con una funcionalidad que podría utilizarse con los modelos digitales aplicados con la metodología BIM (como parte de su marco teórico o estado del arte), mas no desarrollaban el tema en su investigación.

De esta manera, solo se pudo identificar 5 tesis nacionales, algunas con cierta afinidad al tema ya que se referían a la aplicación en la enseñanza de la ingeniería civil solamente (ver Tabla 2).

Tabla 2. Listado de bibliografía nacional consultada

N°	Bibliografía	Título	Universidad	Año
1	Mamani (2020)	Propuesta de implementación de la Realidad Aumentada Libre en el entregable BIM (Modelo Gráfico según PAS 1192-2)	Universidad Peruana Unión	2020
2	Castillo (2021)	La AR como herramienta didáctica en la enseñanza aprendizaje en la representación gráfica en Ingeniería Civil	Universidad de Piura	2021
3	Galvan & Villanueva (2022)	Propuesta de una guía técnica para mejorar la experiencia del cliente final en la etapa de post venta con uso de la tecnología realidad virtual y realidad aumentada en proyectos inmobiliarios en Lima como estrategia en tiempos de COVID-19	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)	2022
4	Gronerth (2022)	Propuesta de realidad aumentada y su relación con el aprendizaje por competencias de los estudiantes de diseño arquitectónico V, de la facultad de ingeniería y arquitectura de la Universidad Peruana Unión, Tarapoto, 2021	Universidad San Martín de Porres	2022
5	Caballero (2023)	Aplicación de un nuevo modelado 3D de realidad aumentada en la capacidad espacial de los estudiantes de ingeniería en una universidad de Lima, 2022	Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM)	2023

Fuente: Elaboración propia

## 2.3 Análisis y sistematización de la información

### 2.3.1 Análisis de bibliografía internacional

Al revisar las bibliografías internacionales, se puede identificar que la tecnología de realidad aumentada aún no se encuentra completamente adaptada al sector construcción, pero sí existen importantes esfuerzos para lograr estos objetivos tomando en cuenta las ventajas que generaría.

Asimismo, se identifica que la tecnología de realidad aumentada se aplica en el sector construcción principalmente para lo siguiente:

- Mejora en el entendimiento del proyecto.
- Mejora en la calidad de los procesos constructivos.
- Mejora los procesos de enseñanza y formación referida al sector construcción
- Mejora en la gestión de seguridad en obra.
- Mejora en las inspecciones de obra.

Con respecto a los años de publicación de cada uno, en la Tabla 3 se puede observar que casi el 80% de artículos corresponde a los últimos 2 años (a partir del 2021), lo cual es muy valioso para el informe.

Tabla 3. Antigüedad de bibliografía internacional consultada

Año	Cantidad	%
2018	3	7.5%
2019	4	10.0%
2020	4	10.0%
2021	8	20.0%
2022	7	17.5%
2023	14	35.0%

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2 Resumen de temas abordados

Con respecto a las bibliografías nacionales e internacionales, se procede a agruparlas según las temáticas que abarcan (ver Tabla 4).

Tabla 4. Temática desarrollada en bibliografías

Temática		Bibliografía	Título
Aplicaciones en general		Ahmed (2019)	A Review on Using Opportunities of Augmented Reality and Virtual Reality in Construction Project Management
		Sidani et al. (2021)	Recent tools and techniques of BIM-Based Augmented Reality: A systematic review
		Xu & Moreu (2021)	A Review of Augmented Reality Applications in Civil Infrastructure During the 4th Industrial Revolution
		Schiavi et al. (2022)	BIM data flow architecture with AR/VR technologies: Use cases in architecture, engineering and construction
		Amin et al. (2023)	Key functions in BIM-based AR platforms
		El Kassis et al. (2023)	Augmented Reality Applications for Synchronized Communication in Construction: A Review of Challenges and Opportunities
		Mamani (2020)	Propuesta de implementación de la Realidad Aumentada Libre en el entregable BIM (Modelo Gráfico según PAS 1192-2)
Ergonomía en usuarios		Marklin et al. (2023)	Do Head-Mounted Augmented Reality Devices Affect Muscle Activity and Eye Strain of Utility Workers Who Do Procedural Work? Studies of Operators and Manhole Workers
		Qin & Bulbul (2023a)	An EEG-Based Mental Workload Evaluation for AR Head-Mounted Display Use in Construction Assembly Tasks
		Qin & Bulbul (2023b)	Electroencephalogram-based mental workload prediction for using Augmented Reality head mounted display in construction assembly: A deep learning approach
		Qin et al. (2023)	Measuring the impacts of AR HMD on users' situation - Awareness during wood frame assembly tasks
Procesos constructivos en general	Construcción con albañilería	Fazel & Izadi (2018)	An interactive augmented reality tool for constructing free-form modular surfaces
	Construcción con madera	Qin et al. (2021)	Impact of information display on worker performance for wood frame wall assembly using AR HMD under different task conditions
		Kyaw et al. (2023)	Augmented Reality for high precision fabrication of Glued Laminated Timber beams
	Armadura de refuerzo de acero	Wang et al. (2018)	Does Augmented Reality Effectively Foster Visual Learning Process in Construction? An Eye-Tracking Study in Steel Installation
		Wu et al. (2023)	Cognitive ergonomics-based Augmented Reality application for construction performance
	Instalaciones subterráneas	Muthalif et al. (2022)	A review of augmented reality visualization methods for subsurface utilities
Movimiento de tierras	Abdeen et al. (2022)	The usability of a novel mobile augmented reality application for excavation process considering safety and productivity in construction	

	Soldadura	Tavares et al. (2019)	Collaborative Welding System using BIM for Robotic Reprogramming and Spatial Augmented Reality
	Procesos constructivos en general	Kwiatek et al. (2019)	Impact of augmented reality and spatial cognition on assembly in construction
		Chalhoub et al. (2021)	Augmented reality for enabling un- and under-trained individuals to complete specialty construction tasks
		Song et al. (2021)	Review and analysis of augmented reality (AR) literature for digital fabrication in architecture
		Adebowale & Agumba (2022)	Applications of augmented reality for construction productivity improvement: a systematic review
		Kolaei et al. (2022)	Challenges and opportunities of augmented reality during the construction phase
		Alkan & Basaga (2023)	Augmented reality technologies in construction project assembly phases
Inspección en obra	Inspección agua contra incendio	Chen et al. (2020)	BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment
	Inspección con drones	Liu et al. (2021)	Integrating Building Information Model and Augmented Reality for Drone-Based Building Inspection
	Inspección de infraestructura urbana	Revolti et al. (2023)	Augmented Reality to support the maintenance of urban-line infrastructures: A case study
	Inspección en obra	Abbas et al. (2020)	Impact of Mobile Augmented Reality System on Cognitive Behavior and Performance during Rebar Inspection Tasks
		Sabzevar et al. (2023)	AR-QR code for improving crew access to design and construction information
		Um et al. (2023)	Low-cost mobile augmented reality service for building information modeling
	Seguridad en obra	Li et al. (2018)	A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety
		Ramos-Hurtado et al. (2022)	Proposal for the Deployment of an Augmented Reality Tool for Construction Safety Inspection
Educación afín a la construcción	Hartless et al. (2020)	Comparison of Building Design Assessment Behaviors of Novices in Augmented- and Virtual-Reality Environments	
	Kim & Irizarry (2020)	Evaluating the Use of Augmented Reality Technology to Improve Construction Management Student's Spatial Skills	
	McCord et al. (2023)	Using Augmented Reality to Simulate Authentic Learning Building Assessment and Construction Experiences	

	Shore et al. (2023)	Using Augmented Reality in AEC Tertiary Education: A Collaborative Design Case
	Wolf et al. (2022)	Investigating hazard recognition in augmented virtuality for personalized feedback in construction safety education and training
	Castillo (2021)	La AR como herramienta didáctica en la enseñanza aprendizaje en la representación gráfica en Ingeniería Civil
	Gronerth (2022)	Propuesta de realidad aumentada y su relación con el aprendizaje por competencias de los estudiantes de diseño arquitectónico V, de la facultad de ingeniería y arquitectura de la Universidad Peruana Unión, Tarapoto, 2021
	Caballero (2023)	Aplicación de un nuevo modelado 3D de realidad aumentada en la capacidad espacial de los estudiantes de ingeniería en una universidad de Lima, 2022
Robótica	McMeel (2019)	Robots and AR: towards a platform economy for construction
	Xiang et al. (2021)	Mobile projective augmented reality for collaborative robots in construction
Inmersión en el modelo y toma de decisiones	Sangiorgio et al. (2021)	Augmented reality based - decision making (AR-DM) to support multi-criteria analysis in constructions
	Galvan & Villanueva (2022)	Propuesta de una guía técnica para mejorar la experiencia del cliente final en la etapa de post venta con uso de la tecnología realidad virtual y realidad aumentada en proyectos inmobiliarios en Lima como estrategia en tiempos de COVID-19

Fuente: Elaboración propia

A continuación, con el fin de no generar una gran extensión del presente informe, se presentará un análisis de las distintas aplicaciones, tomando como ejemplo solo algunas de las bibliografías que en estas comprenden, especialmente las más modernas.

### 2.3.3 Revisión de bibliografía sobre aplicaciones en general

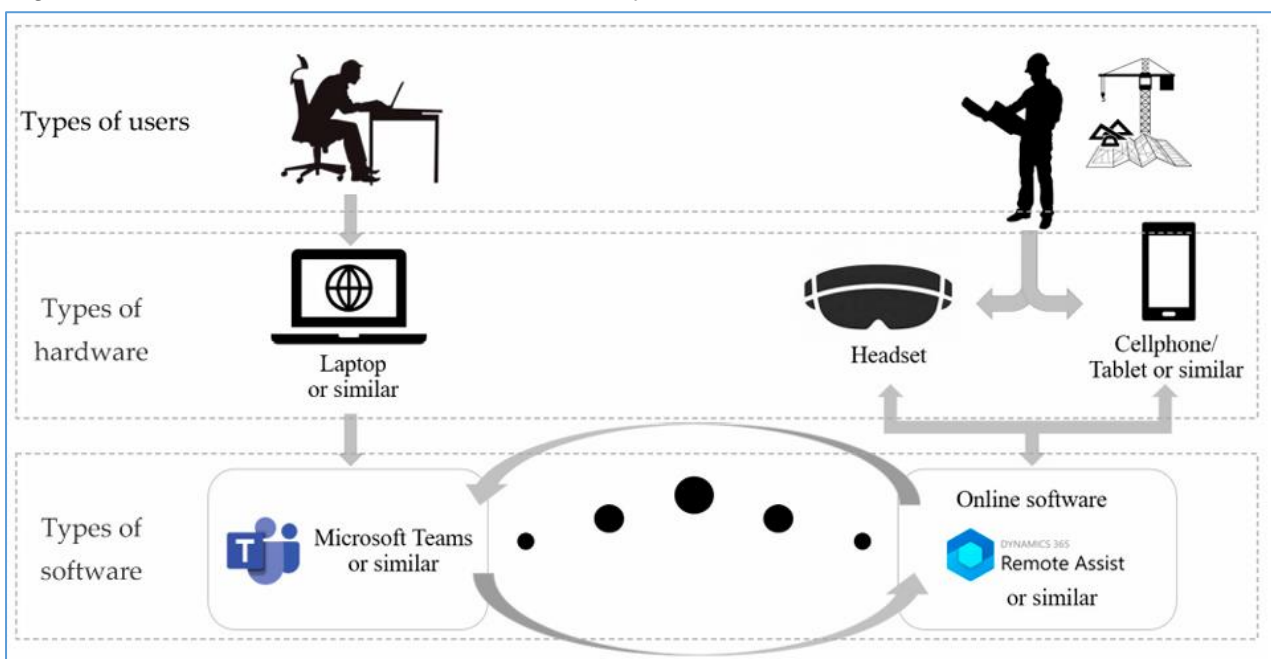
En este tipo de bibliografía no se trabaja una temática específica, sino que realizan una recolección de distintas bibliografías sobre el tema, semejante a un estado del arte. En algunos casos se recopilan ventajas y barreras de la implementación de la tecnología.

#### **El Kassis et al. (2023): “Augmented Reality Applications for Synchronized Communication in Construction: A Review of Challenges and Opportunities”**

Se recopila un conjunto de bibliografías para identificar las ventajas y barreras de la aplicación de la realidad aumentada, con énfasis en las mejoras en la comunicación entre interesados de un proyecto. Entre las ventajas, se menciona a la enseñanza, inspección, la mejora en la visualización, el intercambio de información y la toma de decisiones. Entre las barreras, está la dificultad de manipulación, el interfaz poco amigable, la incomodidad de los dispositivos y obstáculos como el brillo del sol.

Otro aspecto importante es que se presenta una manera de conectar usuarios en tiempo real, remotos (fuera del lugar de obra), con aquellos que estén en obra (empleando realidad aumentada). Esto se realizaría mediante plataformas en línea como Microsoft Dynamics 365 Remote Assist (ver figura 1). Menciona también el dispositivo Trimble XR10 Hololens 2, también de Microsoft, que es la herramienta para la visualización en físico de los modelos de realidad aumentada.

Figura 1. Comunicación entre usuarios remotos y en obra



Fuente: El Kassis et al. (2023)

#### 2.3.4 Revisión de bibliografía sobre ergonomía en usuarios

##### **Marklin et al. (2023): “Do Head-Mounted Augmented Reality Devices Affect Muscle Activity and Eye Strain of Utility Workers Who Do Procedural Work? Studies of Operators and Manhole Workers”**

Se evalúa la fatiga visual y muscular que generan los dispositivos de visualización de realidad aumentada que se montan en la cabeza (HMD), específicamente el Microsoft HoloLens y el RealWear HMT-1. Para esta investigación, se evaluaron a 12 operadores de equipos eléctricos y 13 trabajadores en alcantarillado, haciendo pruebas con ambos dispositivos y también sin este. Se midieron las señales electromiográficas en 8 músculos de sus cuellos, las cuales se producen durante el proceso de contracción y relajación, empleándose para ello una serie de sensores adheridos previamente al cuerpo del trabajador (ver figura 2), que se registraban en una computadora. Asimismo, una cámara ocular media la frecuencia del parpadeo en el ojo derecho. Se identificó que no existía gran diferencia en la fatiga muscular, pero en la fatiga visual sí hubo una diferencia al emplear los HoloLens.

Figura 2. Experimento para medición de fatiga por dispositivos de realidad aumentada



Fuente: Marklin et al. (2023)

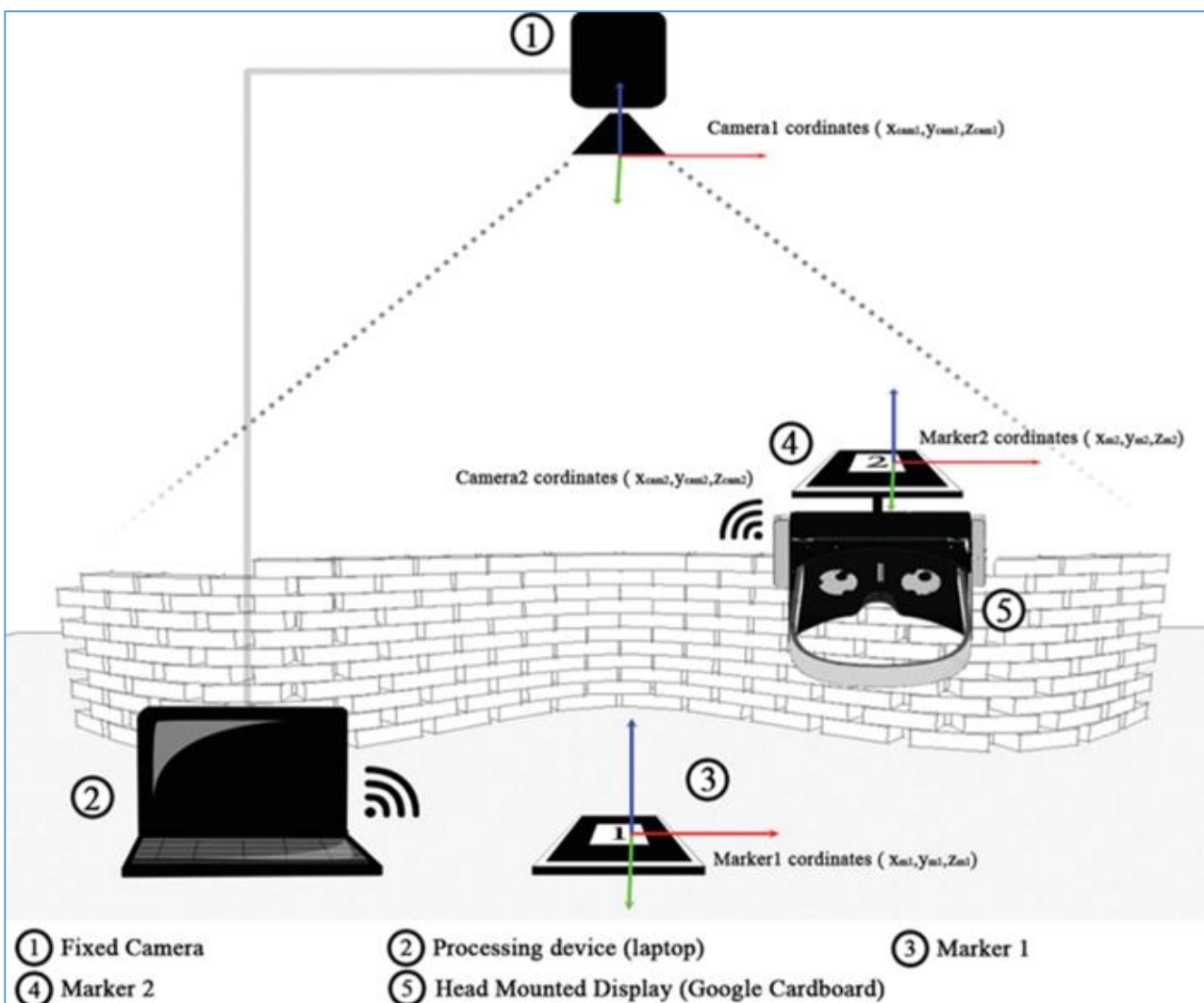
#### 2.3.5 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos - Albañilería

##### **Fazel & Izadi (2018): “An interactive augmented reality tool for constructing free-form modular surfaces”**

Se presenta a la realidad aumentada como una herramienta cuando se deben construir formas arquitectónicas complejas con unidades de albañilería. Si bien quien propone el diseño es el arquitecto, será un trabajador de construcción quien deberá hacerlo realidad, así que ante una geometría compleja el trabajo sería muy engorroso. Con la herramienta propuesta, el trabajador

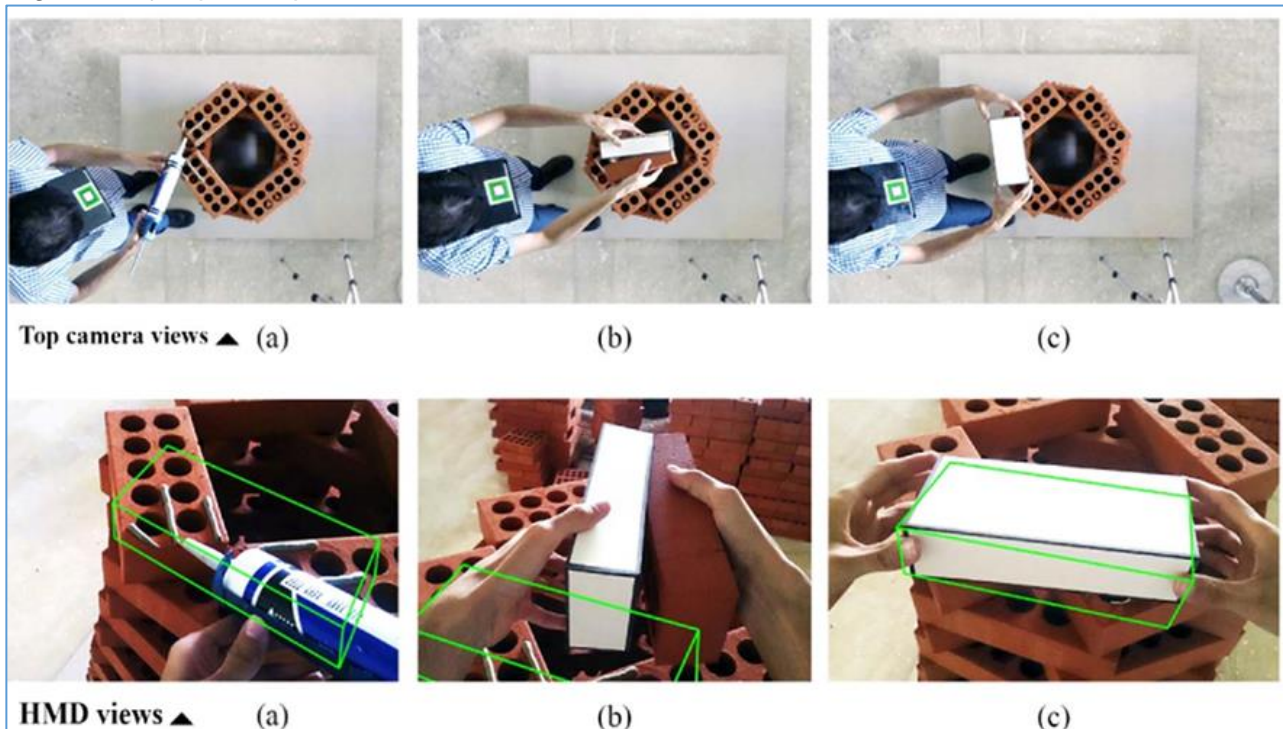
puede observar exactamente dónde colocar cada unidad de albañilería. Para su funcionamiento, se utilizó una cámara (1) que permitiría observar todo el campo donde se iba a construir un elemento con albañilería, la cual estaba conectada a una laptop que procesaba la información del código de realidad virtual (2). Se tenían 2 marcadores con coordenadas conocidas que sirvieron para geolocalizar el objeto que desea construirse, el primero se colocó en el centro donde se construiría (3) y el segundo se colocó encima del visor que usaría el trabajador (4), siendo este visor adherido a un teléfono celular a través del cual el trabajador observaría dónde ubicar cada unidad de albañilería (5) (ver figura 3). Luego de estudiar 5 prototipos, se obtuvo una importante minimización de errores (ver figura 4).

Figura 3. Funcionamiento del sistema constructivo con realidad aumentada



Fuente: Fazel & Izadi (2018)

Figura 4. Ejemplo del proceso constructivo con realidad aumentada



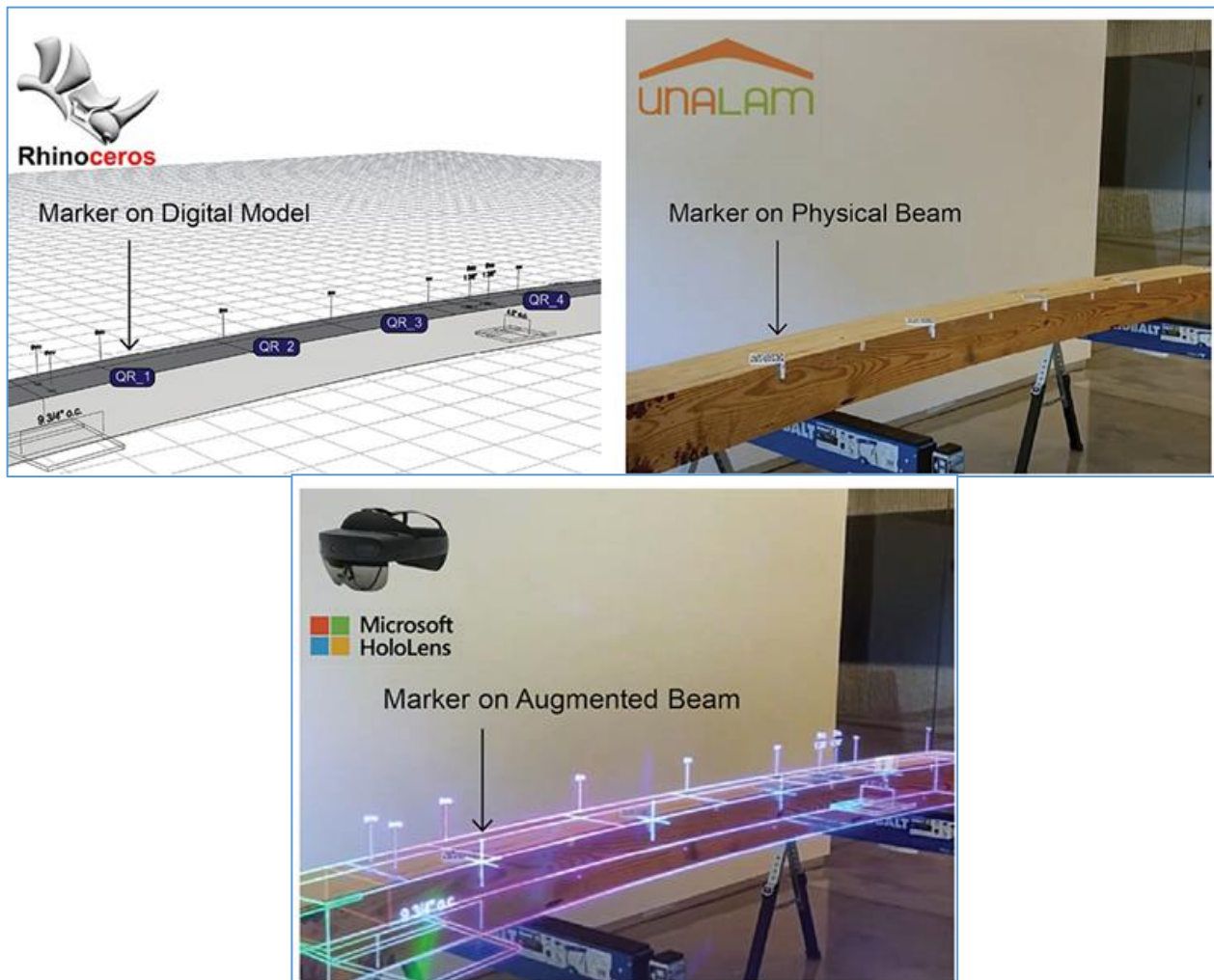
Fuente: Fazel & Izadi (2018)

### 2.3.6 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos - Madera

#### **Kyaw et al. (2023): “Augmented Reality for high precision fabrication of Glued Laminated Timber beams”**

En esta investigación se evalúa la factibilidad de emplear la realidad aumentada en la fabricación de vigas de manera, labor que requiere de una alta precisión por tener una tolerancia de 2mm. En ese sentido, se evalúa el impacto que tienen los marcadores ubicados a lo largo del elemento a fabricar, en este caso representados con los códigos QR que permiten mejorar el posicionamiento del elemento real con respecto al modelo en realidad aumentada (ver figura 5). Se busca evaluar qué efectos tiene la posición, el tamaño y la cantidad de estos marcadores como códigos QR en la precisión de la proyección del modelo. Como conclusión, se logra hasta una precisión de 0.97mm en la proyección del modelo al emplear marcadores QR separados 1.25 pies a lo largo del borde de la viga de madera.

Figura 5. Impacto de la posición de marcadores QR en la proyección del modelo



Fuente: Kyaw et al. (2023)

### 2.3.7 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos – Armadura de acero

#### **Wu et al. (2023): “Cognitive ergonomics-based Augmented Reality application for construction performance”**

Si bien esta investigación tiene como enfoque el evaluar la ergonomía cognitiva de los trabajadores, resulta interesante resaltar la prueba que realizan respecto al armado de refuerzos de acero. En este caso, se evaluaron 16 trabajadores, la mitad un día realizaban el armado en acero empleando solamente planos y al día siguiente realizaban lo mismo, pero con realidad aumentada, y viceversa con la otra mitad (ver figura 6). Se hizo la medición del tiempo que les tomaba realizar la tarea, el tiempo de recuperar información y de hacer consultas. Efectivamente, estos tiempos se redujeron al emplear la realidad aumentada, en promedio un 40% (fue 64.2% en un grupo y 22.1% en el otro).

Figura 6. Empleo de realidad aumentada en el armado de acero de refuerzo



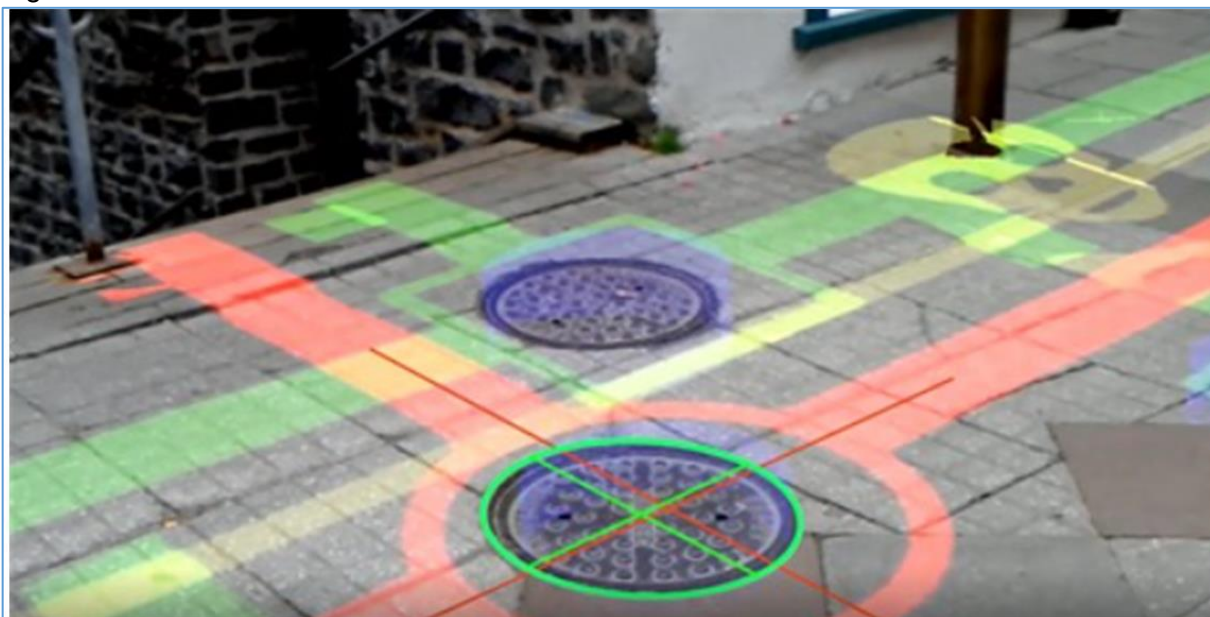
Fuente: Wu et al. (2023)

### 2.3.8 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos - Instalaciones

#### **Muthalif et al. (2022): “A review of augmented reality visualization methods for subsurface utilities”**

En este artículo se realiza la recopilación de distintas investigaciones donde se ha desarrollado la aplicación de la realidad aumentada para la localización de instalaciones subterráneas con fines de servicios públicos, ya sean tuberías o cables enterrados (ver figura 7). Menciona las diversas formas de visualización que se obtienen con esta tecnología, como vistas de rayos X de las instalaciones, vista transparente, en sombra o en sección transversal. Se menciona que las principales dificultades que atraviesa esta aplicación son la mala percepción de la profundidad de los, la falta de información de la ubicación precisa de estas instalaciones, y del correcto posicionamiento de los modelos virtuales sobre lo real. Se concluye que es importante continuar con la investigación en esta aplicación para superar las dificultades expuestas.

Figura 7. Ubicación de instalaciones subterráneas con realidad aumentada



Fuente: Muthalif et al. (2022)

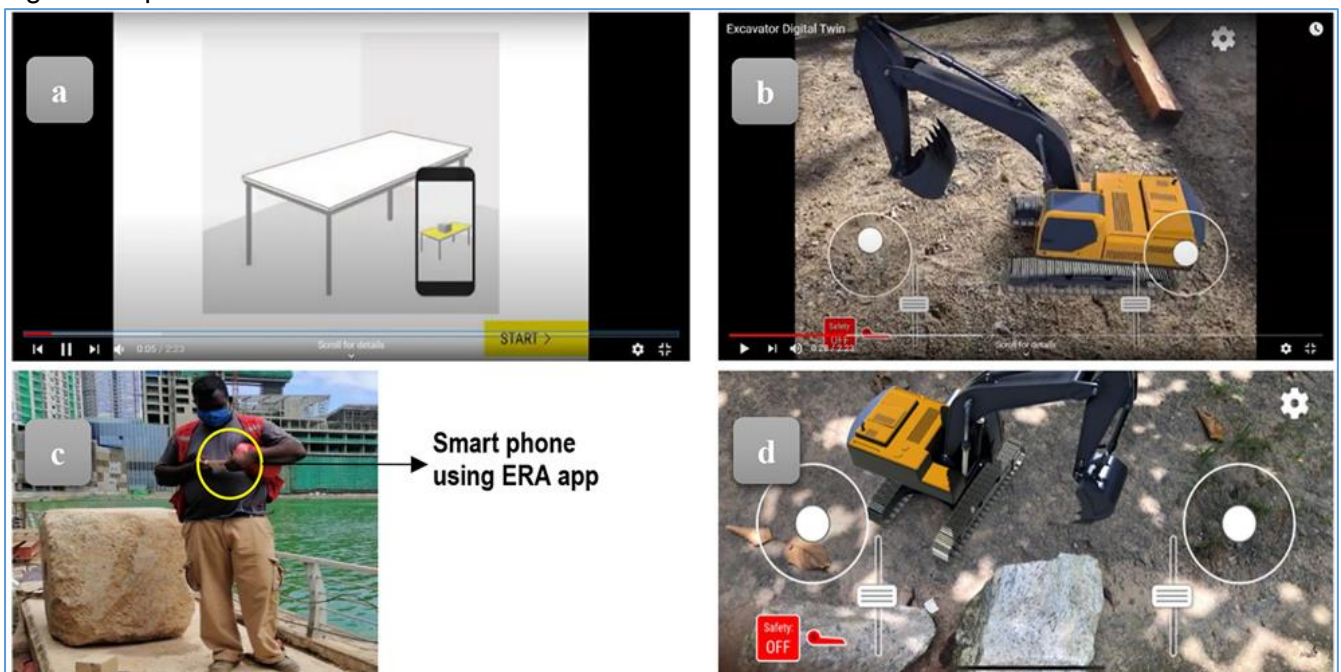
### 2.3.9 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos - Movimiento de tierras

#### **Abdeen et al. (2022): “The usability of a novel mobile augmented reality application for excavation process considering safety and productivity in construction”**

En esta investigación, los autores desarrollaron una aplicación que permita proyectar un modelo de excavadora con orugas en la zona de trabajo real, con el fin de identificar qué ventajas y qué limitaciones presenta. Para esto, se hizo una encuesta a 32 profesionales en el rubro de la construcción, se les explicó en qué consistía la aplicación, se les permitió hacer pruebas sobre su uso y finalmente se preguntó sus opiniones (ver figura 8).

Como resultado, se destacan aportes como el permitir conocer la capacidad de movimiento de los equipos (ya que reflejaba correctamente el comportamiento real de una máquina), que la visualización permite involucrar a la máquina en el entorno de trabajo y controlar futuros eventos. Esto podría tener importantes impactos en el entrenamiento del personal, en el control de la productividad y la seguridad de obra (dónde ubicar vigilantes, dónde colocar barreras, identificar posibles incidentes); si bien no se ahonda en estos aspectos, se recomienda continuar profundizando el estudio.

Figura 8. Aplicación de realidad aumentada con excavadora



Fuente: Abdeen et al. (2022)

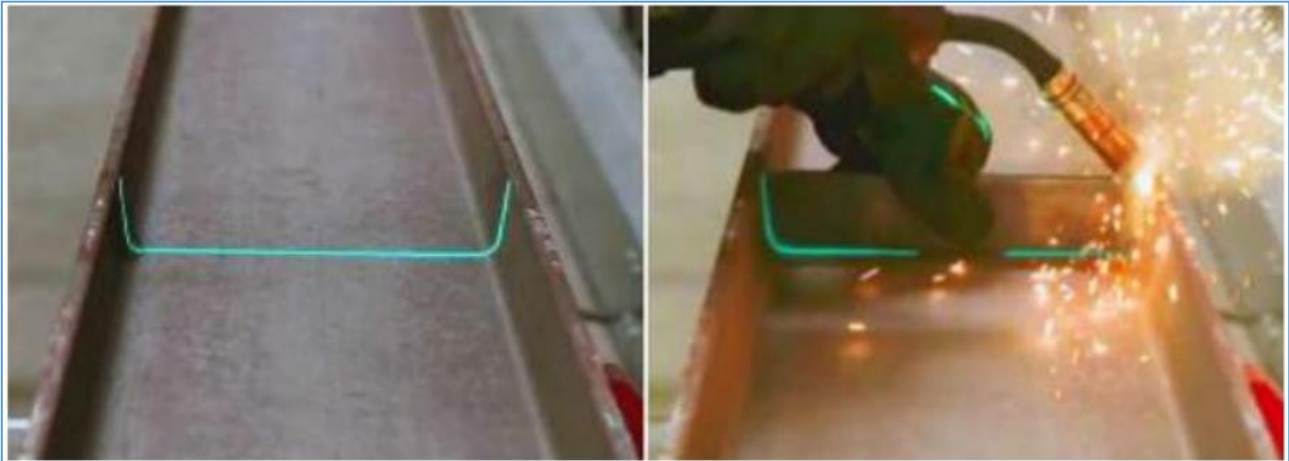
### 2.3.10 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos - Soldadura

#### **Tavares et al. (2019): “Collaborative Welding System using BIM for Robotic Reprogramming and Spatial Augmented Reality”**

En este trabajo, se presenta una interesante aplicación de la realidad aumentada para trabajos de soldadura. A partir de un modelo BIM en el programa Tekla, se diseña el modelo de realidad aumentada para proyectar información sobre la alineación en perfiles metálicos, para guiar al

soldador sobre los puntos que deberán ser soldados. Esto genera grandes mejoras, el soldador ya no depende de procesos de medición que pueden generar errores y de una interpretación de especificaciones que puedan resultar complejas (ver figura 9). Se mejora el flujo de información del proyecto (mostrando las especificaciones, eliminando la necesidad de verificar constantemente el cumplimiento del diseño) y aumentando la productividad de los operadores, minimizando la posibilidad de errores de fabricación.

Figura 9. Proyección de alineación para soldadura



Fuente: Tavares et al. (2019)

### 2.3.11 Revisión de bibliografía sobre procesos constructivos - En general

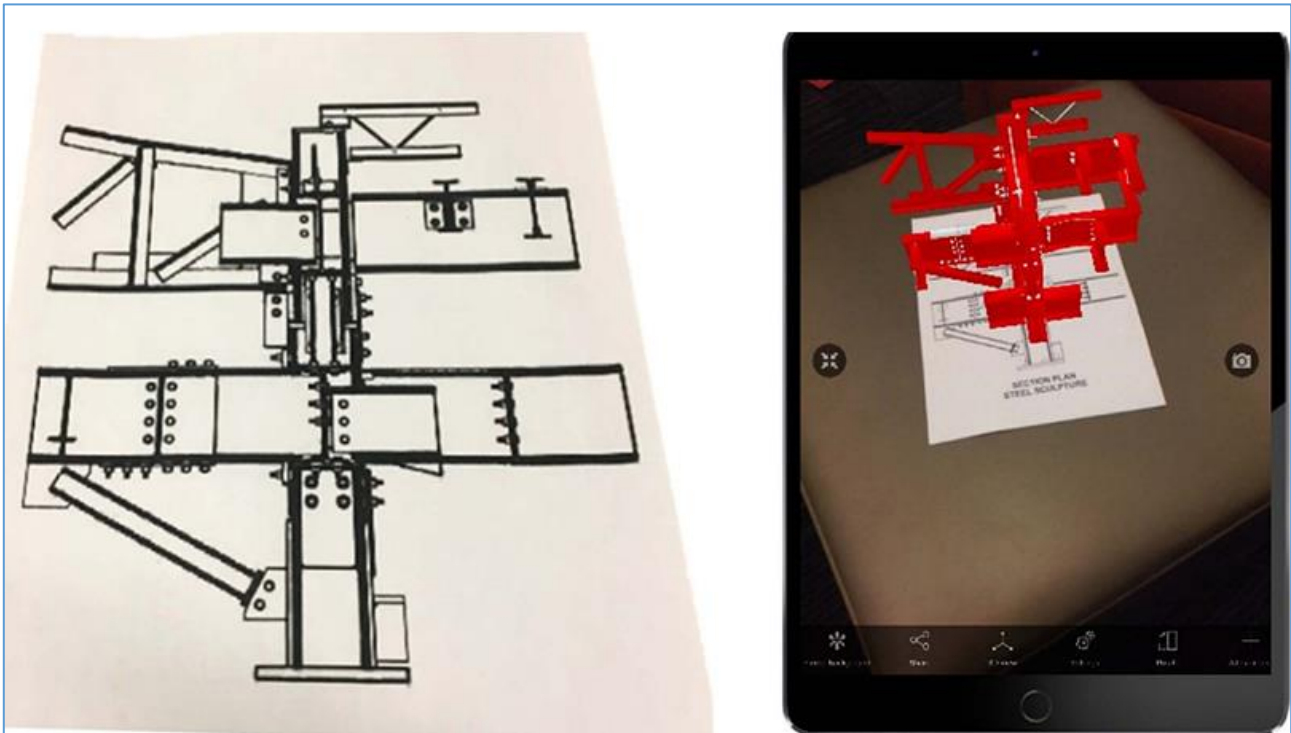
En este tipo de artículos no se presenta una aplicación en específico, sino que se muestran las distintas aplicaciones que pueden realizarse referidos a procesos constructivos. Normalmente, consiste en la revisión sistemática de distintas bibliografías, para presentar el estado del arte en la temática.

#### **Alkan & Basaga (2023): “Augmented reality technologies in construction project assembly phases”**

Presenta una revisión bibliográfica de artículos científicos sobre el estado del arte de la aplicación de la realidad aumentada en el sector construcción, con énfasis en los procesos constructivos donde más se ha investigado (construcción de muros, montaje de tuberías, entre otros). Señalan también qué herramientas de visualización y software son los más utilizados. En el caso de los dispositivos de visualización menciona a los HoloLens como el más utilizado. En el caso de los softwares para creación de modelos, menciona que el motor de juegos Unity es actualmente el más empleado debido a la cantidad de usuarios y librerías que actualmente existen.

Entre las aplicaciones que presenta, está la visualización de modelos en 3D en realidad aumentada a partir de imágenes en 2D (ver figura 10).

Figura 10. Proyección de modelos en 3D a partir de imágenes



Fuente: Alkan & Basaga (2023)

### 2.3.12 Revisión de bibliografía sobre inspección en obra – Calidad

#### **Abbas et al. (2020): “Impact of Mobile Augmented Reality System on Cognitive Behavior and Performance during Rebar Inspection Tasks”**

En esta investigación, se hizo la comparación entre el método tradicional para inspeccionar el refuerzo de elementos de concreto armado, versus dos formas de inspeccionarlo con realidad aumentada: con los dispositivos montados a la cabeza y con los portátiles (tablets), siendo un total de tres escenarios evaluados (ver figura 11). Se midieron los tiempos que tomaba terminar el trabajo de inspección y la cantidad de errores, referida a la cantidad de efectos que no fueron identificados. Entiéndase como defectos: espaciado entre barras, barras faltantes o adicionales, recubrimiento insuficiente en caras laterales y verticales, presencia de anclajes, así como el amarre y apoyo adecuado de las barras. La armadura de prueba se preparó intencionalmente con 20 errores.

De esta manera, se evaluó un total de 45 participantes, quienes se dividieron aleatoriamente en tres grupos, de manera que todos realizarían el trabajo con los escenarios, pero en diferentes momentos. Previamente, los participantes si bien ya tenían alguna experiencia en el tema, recibieron cierta capacitación sobre cómo usar los dispositivos.

Se obtuvo como resultado que el tiempo que tomó hacer la inspección en papel fue casi el doble del tiempo que les tomaba empleando la realidad aumentada. Sin embargo, las cantidades de errores que identificaron los usuarios que usaban planos impresos, fue mayor que los que usaban la realidad aumentada. Esto se pudo deber al tema de la profundidad que generan los modelos, al no existir una precisión en la proyección, puede fallar el proceso de inspección.

Figura 11. Inspección del refuerzo de elementos de concreto armado usando realidad aumentada



Fuente: Abbas et al. (2020)

**Sabzevar et al. (2023): “AR-QR code for improving crew access to design and construction information”**

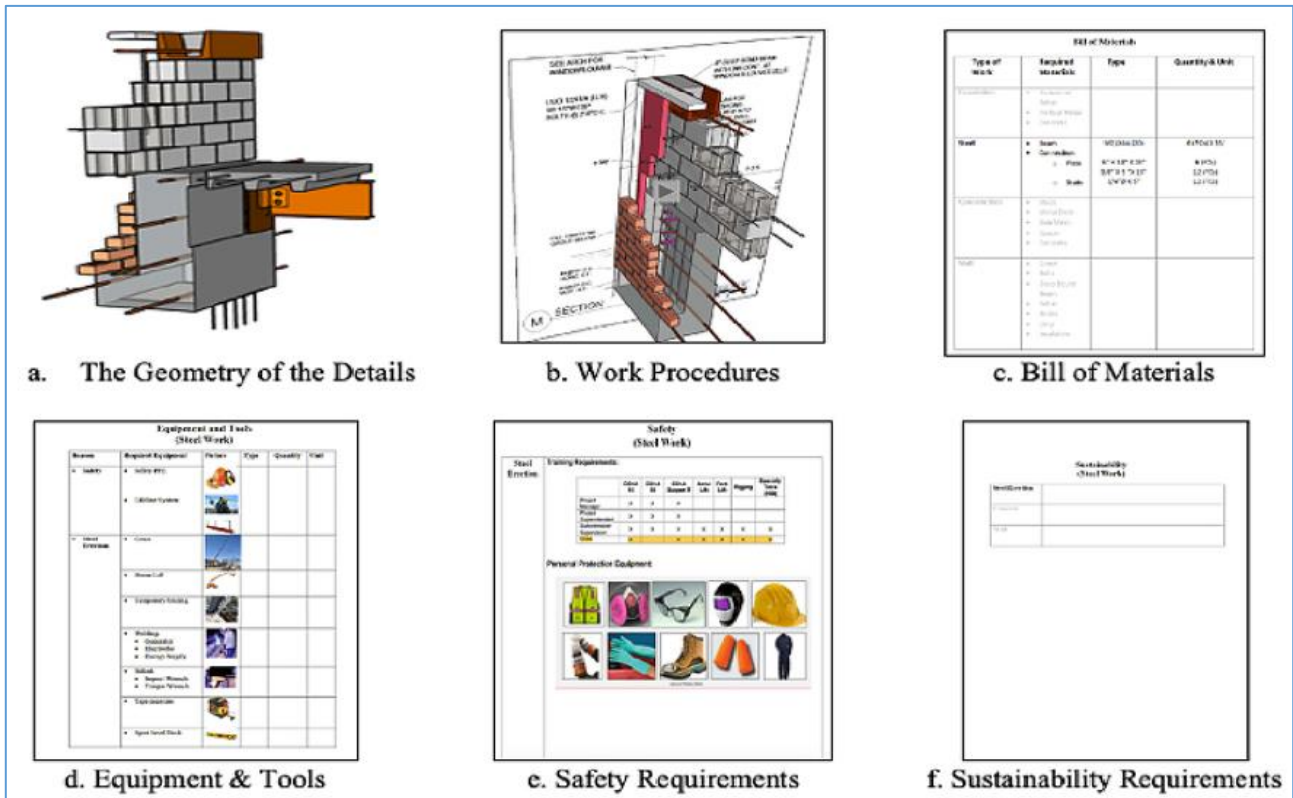
Se explica el uso idóneo de los marcadores con código QR, que permiten conectar de forma sencilla la información del proyecto con quien desee consultarlo (imágenes, modelo 3D, audio, videos o textos), adjuntándose junto al elemento que desee inspeccionarse.

Así, toda la información del proyecto se recopilaría en un enlace directo (en la nube, como Google Drive) y se vincula la información específica a un código QR que será leído por un dispositivo (teléfono, tabletas o visor), considerando que estos son de fácil detectabilidad. Se puede presentar de esta manera información sobre planos y detalles, procedimientos de trabajo, cantidad de materiales, equipos y herramientas necesarios, criterios de seguridad y sostenibilidad, así como demás información que sea de ayuda (cronograma, controles de calidad requeridos, entre otros) (ver figura 12).

En este caso, se consideró que el navegador Aument presentaba mejores resultados para esta aplicación, en comparación con las plataformas Unity y XCode, ya que permitía escanear los QR y permitía superponer información.

Finalmente, los encuestados también dieron opiniones sobre las limitaciones de la tecnología, como el necesitar las manos libres para poder operar las pantallas de los teléfonos inteligentes, los daños que pueden sufrir los códigos QR, así como la resistencia a la implementación de la tecnología y las curvas de aprendizaje requeridas. Se recomiendan hacer experimentos prácticos del tema, ya que en el artículo se basaron en observaciones cualitativas.

Figura 12. Información adjuntada al QR de un elemento constructivo



Fuente: Sabzevar et al. (2023)

### 2.3.13 Revisión de bibliografía sobre inspección en obra - Seguridad en obra

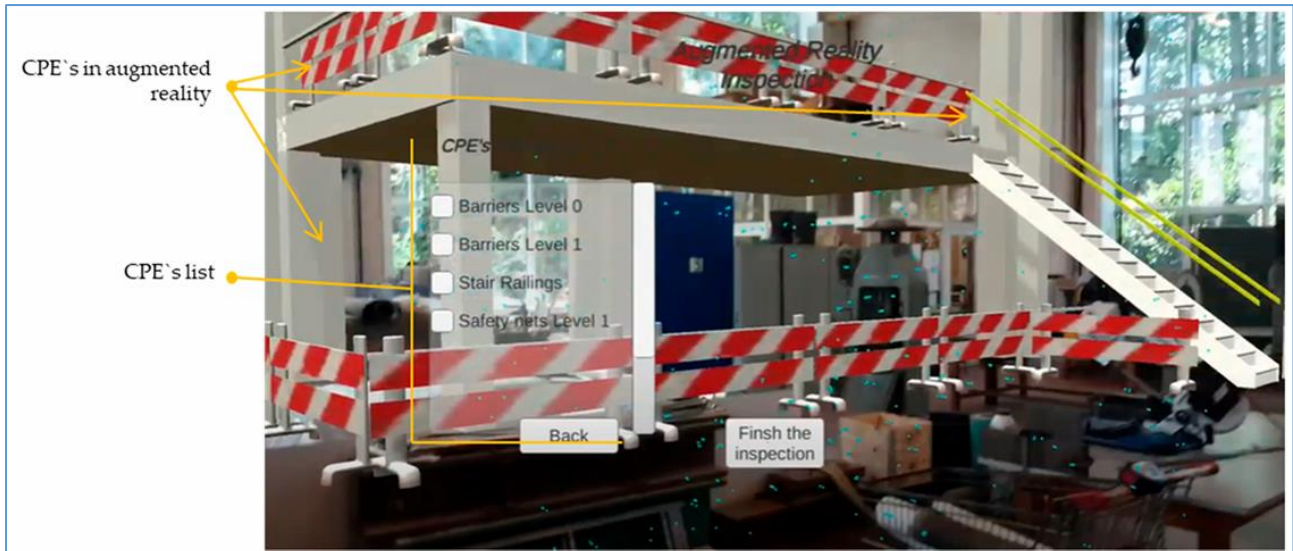
#### Ramos-Hurtado et al. (2022): “Proposal for the Deployment of an Augmented Reality Tool for Construction Safety Inspection”

La investigación se centra en la evaluación de los equipos de protección colectiva que deberían estar presentes en las zonas de trabajo, con el fin de automatizar la inspección mediante la realidad aumentada (ver figura 13). Tradicionalmente, esta inspección se realiza de forma visual y el nivel de eficacia depende de la experiencia del ingeniero de seguridad; sin embargo, es posible omitir algunos criterios. Siempre se pueden encontrar zonas desprotegidas, que por algún descuido o desconocimiento han sido omitidas. En ese sentido, una inspección periódica resulta clave para mantener las condiciones de seguridad. Asimismo, es importante tomar en cuenta que el control de la seguridad en obra es tarea de todos los presentes, así que debería existir una herramienta que permita facilitar esta detección por parte de cualquier integrante del proyecto.

El punto especialmente importante en los equipos de protección colectiva es que estos son cambiantes a lo largo de la ejecución de la obra, cambia su ubicación y los requerimientos asociados.

Entonces, se desarrolla esta aplicación con la interfaz Unity a partir de modelos realizados en Revit. Luego, estos serán visualizados con tablets o smartphones. Se concluye que, a pesar de las ventajas que genera la tecnología, no se puede dejar de lado la importante experiencia de los ingenieros de seguridad.

Figura 13. Identificación de requerir barandas perimetrales, empleando realidad aumentada



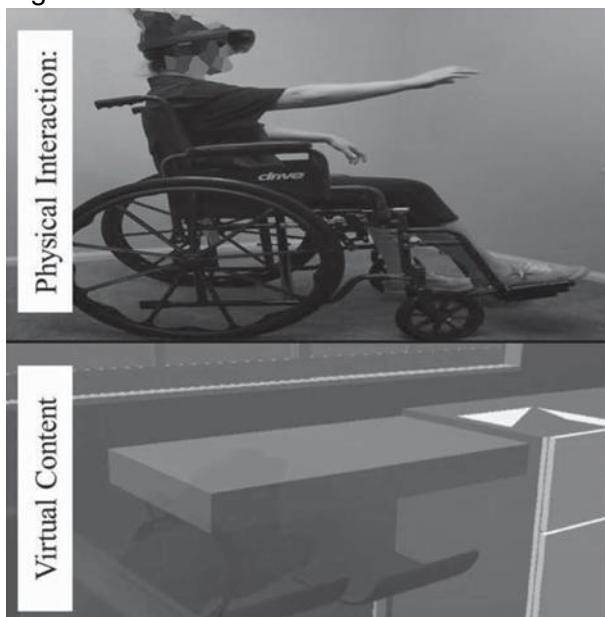
Fuente: Ramos-Hurtado et al. (2022)

#### 2.3.14 Revisión de bibliografía sobre educación afín a la construcción

##### **Hartless et al. (2020): “Comparison of Building Design Assessment Behaviors of Novices in Augmented- and Virtual-Reality Environments”**

En esta investigación, se explica la ventaja de la realidad aumentada de generar un entorno inmersivo en el proyecto para que los estudiantes puedan experimentar casos similares a los que tendrán en el oficio profesional. En particular, se evaluó un modelo de un edificio que debería adaptarse a personas con sillas de ruedas, así que un grupo de alumnos debería verificar qué fallas presentase el diseño, poniéndose en el escenario de ser estas personas con movilidad reducida (ver figura 14). Se logra finalmente verificar las bondades de la aplicación de la realidad aumentada, que permitía una interacción más directa del usuario con el entorno físico.

Figura 14. Interacción del usuario con el modelo de realidad aumentada



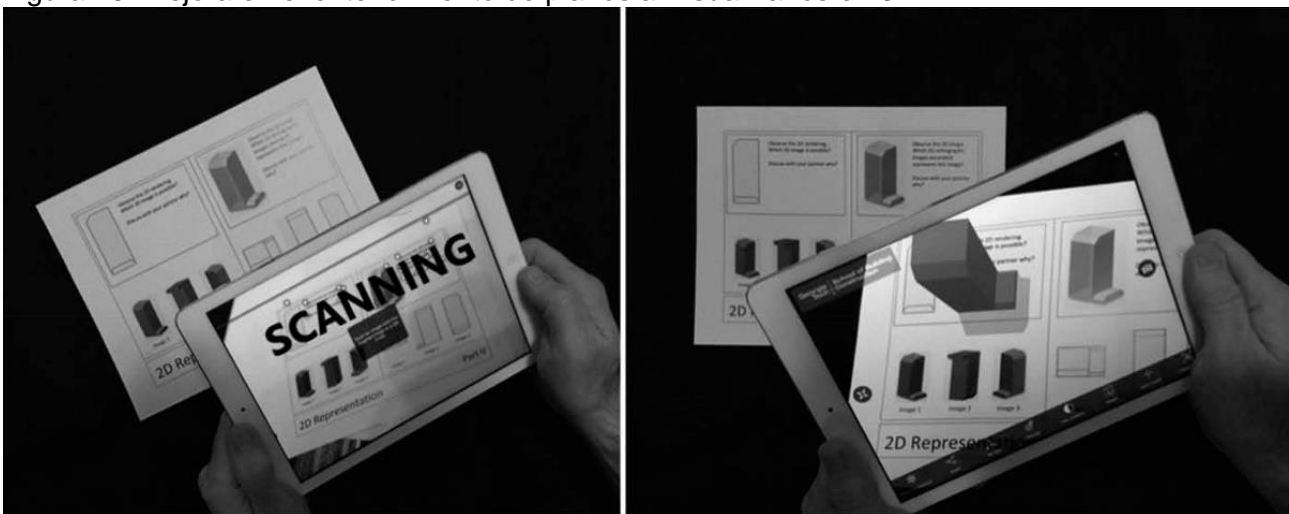
Fuente: Hartless et al. (2020)

**Kim & Irizarry (2020): “Evaluating the Use of Augmented Reality Technology to Improve Construction Management Student’s Spatial Skills”**

En este artículo se parte de la premisa que los resultados de la enseñanza en habilidades espaciales para los cursos de gestión de la construcción a menudo no satisfacen las necesidades de la industria, por lo que la realidad aumentada permitiría una mejor comprensión de lo que se está viendo. Para ello, se hizo el estudio con 254 estudiantes que estaban cursando la materia de Lectura de Planos. Se identificó que los alumnos evaluados no requirieron demasiado esfuerzo para entender la información del proyecto y tuvieron una alta satisfacción de emplear la tecnología en su proceso de aprendizaje.

Para generar los modelos, se empleó el software de Autodesk 123D Design, y se exportó para usarlo en el software Augment de realidad aumentada. La interfaz del sitio web se utiliza para gestionar y cargar los marcadores y modelos 3D. Una asociación entre el marcador y el modelo 3D se especifica mediante: primero, con la asignación de un modelo 3D a una imagen de marcador; segundo, definiendo el tamaño del modelo 3D que se mostrará; por último, ubicando en qué parte de la imagen del marcador se mostrará un modelo 3D. El participante escanearía en papel el marcador usando el software Augment, y al ser reconocido y comparado con el inventario de marcadores, se mostraría el modelo 3D correspondiente superpuesto a la imagen (ver figura 15).

Figura 15. Mejora en el entendimiento de planos al visualizarlos en 3D



Fuente: Kim & Irizarry (2020)

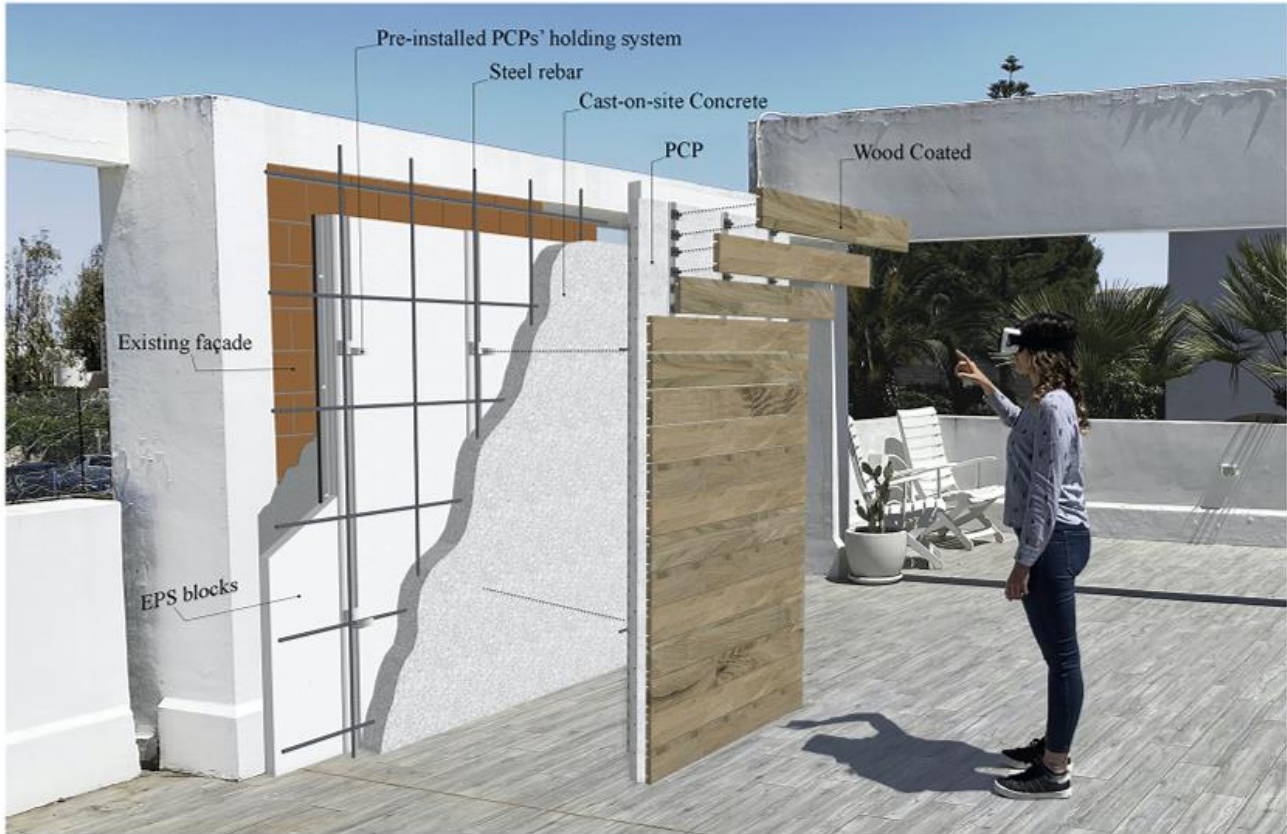
### 2.3.15 Revisión de bibliografía sobre toma de decisiones

**Sangiorgio et al. (2021): “Augmented reality based - decision making (AR-DM) to support multi-criteria analysis in constructions”**

La investigación plantea el beneficio de emplear la realidad aumentada en la toma de decisiones debido a la gran cantidad de información visual que aporta para la decisión. En este caso, se hace una prueba con un panel de concreto prefabricado para modernizar un edificio, teniendo distintas alternativas y debiendo considerar criterios como la estética, el comportamiento térmico y los costos.

Se pudo aplicar la realidad aumentada durante los trabajos de modernización para una inmersión más real con el proyecto (ver figura 16). Gracias a esto, se pudo mejorar la comprensión de los criterios involucrados, facilitando el trabajo incluso para aquellas personas que no fueran expertas en el tema.

Figura 16. Evaluación de acabados empleando realidad aumentada



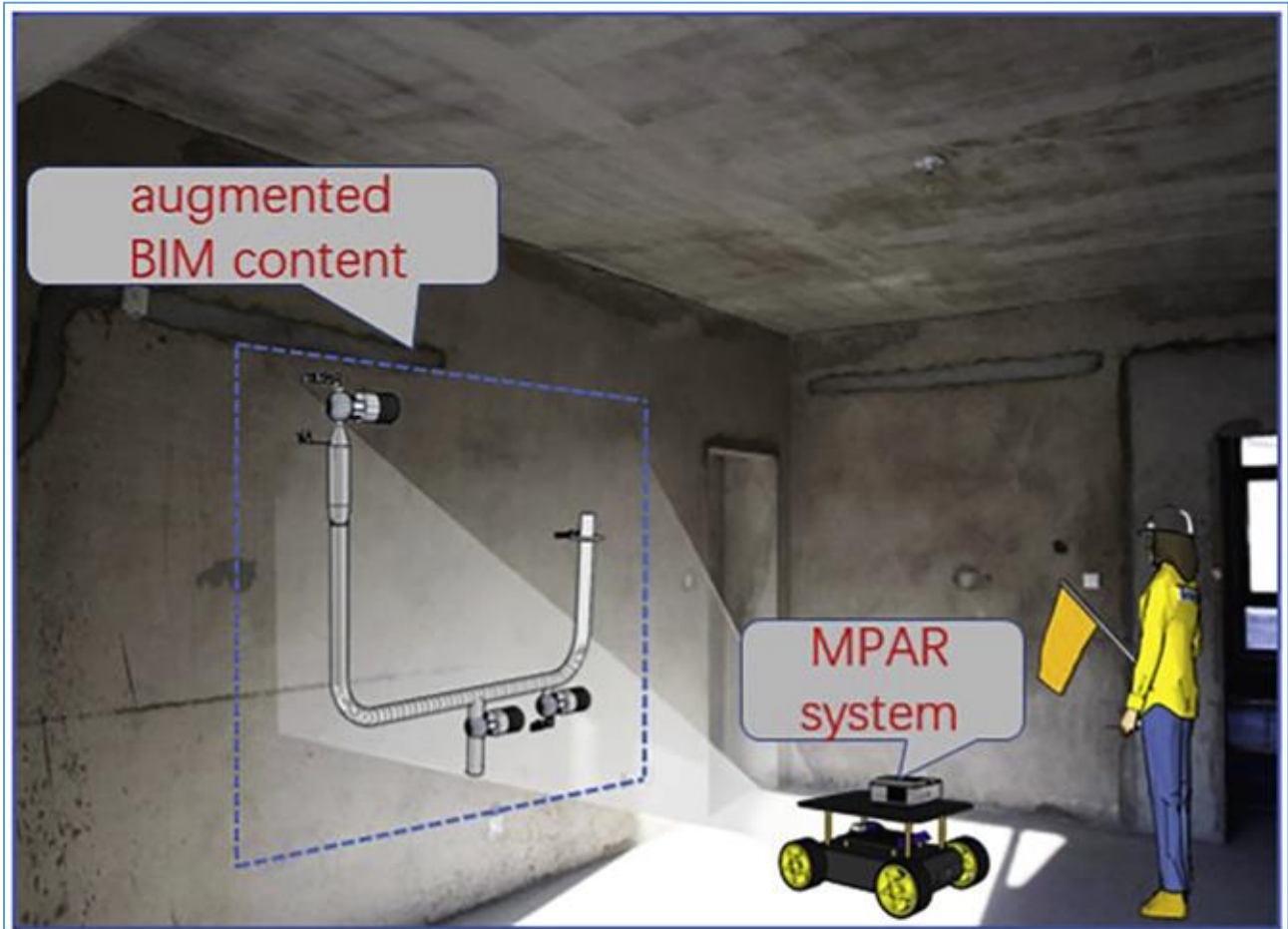
Fuente: Sangiorgio et al. (2021)

### 2.3.16 Revisión de bibliografía sobre futuras aplicaciones con robótica

#### **Xiang et al. (2021): “Mobile projective augmented reality for collaborative robots in construction”**

Esta es una investigación que marcaría los pasos futuros para la implementación de la tecnología, ya que parte de la premisa que los dispositivos de visualización con realidad aumentada que se adhieren a la cabeza del usuario podrían causarle problemas de salud y eficiencia (por el campo restringido). Entonces, plantea que un robot sea quien proyecte y superponga la información de los modelos 3D en el espacio físico que se desea evaluar, originado gracias a la visión de este por medio de la realidad aumentada (ver figura 17). El estudio ahonda otras particularidades como la movilidad del robot y que la proyección mantenga su precisión en la superposición del elemento que desea evaluarse.

Figura 17. Proyección de un robot con aprendizaje mediante realidad aumentada



Fuente: Xiang et al. (2021)

## CAPÍTULO III: EQUIPOS Y HERRAMIENTAS REQUERIDAS

En este capítulo se explicará la información referida a equipos y/o herramientas que se utilizan en la producción y supervisión de proyectos de construcción, que puedan incorporarse a un sistema de control y/o monitoreo mediante realidad aumentada. Asimismo, se explicará su descripción y especificaciones técnicas generales.

### 3.1. Introducción

En líneas generales, los recursos básicos que se necesitan para aplicar la tecnología de realidad aumentada son los siguientes:

- Software para la generación de los modelos virtuales.
- Software para transformar y visualizar los modelos en realidad aumentada.
- Dispositivos de visualización de modelos.

En este aspecto, hay una gama de posibilidades según las aplicaciones y el nivel de detalle de lo que se quiera realizar, puesto que uno mismo (si cuenta con conocimientos avanzados de programación) podría generar sus propias aplicaciones desde cero y adaptarlas a lo que necesite. Este podría ser el camino ideal en referencia a investigaciones futuras y perfeccionar el desarrollo de la tecnología (incluso con propuestas propias a nivel nacional), aunque también se requeriría el apoyo de profesionales relacionados a la informática (ingenieros de software y sistemas).

Sin embargo, si partiéramos de la premisa de querer adaptar esta tecnología al oficio de los ingenieros civiles (considerando como común un conocimiento básico o hasta intermedio en temas de informática), deberíamos trabajar con equipos y herramientas de fácil uso, sin requerirse el profundizar en mayores conocimientos que, aunque interesantes y modernos, podrían ser muy ajenos a la profesión (e incluso llegar a depender de otros profesionales).

Entonces, partiendo de la idea de proponer una independencia de la profesión del ingeniero civil en querer aplicar los conceptos de realidad aumentada sin profundizar en conocimientos que involucren a otros profesionales, se procede a hacer las recomendaciones de los equipos y herramientas ideales, haciendo énfasis de los más empleados a la actualidad. No obstante, se dará alguna información adicional sobre otros recursos que podrían ser empleados.

### 3.2. Software para la generación de los modelos virtuales

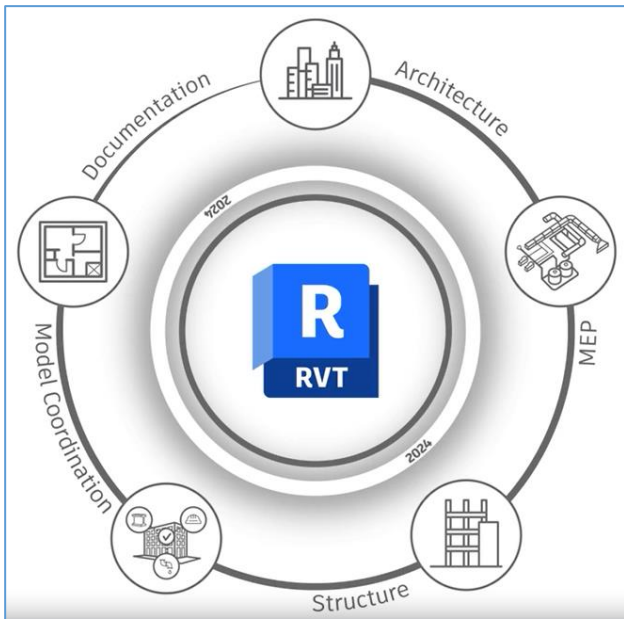
En el ejercicio de la ingeniería civil, los programas de modelamiento más empleados corresponden a Autodesk®, con énfasis a la metodología BIM. En ese sentido, son los ideales para poder desarrollar los modelos virtuales que luego serán empleados para la realidad virtual. Cabe señalar que se requiere de una computadora con los requisitos suficientes para su funcionamiento.

### 3.2.1. Autodesk Revit®

Es un software que se centra principalmente en proyectos de edificaciones (Autodesk, s.f. a). Este permite principalmente lo siguiente:

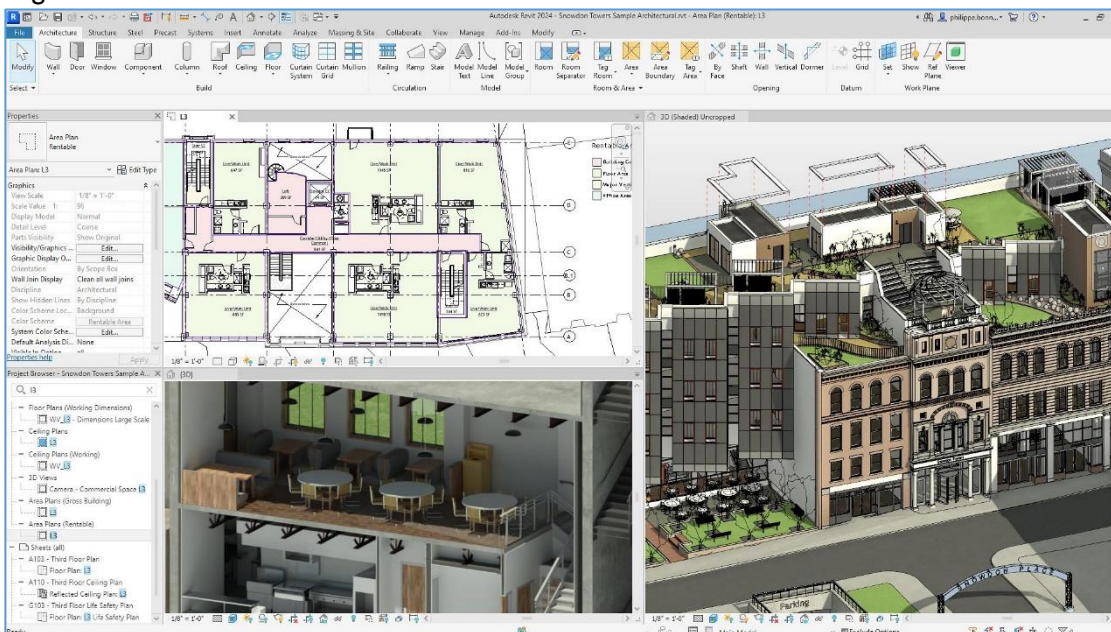
- Modelar estructuras en 3D de forma sencilla y precisa (ver figura 18 y 19).
- Agilizar la gestión de proyectos con revisiones instantáneas de planos, elevaciones, planificaciones y hojas.
- Permitir trabajos colaborativos y multidisciplinarios.

Figura 18. Software Autodesk Revit®



Fuente: Autodesk (s.f. a)

Figura 19. Entorno del software Revit®



Fuente: Autodesk (s.f. b)

Como características principales, se destacan las siguientes (Autodesk, s.f. b).

- Componentes paramétricos: Posee una serie de herramientas ya predefinidas para el trazo de elementos estructurales como muros, columnas, vigas, losas, cimentaciones, ya sea con concreto armado, con elementos de acero, entre otros. Tiene las mismas funcionalidades para elementos arquitectónicos e instalaciones. Esto facilita el trabajo porque solo deberá adaptarse la geometría que deba usarse.
- Trabajo compartido: Se puede sincronizar el modelo con otros usuarios y reflejar de forma directa las actualizaciones que se hagan, fomentando la colaboración.
- Visualización de información: Permite mostrar de forma rápida y ordenada información importante, como los Metrados de un proyecto. Asimismo, permite incluir información clave, como el nivel al que pertenece un elemento, el sector, u otros detalles (fabricante, marca, etc.).
- Mayores funcionalidades: Se puede ampliar su funcionalidad con otros programas como Dynamo, incluir plugins y demás soluciones útiles.
- Control de visibilidad: Es sencillo ocultar o modificar la visibilidad de los elementos, permitiendo un fácil trabajo de modelamiento.
- Familias importables: Existen una serie de familias en línea que se pueden descargar y facilitar el trabajo de modelado.
- Nuevas funcionalidades: Se pueden trabajar con herramientas como escaneado laser, donde a partir de una nube de puntos escaneada de una infraestructura existente se puede generar el modelo.
- Interoperabilidad: Se puede exportar el modelo a otros programas útiles, como para el análisis estructural, la evaluación del cronograma. Lo más importante, se puede exportar para transformarlo en un modelo apto para usarse en realidad aumentada.

### 3.2.2. Otras aplicaciones Autodesk®

El foco principal es el programa que permite el modelamiento de los elementos. Sin embargo, se puede compatibilizar también con otras aplicaciones también de Autodesk®. Entre estas, se presentan las siguientes.

- Autodesk BIM Collaborate Pro®: Permite una colaboración en el modelamiento a través de la nube, permitiendo que el equipo se conecte de forma simultánea y se actualice en tiempo real lo desarrollado. Es adaptable a Revit®.
- Navisworks®: Permite la revisión de conflictos entre las disciplinas (arquitectura, estructuras e instalaciones), así como la planificación del tiempo del proyecto (simulación 4D). Esto se obtiene unificando los datos en un modelo único.

### 3.2.3. Requisitos computacionales

Con respecto a los programas antes mencionados, los requisitos de la computadora que los maneje debe cumplir con la siguiente configuración básica (Autodesk, s.f. e).

- Sistema operativo Microsoft Windows 10 u 11, 64 bits
- Se recomienda adquirir un procesador con la máxima velocidad posible. Procesador Intel Xeon o i-Series de varios núcleos, o AMD equivalente, con tecnología SSE2.
- Memoria 16 GB de RAM (32 GB si es para modelos complejos de gran tamaño).
- Resoluciones de vídeo mínimo 1680 x 1050 con color verdadero.
- Tarjeta gráfica para DirectX® 11 con Shader Model 3.
- Espacio en disco 30 GB de espacio libre en disco.
- Conexión con internet.

### 3.2.4. Otras aplicaciones de modelamiento

- Sketchup®: Programa más enfocado al entorno arquitectónico del proyecto. También hay antecedentes bibliográficos que lo han empleado.
- Rhino®: Similar al caso anterior, está enfocado más en la volumetría del concepto completo de la edificación, más no en un nivel de detalle.
- Tekla®: Tiene importantes aplicaciones especialmente en el detallado de estructuras metálicas.

## 3.3. Software para transformar los modelos en realidad aumentada

Si bien hay una amplia variedad de herramientas para crear los modelos de realidad aumentada, para permitir la adopción correcta en la construcción es necesario trabajar con programas prácticos y fáciles de utilizar. En ese sentido, la herramienta más utilizada resulta ser el motor de juegos Unity, debido al gran uso que tiene para el desarrollo de juegos, la facilidad de encontrar documentos de consulta y a la fácil transición para su aplicación en el sector construcción por la gran cantidad de librerías que ya existen (incluyendo los paquetes gratuitos).

### 3.3.1. Motor de juegos Unity

El motor de juegos Unity es el más empleado en aplicaciones de realidad virtual y realidad aumentada. Lo importante es que permite visualizar los modelos en cualquier dispositivo iOS, Android, PC y Mac.

Permite crear experiencias 3D en tiempo real, desde las aplicaciones de Autodesk como Revit, Navisworks, SketchUp y Rhino. Entre sus beneficios, destaca (Unity, s.f. a):

- Proceso rápido de toma de decisiones: Genera experiencias interactivas y envolventes que conectan en vivo con los modelos de diseño originales.
- Comunicar el diseño: Se puede trabajar a escala 1:1 la realidad aumentada, para poder detectar errores e interferencias, para evitar retrabajos.

- Permite trabajar con distintas plataformas, pudiendo trabajar incluso en la nube para una mayor colaboración con los usuarios. Se visualiza en iOS, Android, PC y Mac.
- Reduce las solicitudes de cambio, el tiempo de construcción y los costos.

Básicamente, es la aplicación ideal si la intención es directamente llevar un modelo generado en otra aplicación a la realidad aumentada, para hacer revisiones directas.

Existen varias opciones para adquirir el programa, la más empleada es la versión Unity Pro, que posee (Unity, s.f. b):

- Plataforma de desarrollo en tiempo real.
- Comandos visuales.
- Pantalla personalizable.
- Implementación de consolas de juegos.
- Herramientas de creación de Unity Mars para AR/MR
- Acceso a la nube de la unidad, hasta 50GB.
- Generación de diagnósticos sobre errores y fallos.

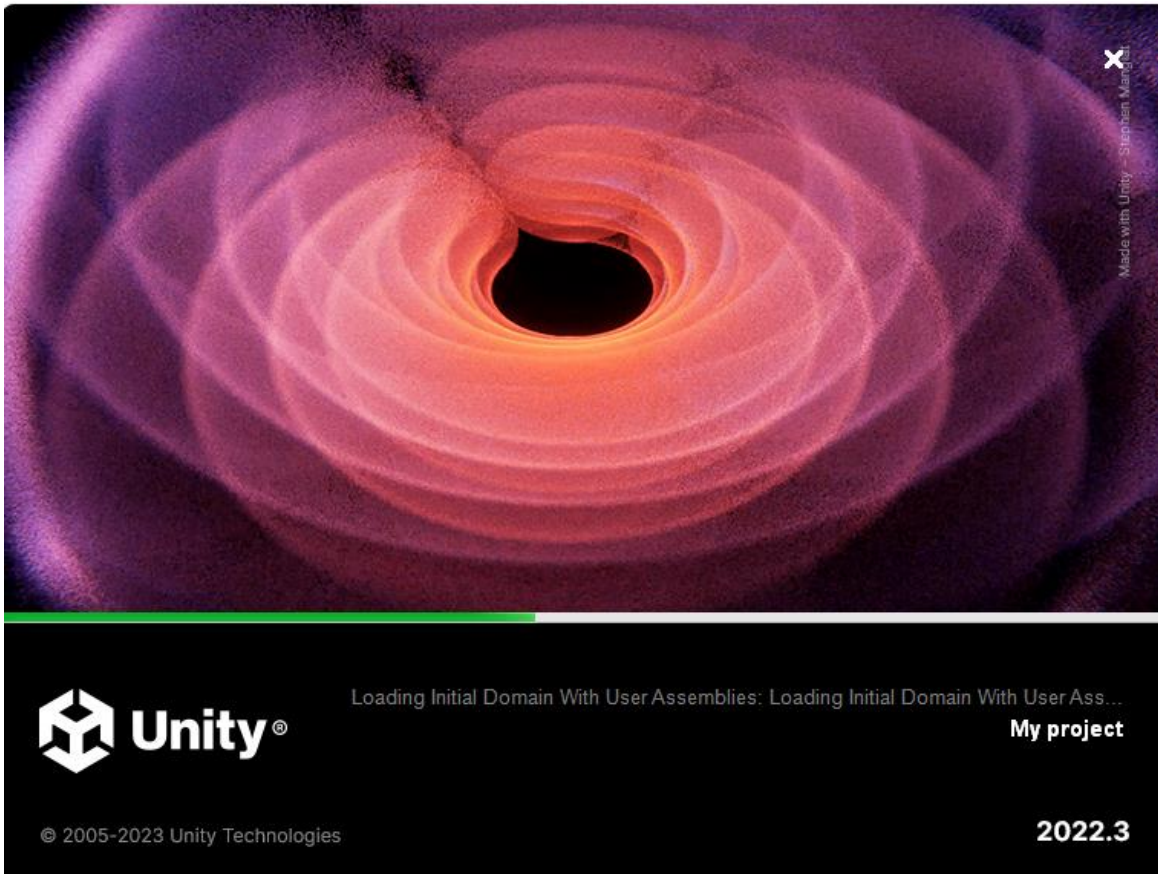
Existe otra versión es que el Unity Industry, la cual tiene algunos complementos adicionales (Unity, s.f. b):

- Acceso al código fuente, de manera que se puede adaptar el proyecto a la necesidad del cliente, permitiendo ampliar las funcionalidades.
- Ofrece herramientas específicas para la industria.
- Ofrece mayores complementos de capacitación.

En este caso, para un primer acercamiento, se recomienda la opción de Unity Pro. Como se mencionaba anteriormente, la intención en esta primera parte sería trabajar a nivel de ingenieros civiles. No sería necesario llegar al detalle de editar códigos fuente.

Básicamente, el Unity Pro es la aplicación donde uno puede visualizar los modelos y hacer ediciones, similar a otros programas de modelamiento, aunque con funcionalidades más destinadas a una revisión general, a modificar la visibilidad de capas, la visibilidad como persona que recorre el modelo, y los niveles de iluminación (ver figura 20).

Figura 20. Unity



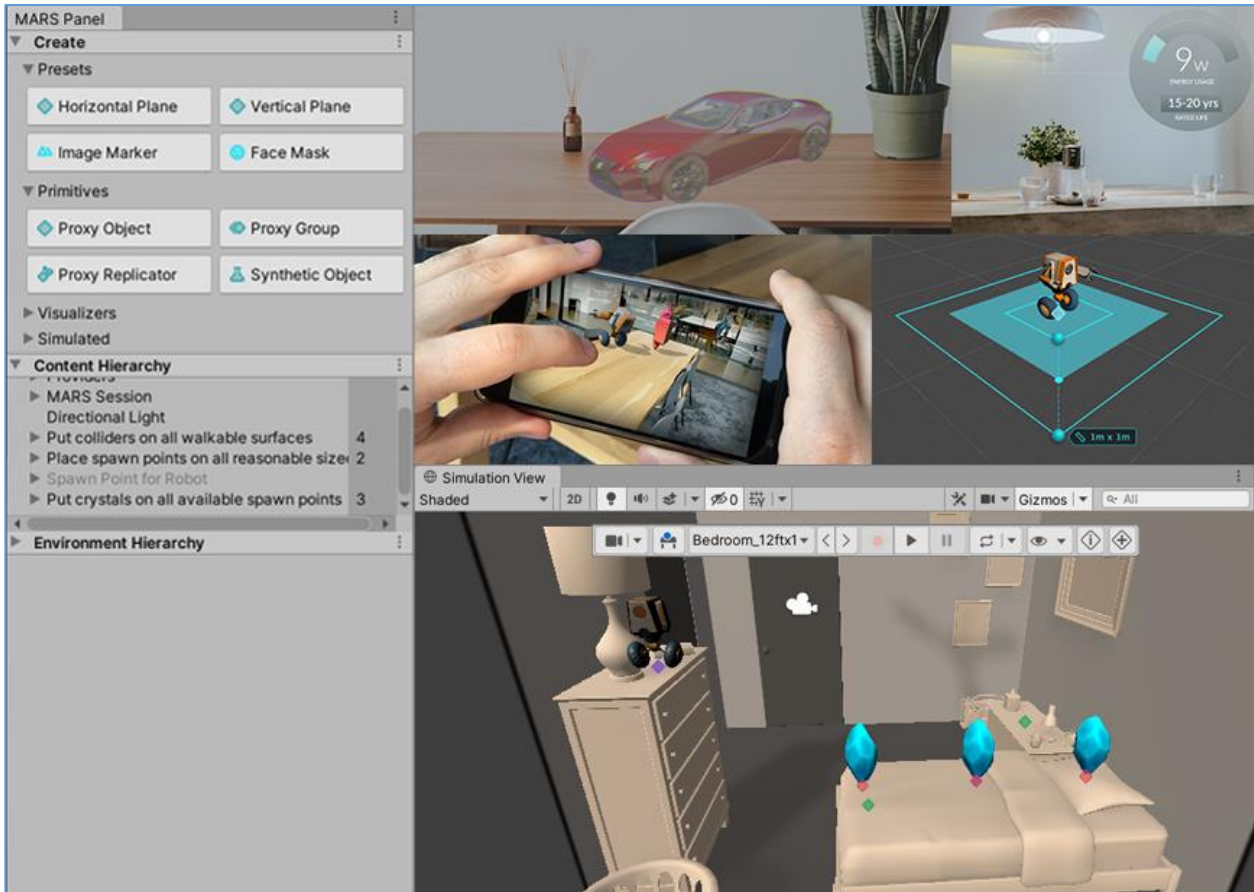
Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2. Unity Mars

Sus siglas significan Mixed and Augmented Reality Studio (MARS), la cual es la extensión de Unity que agrega nuevas funciones para la creación de contenido de realidad aumentada (Unity, s.f. c) (ver figura 21).

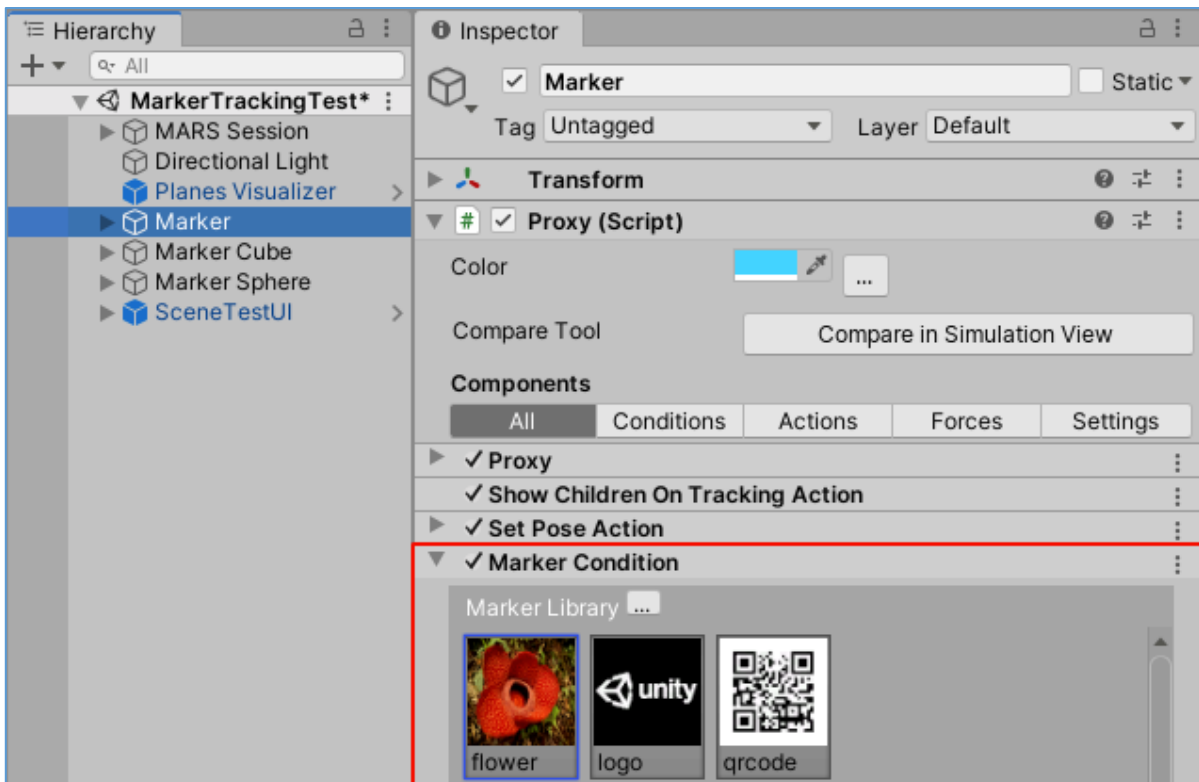
Existe mucha información sobre esta aplicación (Unity, s.f. d), empezando por los procesos de instalación como paquete en el entorno de Unity y algunas configuraciones previas (por ejemplo, para que las aplicaciones de realidad aumentada se puedan ver en dispositivos Android). Asimismo, hay una serie de tutoriales que explican esta interfaz, conceptos básicos, existen plantillas gratuitas. Incluso, también explica cómo crear e incorporar los marcadores QR para las aplicaciones de realidad aumentada (ver figura 22).

Figura 21. Plataforma Unity MARS



Fuente: Unity (s.f. d)

Figura 22. Generación de QR con Unity MARS



Fuente: Unity (s.f. d)

### 3.3.3. Twinbuild

Es otra herramienta muy interesante, ya que esta se creó especialmente para el sector construcción como herramienta directa para la realidad aumentada (Twinbuild, s.f.). La única limitante que se identifica es que su funcionabilidad es directamente con los HoloLens, mas no con otros dispositivos portátiles (celulares o tablets).

Permite trabajar de forma directa con los modelos Revit, permitiendo ver conflictos entre los planos y las condiciones de obra, evitando cambios y retrabajos (ver figura 23). Está diseñado con una alta precisión (+ / - 3mm) en cuanto a la proyección a escala real, lo que permite utilizarlo de forma confiable.

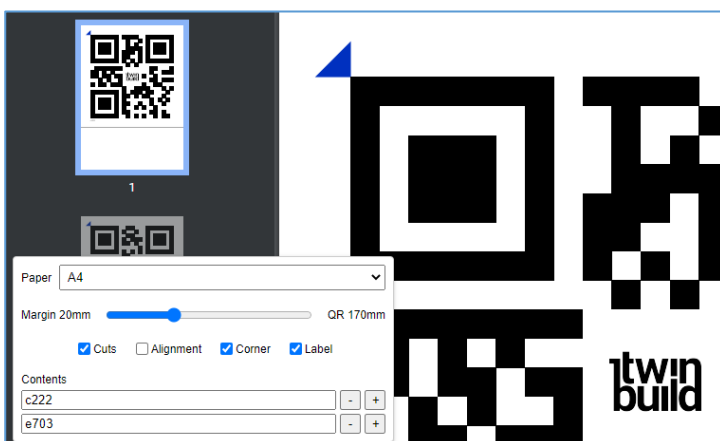
Está diseñado para ser sencillo de utilizar, incluso con la opción de generación y visualización de códigos QR (ver figura 24). En la siguiente página se encuentra una serie de tutoriales sobre su empleo: <https://docs.twinbuild.com/>

Figura 23. Twinbuild para realidad aumentada en la construcción



Fuente: Twinbuild (s.f.)

Figura 24. QR con Twinbuild



Fuente: Twinbuild (s.f.)

### 3.3.4. Trimble Connect AR

Es otra solución de la empresa Trimble, específicamente diseñada para el sector construcción, permitiendo visualizar modelos digitales escala 1:1 en el sitio (Trimble, s.f.). Lo interesante es que, a diferencia del caso anterior, también es compatible para trabajarse con celulares y tablets, con sistema iOS y Android.

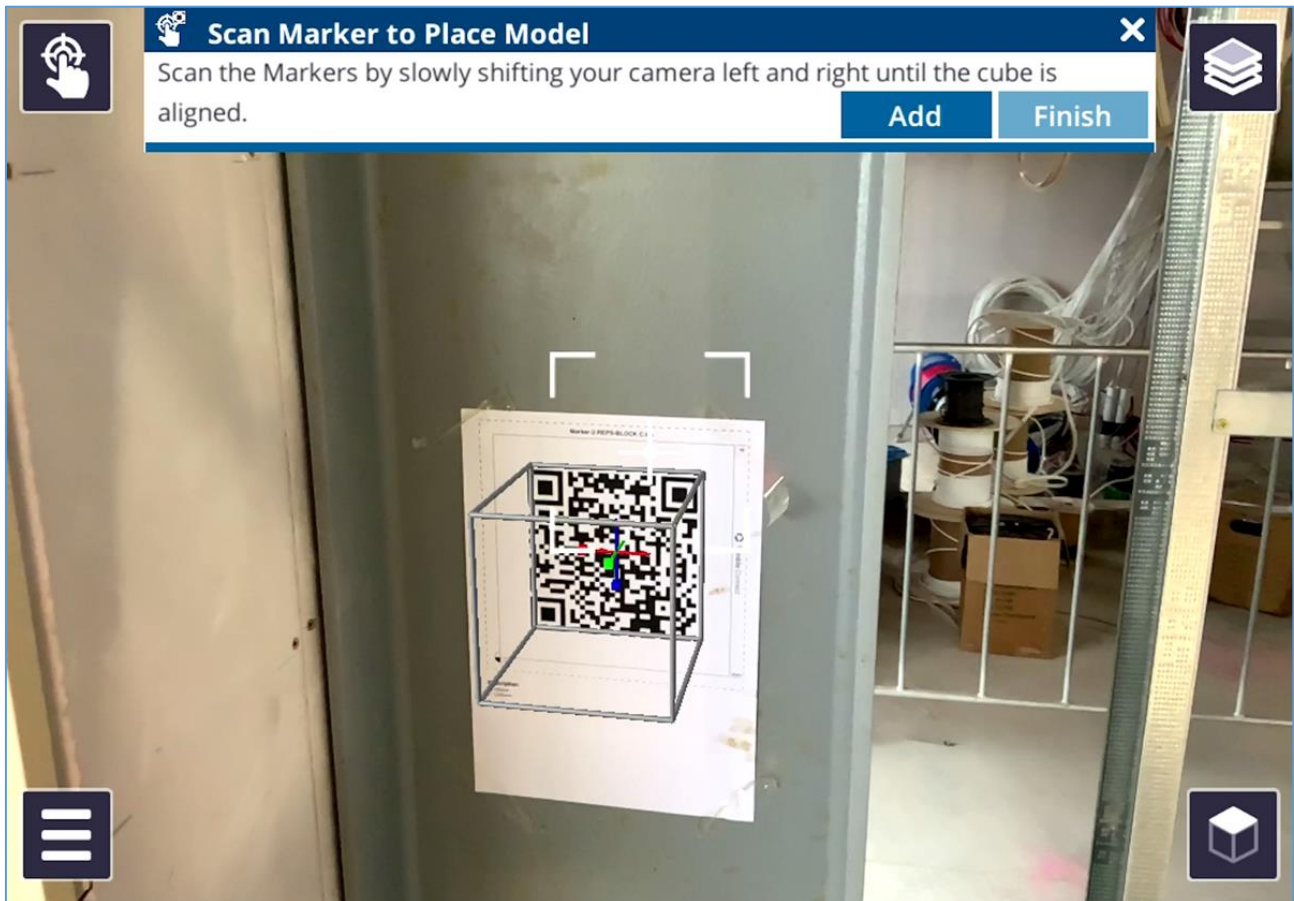
Figura 25. Trimble Connect AR



Fuente: Trimble (s.f.)

Como la solución se adapta al sector construcción y modelos BIM, resulta una opción bastante interesante. Permite visualizar planos de obra, empoderar a los trabajadores para tomar decisiones más informadas, realizar controles de calidad, ver los modelos BIM en realidad aumentada, situar con precisión los modelos mediante los marcadores QR (ver figura 26).

Figura 26. Marcadores QR con Trimble Connect AR



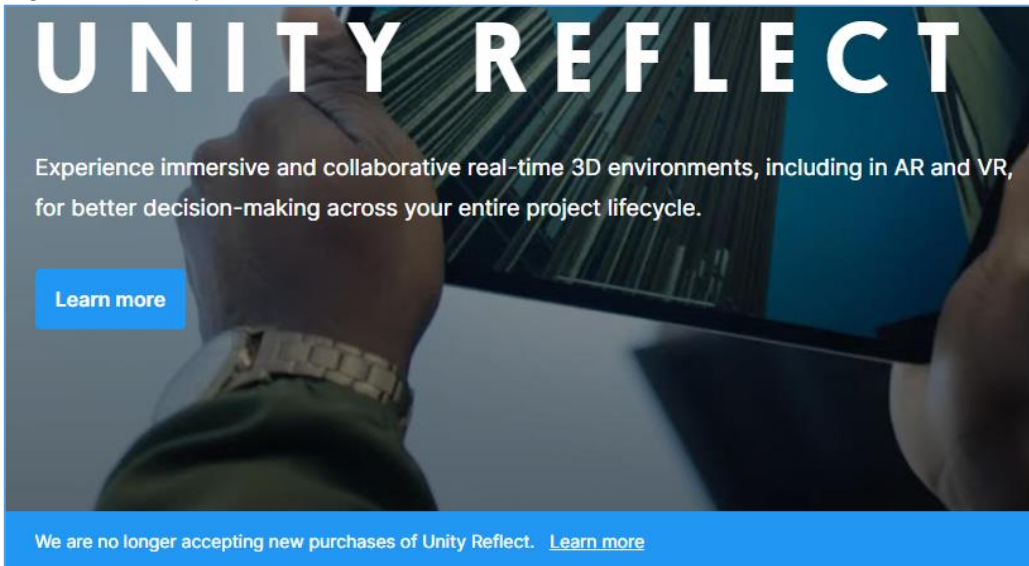
Fuente: Trimble (s.f.)

También, una funcionalidad que resalta es la de poder capturar y compartir fotos de la realidad aumentada, lo cual incluso puede adjuntarse a informes de RFI (solicitudes de información), listas de problemas, etc.

### 3.3.5. Otras herramientas

- Unity Reflect: Se menciona que este es el complemento ideal para aplicaciones de realidad aumentada con Unity, aunque actualmente ya no se están ofreciendo licencias de este (ver figura 27). Contaba con aplicaciones directas para proyectar los modelos en espacios físicos.
- Augment: (Augment, s.f.): Plataforma que también permite generar modelos en 3D para realidad aumentada.
- AR Core Google: Son complementos que también se pueden usar con Unity. Permiten, entre otros, compatibilizar con Google Maps. Por ejemplo, localizar un objeto virtual en una posición específica y, al ir a dicha ubicación, observar este con realidad aumentada (ARCore, s.f.) (ver figura 28).

Figura 27. Unity Reflect



Fuente: Unity (s.f. e)

Figura 28. ARCore



Fuente: ARCore (s.f.)

### 3.4. Dispositivos de visualización de modelos

Luego de ya tener transformado el modelo a la realidad aumentada, lo último que se necesita es el dispositivo que permita su visualización de forma conjunta con la realidad.

Los estudios indican que las pantallas montadas en la cabeza (HMD) han ganado bastante popularidad en los últimos años para aplicaciones de realidad aumentada, convirtiéndose en la más utilizada en este campo. Seguido de estas, también es común utilizar teléfonos móviles o tablets que generen la proyección del modelo. Es importante tener en cuenta que, para el sector construcción, las herramientas de visualización deben ser ligeras y poseer movilidad (Alkan & Basaga, 2023).

Lo importante de las pantallas montadas es que permiten que el usuario tenga las manos libres (lo que no es posible si se está sosteniendo un celular o tablet), además de permitir trabajar con tareas computacionales más avanzadas.

A continuación, de las bibliografías consultadas, se presentarán los dispositivos de pantallas montadas a la cabeza que han sido más empleados.

#### 3.4.1. Pantallas montadas en la cabeza: Microsoft HoloLens

Considerado como un dispositivo holográfico autónomo y ergonómico. Permite visualizar el contenido en 3D (ver figura 29). En algunas aplicaciones que muestra la empresa creadora (Microsoft, s.f. a), señala un 90% de aumento de la eficacia en los trabajos de ensamblaje. Acelera el ritmo de diseño, reduce la repetición de trabajos y permite que los interesados interactúen con el proyecto de una forma innovadora. Los empleados también podrán identificar riesgos más rápido, así como poder validar de forma precisa el diseño y las condiciones de construcción.

Se menciona también que en Minnesota se logró un ahorro de \$4 millones al año por inspecciones de infraestructura, reduciendo también en un 14% los costos de construcción. En el sector educación, se reporta hasta un 83% de reducción en los tiempos de formación (ver figuras 30 y 31). Tiene la capacidad de trabajar con hologramas de seguimiento de la mano, toque, agarre y movimientos articulados que se sienten naturales. Al adaptarse a las manos, los hologramas responden como objetos reales.

Asimismo, gracias a sus comandos de voz integrados, los usuarios pueden utilizarlo de forma rápida, aunque estén con las manos ocupadas. Por otro lado, la configuración del dispositivo entiende hacia dónde se está viendo, así que adapta los hologramas a los ojos en tiempo real.

Algunas de sus especificaciones técnicas son las siguientes:

- Pantalla
  - Óptica: Lentes holográficas transparentes (guías de ondas)
  - Resolución: 2.000 millones de píxeles
  - Densidad holográfica: >2.500 millones de píxeles (puntos de luz por radián)
  - Representación basada en los ojos: Optimización de la pantalla para la posición 3D del ojo
- Sensores
  - Seguimiento de la cabeza: 4 cámaras de luz visible
  - Seguimiento de los ojos: 2 cámaras de infrarrojos
  - Profundidad: Sensor de profundidad de tiempo de vuelo de 1 MP
  - IMU: Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro
  - Cámara: Imágenes fijas de 8 MP, vídeo 1080p30
- Audio y voz
  - Matriz de micrófonos: 5 canales
  - Altavoces: Sonido espacial integrado

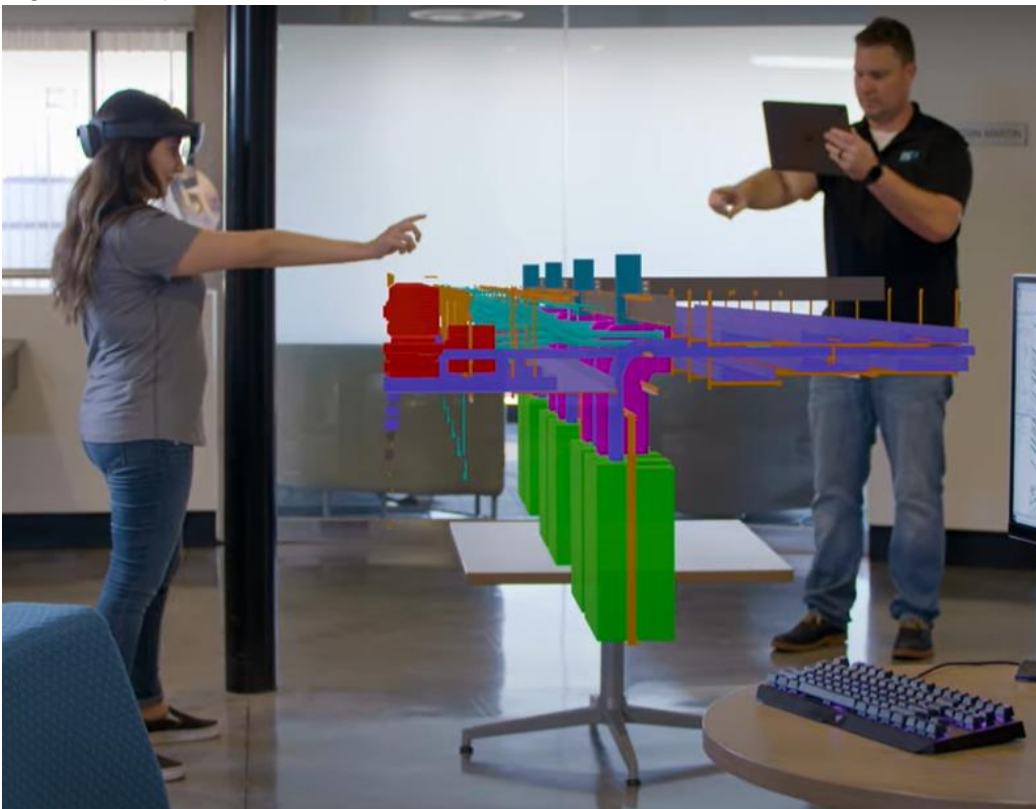
- **Comprensión humana**
  - Seguimiento de la mano: Modelo totalmente articulado de dos manos, manipulación directa
  - Seguimiento de los ojos: Seguimiento en tiempo real
  - Voz: Comandos y controles en el dispositivo; lenguaje natural con conexión a Internet
  - Windows Hello: Seguridad de nivel empresarial con reconocimiento de iris
- **Comprensión del entorno**
  - Seguimiento 6DoF: Seguimiento posicional a escala mundial
  - Cartografía espacial: Malla de entorno en tiempo real
  - Captura de realidad mixta: Fotos y vídeos de hologramas y entornos físicos mixtos
- **Cálculo y conectividad**
  - SoC; Plataforma de proceso Qualcomm Snapdragon 850
  - HPU: Unidad de procesamiento holográfico personalizada de segunda generación
  - Memoria: DRAM LPDDR4x DE 4 GB
  - Almacenamiento: UFS 2.1 de 64 GB
  - Wi-Fi: Wi-Fi 5 (802.11ac 2x2)
  - Bluetooth: 5
  - USB: USB tipo C
- **Ajuste**
  - Tamaño único: Sí, y se adapta a los lentes
  - Peso: 566 g
- **Software**
  - Sistema operativo holográfico de Windows
  - Dynamics 365 Remote Assist
- **Potencia**
  - Duración de la batería: 2-3 horas de uso activo
  - Carga: USB-PD para una carga rápida
  - Refrigeración: Pasiva (sin ventiladores)

Figura 29. HoloLens



Fuente: Microsoft (s.f. a)

Figura 30. Aplicación de HoloLens



Fuente: Microsoft (s.f. a)

Figura 31. Aplicación de HoloLens



Fuente: Microsoft (s.f. a)

### 3.4.2. Pantallas montadas en la cabeza: Trimble XR10 Hololens 2

Corresponde al mismo fabricante de los HoloLens, solo que está adaptado a condiciones de obra. Por ejemplo, se encuentra ergonómicamente adherido a un casco, de tal manera que cumple los requisitos de seguridad exigidos en más de 40 países en el mundo. También, tienen una salida de audio con cancelación de ruido (ver figura 32).

Figura 32. Trimble XR10 Hololens 2



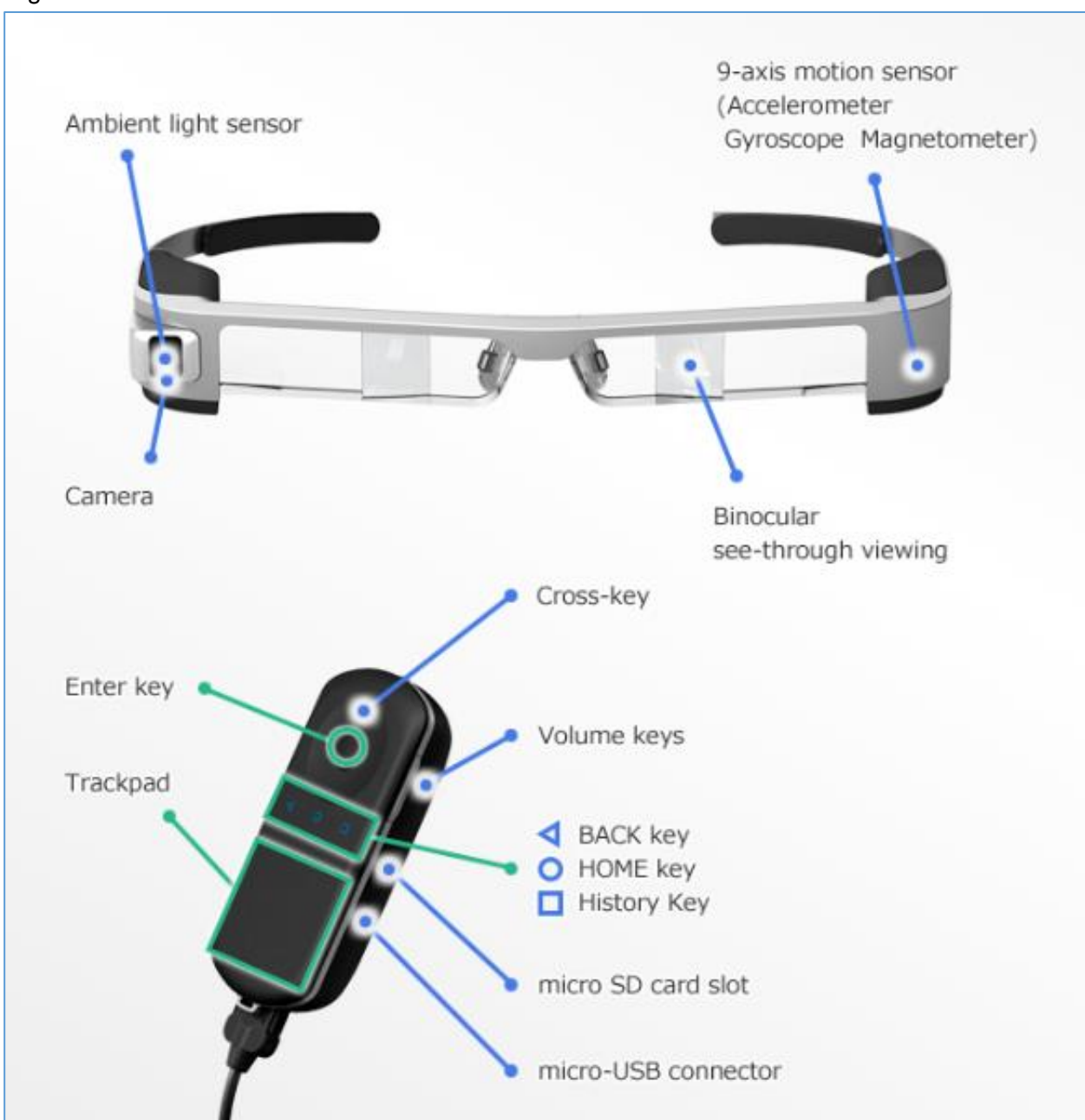
Fuente: Microsoft (s.f. b)

### 3.4.3. Otras pantallas montadas en la cabeza

Existe una gran variedad de otras pantallas montadas que también se ofrecen en el mercado, aunque se han descrito las que están más enfocadas a las aplicaciones observadas en bibliografías. Aunque estas no dan demasiados detalles sobre aplicaciones específicas con modelos BIM.

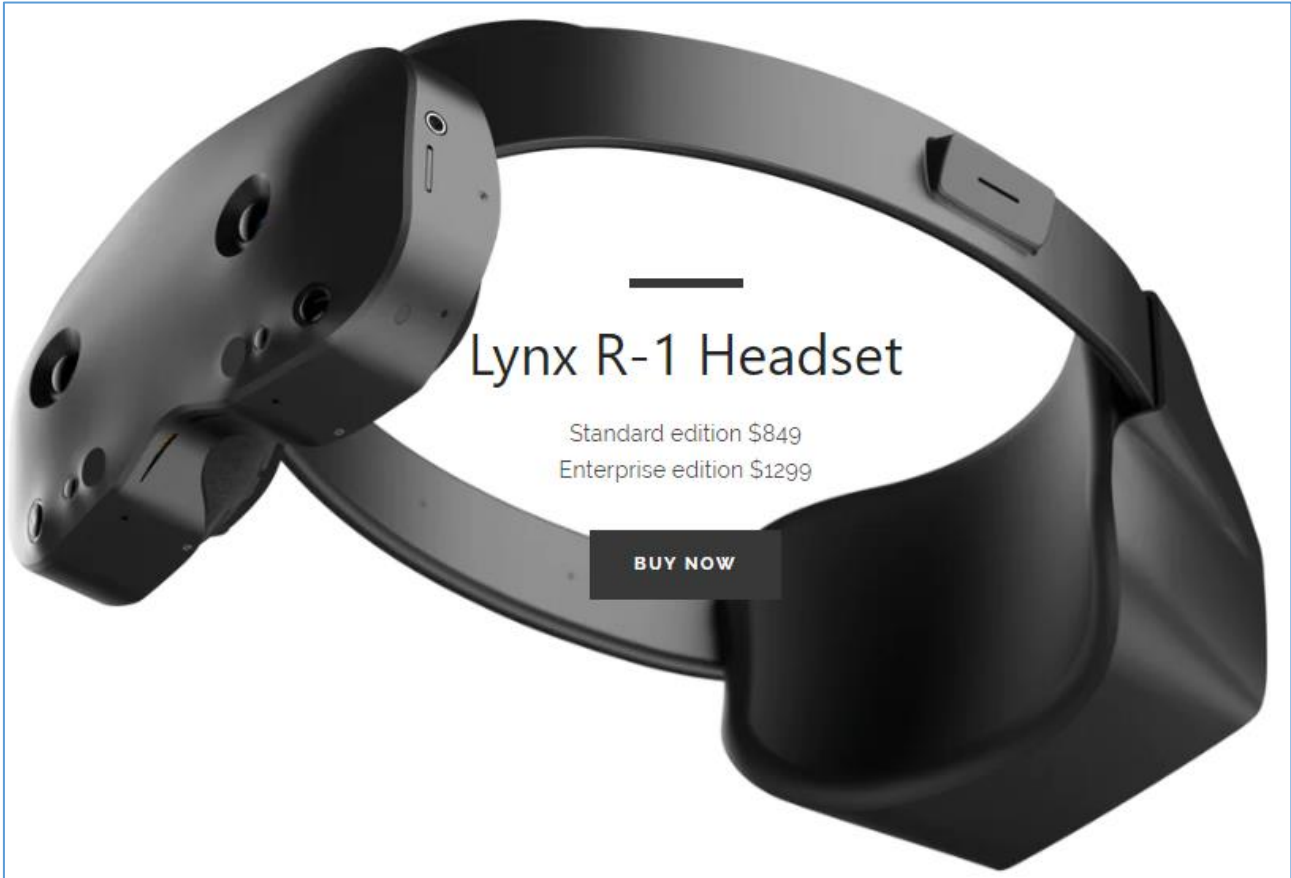
- Moverio BT-300 (ver figura 33)
- Lynx R-1 (ver figura 34)
- Magic Leap (ver figura 35)
- DAQRI Smart Helmet (ver figura 36)
- RealWear Navigator® 520 (ver figura 37)

Figura 33. Moverio BT-300



Fuente: <https://neoverio.com/producto/moverio-bt-300/>

Figura 34. Lynx R-1



Fuente: <https://www.lynx-r.com/>

Figura 35. Magic Leap



Fuente: <https://www.magicleap.com/magic-leap-2>

Figura 36. DAQRI Smart Helmet



Fuente: <https://www.tworeality.com/gafas-virtuales/daqri-smart-helmet/>

Figura 37. RealWear Navigator® 520



Fuente: <https://www.realwear.com/hyperdisplay/>

#### 3.4.4. Celulares y tablets

Se utilizan ampliamente para la visualización de realidad aumentada, pero carecen de capacidades de seguimiento precisas y no son capaces de realizar operaciones computacionalmente costosas en comparación con las pantallas avanzadas montadas en la cabeza (como las que tienen sensores de comprensión ambiental que están especialmente desarrollados para una experiencia de realidad aumentada inmersiva). Las bibliografías mencionan que deban ser iOS o Android.

Es importante que estos dispositivos sean compatibles con las apps ARCore de Google o ARKit de Apple. En ese sentido, al menos deben tener Android 8 o iOS 11, con procesador A9 o posterior.

Por ejemplo, algunos de los dispositivos compatibles con ARCore son los Huawei P20, P20 Pro, P30, P30 Pro, Samsung Galaxy A3, A5, A6, A7, A8, A8+, A13, A14, A20, A22, A23, A33 5G, A53 5G, F23, M23, M33, entre otros. La lista completa se encuentra en:

<https://developers.google.com/ar/devices?hl=es-419>

También, se pueden usar las iPad Air (4ta, 5ta, 6ta generación), iPad Pro 11 pulgadas de 2da y 3ra generación, iPad Pro de 12.9 pulgadas de 4ta y 5ta generación, o iPad 8va o 9na generación.

## CAPÍTULO IV: VENTAJAS Y VIABILIDAD

En el presente capítulo se realiza la descripción de ventajas que generaría la aplicación de la realidad aumentada en proyectos de construcción en el país, evaluando la viabilidad de su uso y costos para su aplicación.

### 4.1 Ventaja 1 - Mejora en los procesos constructivos

En el sector construcción se requieren procesos constructivos más rápidos, seguros y eficientes. Los métodos tradicionales suelen ser lentos y costosos, así que la realidad aumentada aportaría mucho valor en este aspecto (Alkan & Basaga, 2023). Los procesos constructivos convencionales dependen de dibujos bidimensionales (planos) y personal calificado para traducir la documentación del proyecto en un procedimiento. Sin embargo, existe la posibilidad de malinterpretar la información, especialmente en los planos que presentan geometrías complejas y difíciles de proyectar mentalmente. En ese sentido, al utilizar la realidad aumentada es posible ofrecer instrucciones en el lugar de obra sin necesitar documentos bidimensionales (Kyaw et al., 2023).

En ese sentido, al proyectarse los requerimientos del proyecto en el lugar de la obra, se incrementa la precisión de los trabajos, minimizándose los errores e incrementando la productividad de la mano de obra. A continuación, se recapitulan las ventajas que han explicado algunas bibliografías.

#### 4.1.1 Construcción con albañilería

En Fazel & Izadi (2018), luego de los trabajos en albañilería con una geometría compleja, se logró una precisión de menos de 6mm en la posición de las unidades, y de menos de 2° en cuanto a su orientación, lo cual reflejaría la viabilidad de utilizar la realidad aumentada (ver Figura 38).

Figura 38. Alta precisión en trabajos de albañilería

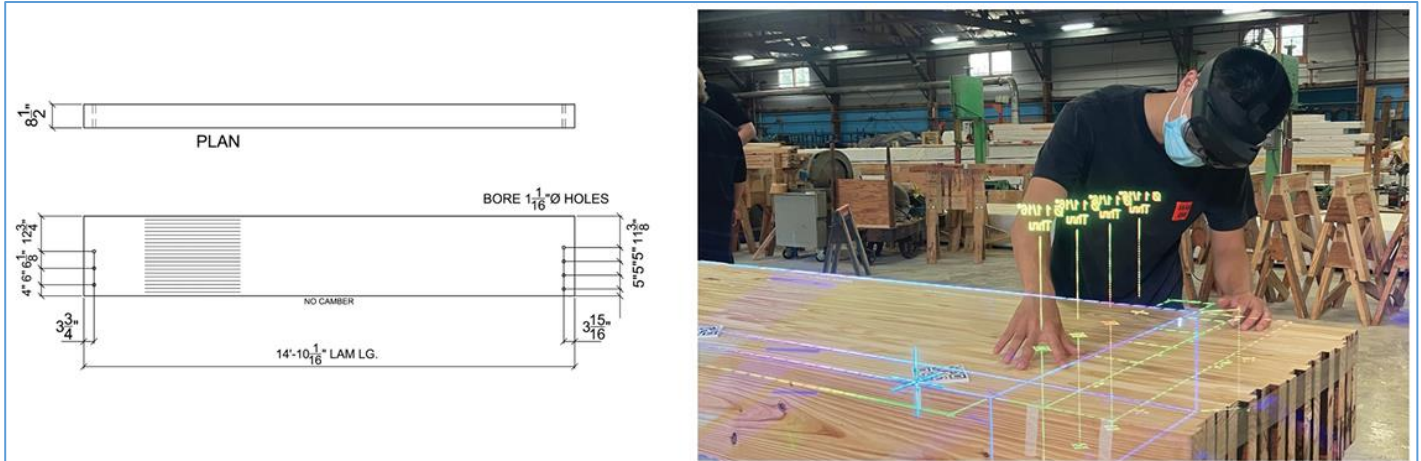


Fuente: Fazel & Izadi (2018)

#### 4.1.2 Construcción con madera

En Kyaw et al. (2023), se muestra que se puede lograr una precisión de 0.97mm en la proyección del modelo para la fabricación de vigas de madera, lo cual se encuentra dentro de la tolerancia, siendo viable la aplicación de la realidad aumentada (ver figura 39).

Figura 39. Alta precisión en fabricación de vigas de madera



Fuente: Kyaw et al. (2023)

#### 4.1.3 Construcción con refuerzo de acero

En Wu et al. (2023) se identifica en promedio un 40% de reducción en el tiempo para la ejecución del armado de acero en concreto armado, lo cual implica la búsqueda de información y el tiempo para realizar consultas del trabajo (ver figura 40).

Figura 40. Menor tiempo en ejecutar armaduras de acero



Fuente: Wu et al. (2023)

#### 4.1.4 Ubicación de instalaciones subterráneas

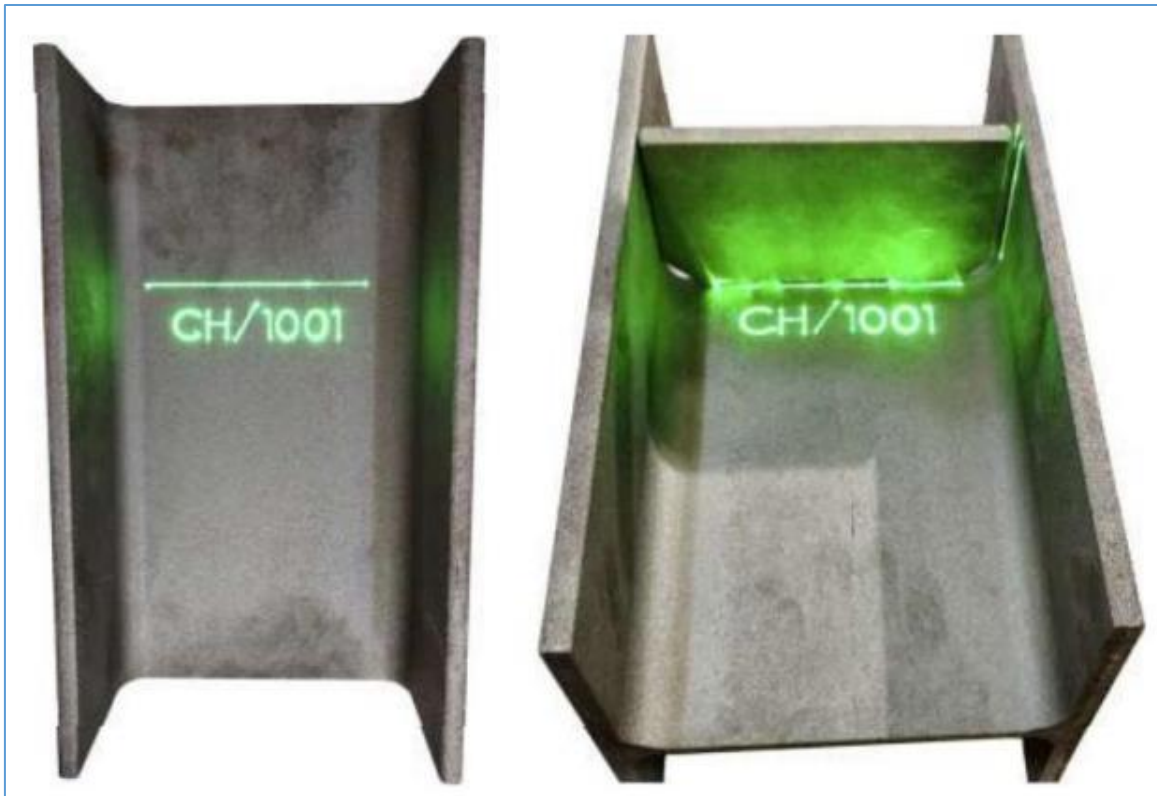
En Wu et al. (2023) mencionan que, cuando se necesitan ubicar instalaciones subterráneas de servicios públicos, las técnicas tradicionales (como el uso de radares y rastreadores de cables) no tienen la suficiente precisión porque se ven afectadas por las condiciones del suelo (como en suelos arcillosos y rocosos que limitan la reflexión de los pulsos de microondas), además que ameritan de



#### 4.1.6 Procesos de soldadura

Según Tavares et al. (2019), gracias a la tecnología de realidad aumentada, permitía mostrar las marcas donde debía realizarse la soldadura en perfiles metálicos, mejorando así el flujo de información del proyecto (mostrando las especificaciones, eliminando la necesidad de verificar constantemente el cumplimiento del diseño) y aumentando la productividad de los operadores, minimizando la posibilidad de errores de fabricación (ver figura 43).

Figura 43. Realidad aumentada para soldadura mostrando especificaciones.



Fuente: Tavares et al. (2019)

#### 4.2 Ventaja 2 – Mejora en los procesos de inspección

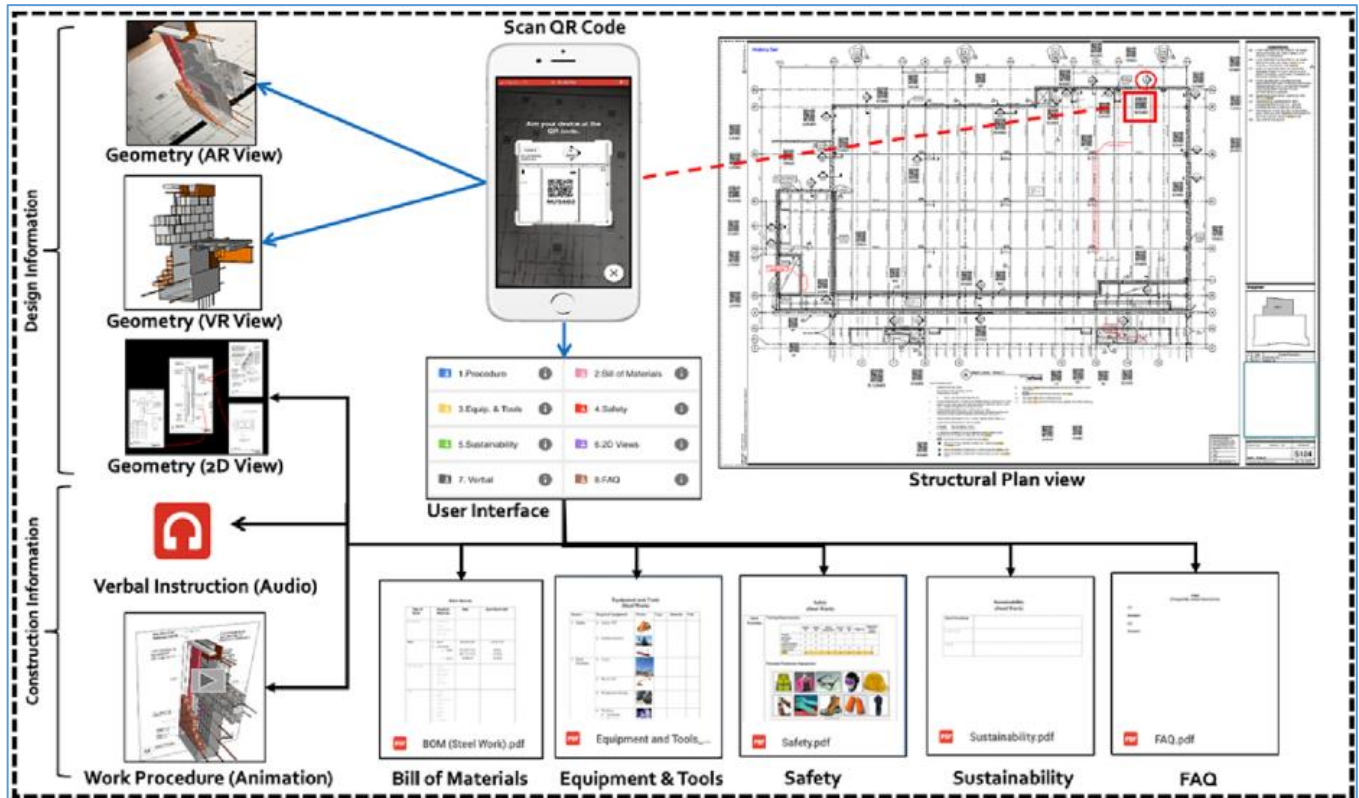
Los métodos tradicionales para revisar esta información están basados en planos y especificaciones en papel, con instrucciones muchas veces solo verbales, causando normalmente mucha carga mental, errores y dificultades de acceder a la información.

Adicionalmente a ser un apoyo en los procesos constructivos, con énfasis en los trabajadores de construcción, también existen ventajas de aplicar la realidad aumentada respecto a los procesos de inspección en obra. Un beneficio importante es que permite revisar el cumplimiento de los planos en su totalidad (escala 1 en 1), y así identificar errores que normalmente tomarían mucho identificar. A continuación, se presentan algunos ejemplos de procesos de inspección.

#### 4.2.1 Visualización de información del proyecto

En Sabzevar et al. (2023), muestran como la inclusión de códigos QR en los elementos constructivos de un proyecto es una manera de centralizar toda la información importante, como los procedimientos de trabajo, planos y detalles, materiales, herramientas y equipos necesarios, así como criterios de seguridad y sostenibilidad (ver figura 44). Esto genera un ahorro de tiempo sustancial y minimiza la posible omisión de requerimientos de un proyecto.

Figura 44. Procedimiento de acceso a información con escaneo de código QR

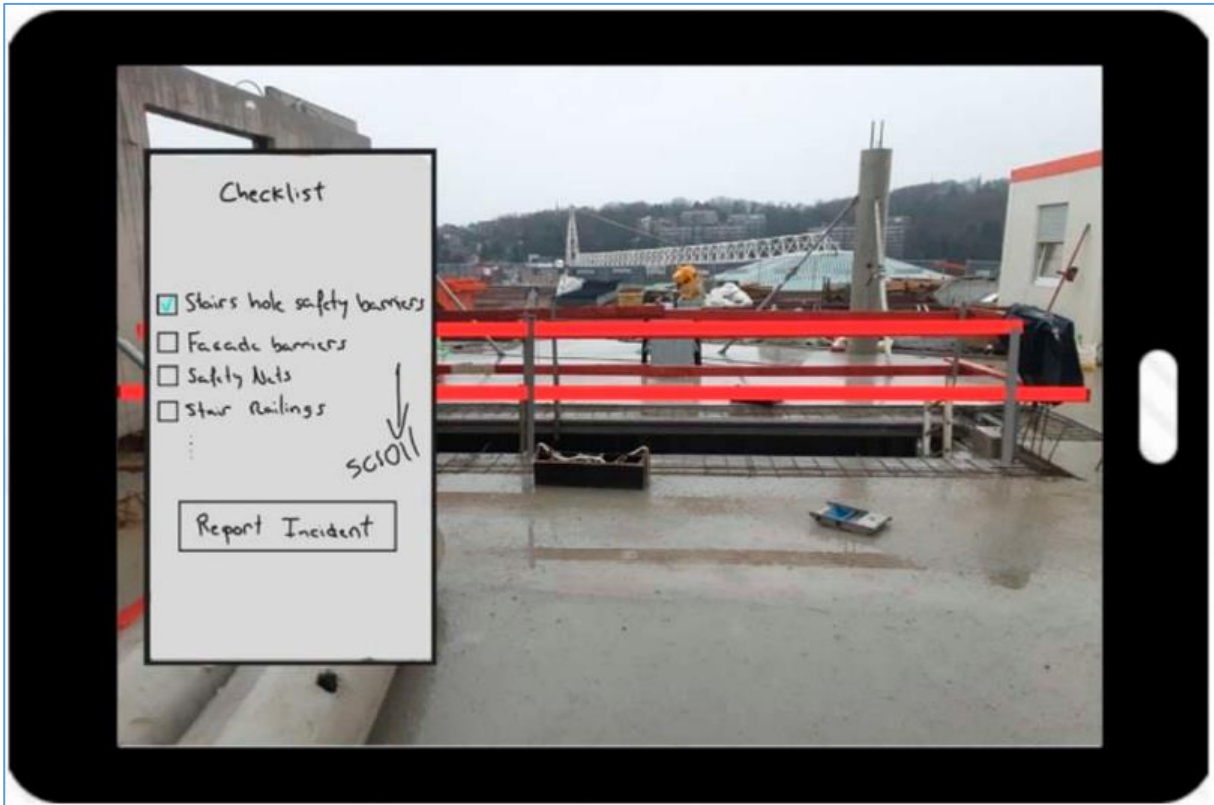


Fuente: Sabzevar et al. (2023)

#### 4.2.2 Inspección de la seguridad en obra

En Ramos-Hurtado et al. (2022) se comenta que las inspecciones tradicionales de seguridad presentan puntos débiles por la complejidad de las inspecciones visuales, el depender del conocimiento en materia de seguridad, así como las posibles malas prácticas de los trabajadores y la coordinación para implementar medidas correctivas. Todo ello se podría resolver de forma sencilla empleando la tecnología de realidad aumentada, incluso se puede facilitar la presentación de informes (ver figura 45). Se podrían reportar incidencias en tiempo real, garantizar la presencia de los equipos de seguridad, digitalizar los procesos, recoger datos in situ (como fotografías).

Figura 45. Identificación de criterios de seguridad con realidad aumentada

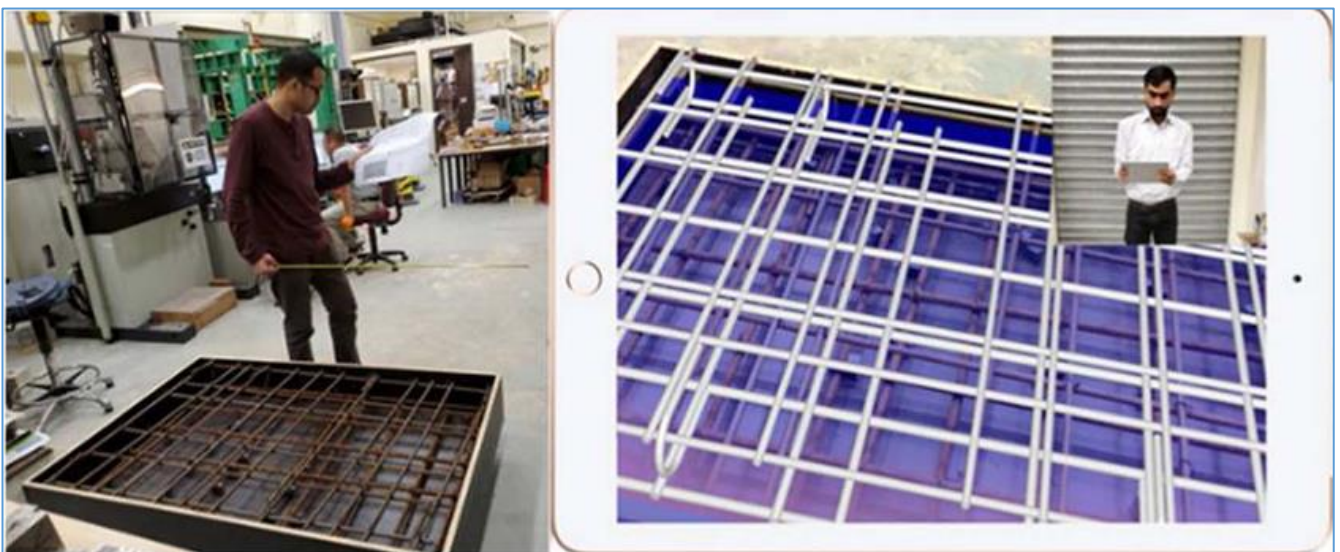


Fuente: Ramos-Hurtado et al. (2022)

#### 4.2.3 Inspección en el refuerzo de elementos de concreto armado

En Abbas et al. (2020), se utilizó la realidad aumentada para inspeccionar la calidad del refuerzo en elementos de concreto armado. Su investigación demostró que se redujo en un 50% el tiempo que toma el proceso de inspección al utilizar esta tecnología, aunque todavía se debe investigar más la precisión con las que el usuario detecta posibles errores (ver figura 46).

Figura 46. Inspección tradicional versus inspección con realidad aumentada.

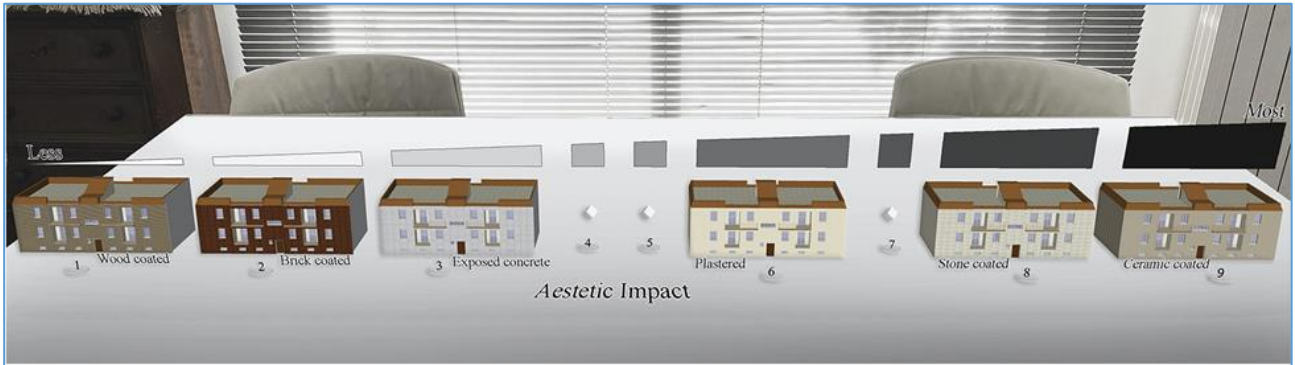


Fuente: Abbas et al. (2020)

### 4.3 Ventaja 3 – Mejora en el entendimiento del proyecto para toma de decisiones

En Sangiorgio et al. (2021) explican las ventajas de utilizar la realidad aumentada al tomar decisiones porque ofrece información visual relevante. En el caso del diseño arquitectónico, por ejemplo, se mejora la decisión al considerar criterios de estética, sensación térmica, análisis de la complejidad de los procesos constructivos, entre otros (ver figura 47 y 48).

Figura 47. Comparación de la estética de acabados



Fuente: Sangiorgio et al. (2021)

Figura 48. Evaluación de la complejidad de realizar acabados diversos



Fuente: Sangiorgio et al. (2021)

### 4.4 Ventaja 4 - Mejora en los procesos de enseñanza

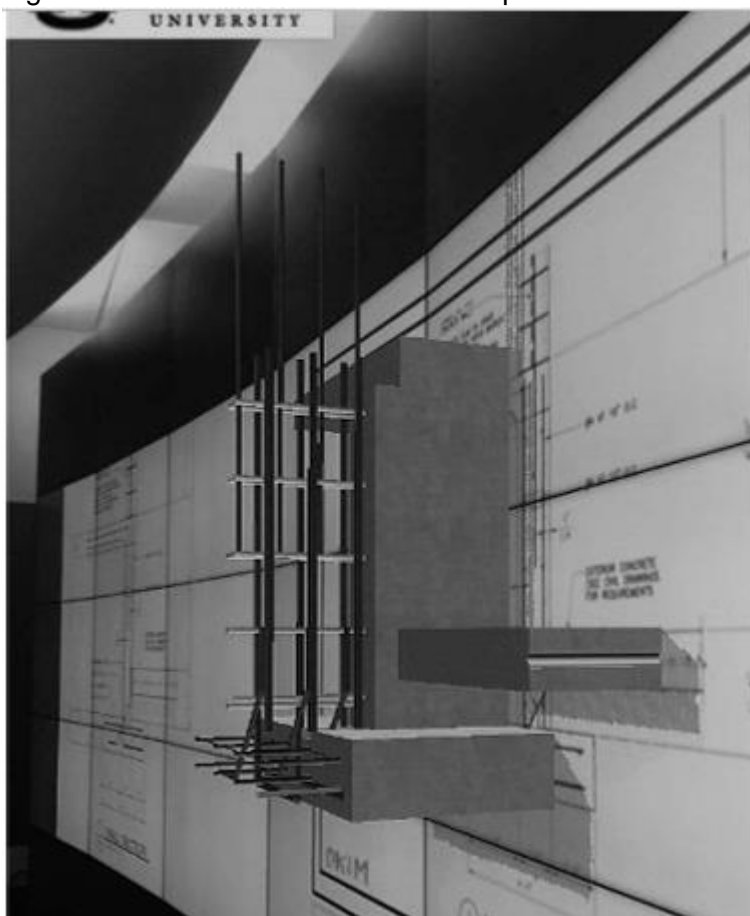
Hartless et al. (2020) señala que, en general, existen 2 tipos de conocimiento que deberían adquirir los alumnos durante su proceso de aprendizaje en referencia al sector construcción. Por un lado, el conocimiento explícito, que consiste en la adquirir información codificada y verbalizada (como en

libros o clases magistrales). Por otro lado, está el conocimiento tácito, que consiste en aquello que solo se obtiene a través de la experiencia, por ejemplo, el saber cómo desarrollar una tarea. Los procesos clásicos de enseñanza se centran solamente en el conocimiento explícito, a pesar de que ambos son los realmente necesarios al momento de tomar una decisión importante.

De esta manera, la realidad aumentada se presenta como una oportunidad de introducir el conocimiento tácito en los procesos de aprendizaje para proyectos de construcción de edificios.

Por ejemplo, en Kim & Irizarry (2020), mencionan la posibilidad de implementar estos modelos en los cursos involucrados con lectura de planos, de tal manera que se facilite el entendimiento espacial de lo que se está observando en 2D (ver figura 49).

Figura 49. Realidad aumentada en un plano de construcción



Fuente: Kim & Irizarry (2020)

## 4.5 Análisis de viabilidad y costos

### 4.5.1. Autodesk Revit®

Como se mencionó, dada la gran adaptación de este software al rubro de la construcción, resulta el más recomendado. En el entorno peruano, existen una serie de empresas que ofrecen cursos al respecto, incluso las universidades ya contemplan incluirlo dentro del plan de estudios. Las empresas constructoras actualmente ven el uso de este programa como un requisito para la contratación de personal.

En cuestión de la licencia, existe una versión educativa gratuita, la que tiene una duración de 1 año y resulta factible para casos que no tengan fines de lucro (como la enseñanza o investigación). En ese sentido, según los criterios de elegibilidad, pueden acceder a este beneficio siempre que mantenga solo fines de aprendizaje, formación e investigación. Esta licencia educativa no puede emplearse para fines comerciales, profesionales ni lucrativos (Autodesk, s.f. c).

En caso de requerir la adquisición de la licencia (Autodesk, s.f. d), se puede hacer mediante los siguientes precios por cada usuario.

- Licencia por mes: \$ 320 (dólares americanos)
- Licencia por un año: \$ 2,545
- Licencia por tres años: \$ 7,635

Si bien los precios podrían parecer altos, en el entorno de una organización no todos usarán el programa, solamente el equipo encargado del modelamiento (entre 1 a 4 personas como máximo). En ese sentido, resulta un precio correcto para los fines de formalizar la licencia usada.

Siempre que se tengan fines de lucro, el precio del software empleado debe estar incluido en el balance de utilidades de la organización, considerando que la licencia educativa no podría ser utilizada.

Con respecto a la capacitación en este programa, los precios en promedio (incluyendo certificación), oscilan en S/. 200.0 en lo que respecta al modelamiento de elementos estructurales y tienen una duración común de 1 mes. Si desea también aprenderse los módulos de arquitectura e instalaciones, serían un total de 3 meses con un precio total de capacitación promedio de S/. 600.0.

#### 4.5.2. Autodesk AutoCAD®

Normalmente, se podría hacer el trazo de elementos de construcción directamente con el software Revit®. Sin embargo, considerando que actualmente todavía se mantiene las herramientas tradicionales de dibujo en 2D, normalmente el flujo de trabajo suele ser representar el proyecto en AutoCAD®, y luego exportarlo a Revit® para hacer el modelamiento 3D.

En este caso, los precios del AutoCAD® son los siguientes (Autodesk, s.f. d).

- Licencia por mes: \$ 220 (dólares americanos)
- Licencia por un año: \$ 1,775
- Licencia por tres años: \$ 5,325

En cuanto a la capacitación, si bien este es un programa dominado por cualquier ingeniero civil, podría considerarse un precio de S/. 200.0 por un mes de capacitación y certificación.

### 4.5.3. Unity Pro

Con respecto a este motor de juego, específicamente la aplicación Unity Pro, el precio de la licencia por año es de \$ 2,040 por cada usuario o dividirlo en pagos mensuales de \$185 (ver figura 50). Esta licencia incluye la funcionalidad de Unity MARS para trabajar aplicaciones de realidad aumentada, la funcionalidad de la nube y también acceso a tutoriales.

Figura 50. Opciones de pago Unity Pro

The screenshot displays the Unity Pro pricing interface. It features a 'Seats' section with a row of buttons for 1, 2, 3, 4, and 5 seats, plus a '+' button, with a price of '\$2,040 per seat' indicated. Below this is a 'Payment plan' section with two options: 'Annual plan, prepaid yearly' at '\$2,040 per seat' and 'Annual plan, paid monthly' at '\$185 per seat'. A 'Continue to purchase' button is visible. On the right side, there is an 'Order summary' table and a 'What's included' list.

Order summary	
Unity Pro	
1 seat	\$2,040
VAT / Sales Tax	\$0
<b>Estimated Total</b>	<b>\$2,040 per year</b>

**Commitment**  
The total commitment price is \$2,040 excl. VAT / Sales Tax.  
Your purchase may require payment of the Unity Runtime Fee. Please see [unity.com/runtime-fee](https://unity.com/runtime-fee) for more information.

**What's included:**

- ✓ Publish to game consoles
- ✓ Guidance from Partner Advisor
- ✓ Priority Customer Service
- ✓ Havok Physics for Unity (available for Unity 2022.2)
- ✓ Unity Cloud
- ✓ Unity Asset Manager
- ✓ Team Administration
- ✓ Unity DevOps
- ✓ And more

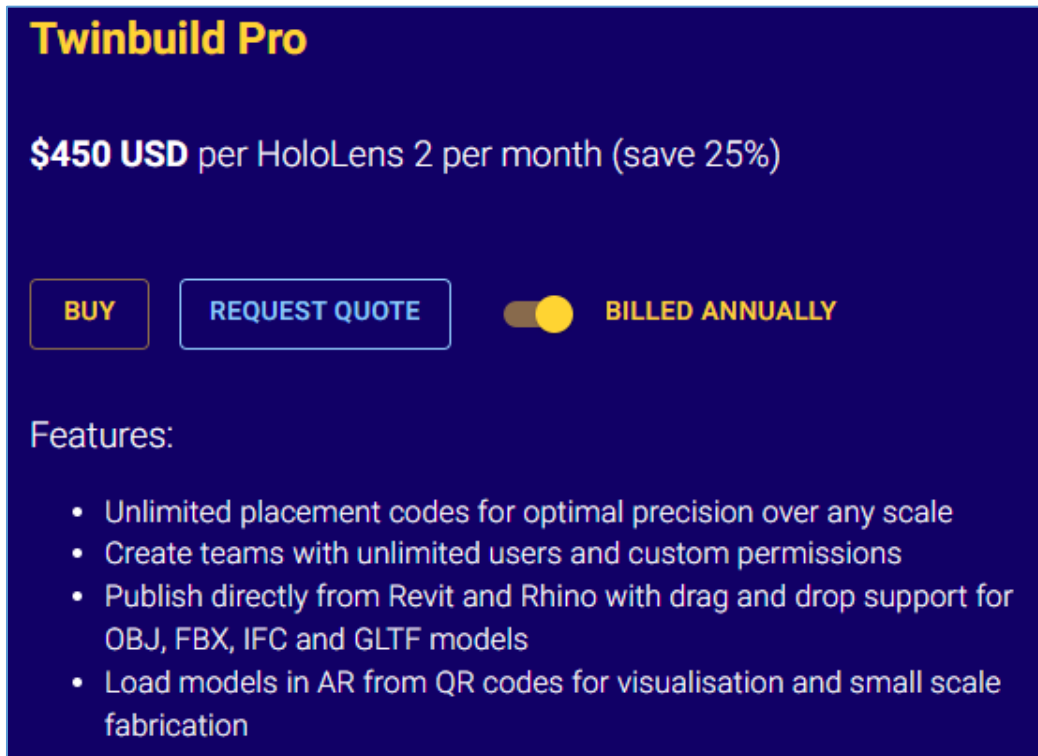
Fuente: Unity (s.f. b)

### 4.5.4. Twinbuild Pro

Se puede solicitar una versión de prueba del programa mediante una solicitud en la página web (Twinbuild, s.f.). Por otro lado, la versión de pago ofrecida es Twinbuild Pro, con un precio de \$450 al mes, por cada HoloLens que se incorpore y si este se adquiere por 1 año (ver figura 51), siendo \$ 5,400.0 anuales. Sin embargo, si solamente se adquiere por un mes, el precio sería de \$599 mensual. Cabe señalar que existen descuentos para instituciones educativas y organizaciones sin fines de lucro.

Esta versión permite generar de forma ilimitada los códigos de ubicación, crear equipos con usuarios, publicar directamente desde Revit y cargar los modelos desde códigos QR.

Figura 51. Opciones de pago Twinbuild



**Twinbuild Pro**

**\$450 USD** per HoloLens 2 per month (save 25%)

**BUY**   **REQUEST QUOTE**    **BILLED ANNUALLY**

Features:

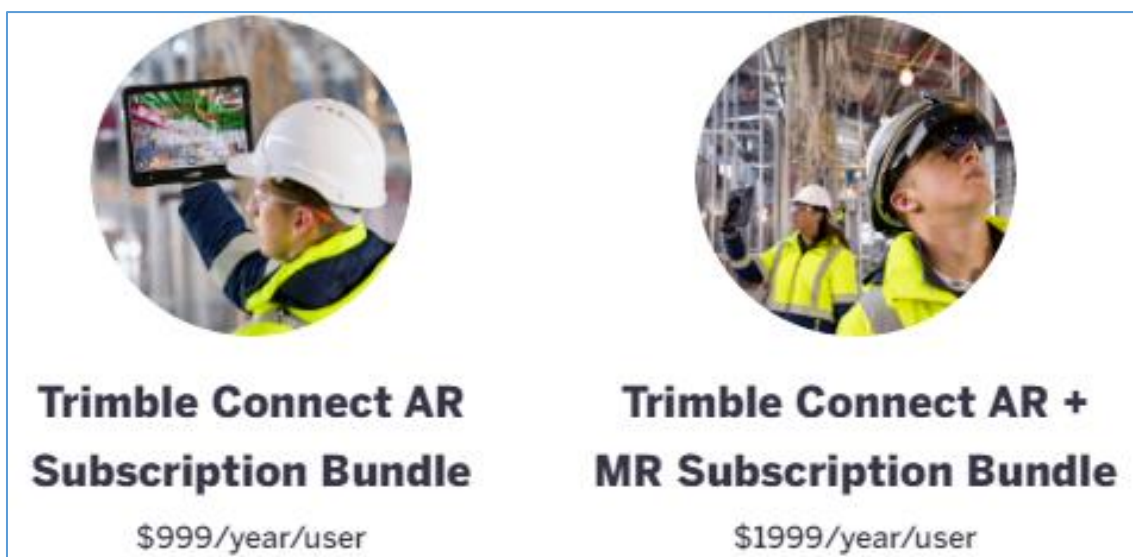
- Unlimited placement codes for optimal precision over any scale
- Create teams with unlimited users and custom permissions
- Publish directly from Revit and Rhino with drag and drop support for OBJ, FBX, IFC and GLTF models
- Load models in AR from QR codes for visualisation and small scale fabrication

Fuente: Twinbuild (s.f.)

#### 4.5.5. Trimble Connect AR

En cuanto a las licencias, hay 2 opciones (ver figura 52). La primera opción Trimble Connect AR Subscription Bundle, la cual permite la generación de modelos de realidad aumentada visibles en celulares o tablets, siendo su precio por año y usuario de \$999. La segunda es el paquete Trimble Connect AR+MR Subscription Bundle, la cual permite la configuración con los HoloLens2 y los Trimble XR10 con HoloLens 2, siendo su precio por año y usuario de \$1,999.

Figura 52. Precios de Trimble Connect AR



Subscription Bundle	Price
<b>Trimble Connect AR Subscription Bundle</b>	\$999/year/user
<b>Trimble Connect AR + MR Subscription Bundle</b>	\$1999/year/user

Fuente: Trimble (s.f.)

#### 4.5.6. HoloLens 2

El precio es de \$ 3,500.0 por cada unidad (ver figura 53). Incluye 1 año de garantía, estuche protector, correa para la cabeza, cargador y cable USB-C.

Figura 53. Precio del HoloLens 2

**HoloLens 2**

An ergonomic, untethered self-contained holographic device with enterprise-ready applications to increase user accuracy and output.

**\$3,500**

**What's Included**

- HoloLens 2 device
- Protective carrying case
- Overhead strap
- USB-C charger and cable
- One-year warranty

Fuente: Microsoft (s.f. b)

#### 4.5.7. Trimble XR10 con HoloLens 2

El precio del dispositivo es de \$5,199 por cada unidad (ver figura 54). Incluye lo mismo del HoloLens, con 1 año de garantía, el casco integrado y audio cancelador de ruido.

Figura 54. Precio del Trimble XR10 con HoloLens 2

**Trimble XR10 with HoloLens 2**

A hardhat-integrated HoloLens 2 that is purpose-built for personnel in dirty, loud, and safety-controlled work site environments.

**\$5,199**

Fuente: Microsoft (s.f. b)

## 4.5.8. Celulares y tablets compatibles

Según los modelos mencionados de ser compatibles, en el caso de los celulares los precios aproximados bordean los S/. 1,500.0 a S/. 4,000.0. En el caso de las tablets, pueden ser entre los S/. 2,500.0 a S/. 5,500.0.

## 4.5.9. Resumen de costos

Con respecto a lo mencionado, se realiza el resumen de costos. Se mantiene la moneda que reflejan los proveedores de los programas en caso se muestren en dólares americanos (\$) (ver tabla 5). Asimismo, no se suman los costos ya que el precio total dependerá de lo que realmente se requiera. Por ejemplo, las capacitaciones, elegir entre Unity o Twinbuild, o los dispositivos de visualización que deseen emplearse.

Tabla 5. Resumen de costos

Descripción			Precio
Generación de modelos	Software Revit®	Licencia por 1 año	\$ 2,545.0
		Capacitación en modelado de estructuras, arquitectura e instalaciones	S/. 600.0
	Software AutoCAD®	Licencia por 1 año	\$ 1,775.0
		Capacitación en modelado de estructuras, arquitectura e instalaciones	S/. 200.0
Transformación a realidad aumentada	Unity Pro	Licencia por 1 año	\$ 2,040.0
	Twinbuild	Licencia por 1 año	\$ 5,400.0
	Trimble Connect AR	Solo celulares y tablets Licencia por 1 año	\$ 999.0
	Trimble Connect AR + MR	Permite el uso de los HoloLens y los Trimble XR10 Licencia por 1 año	\$ 1,999.0
Visibilidad en realidad aumentada	HoloLens 2	Unidad	\$ 3,500.0
	Trimble XR10 con HoloLens 2	Unidad	\$ 5,199.0
	Celular compatible	Precio medio por unidad	S/. 1,500.0 a S/. 4,000.0
	Tablet compatible	Precio medio por unidad	S/. 2,500.0 a S/. 5,500.0

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que los precios son los reportados por las páginas de los proveedores y podrían existir algunos precios adicionales por envíos desde el extranjero.

#### 4.5.10. Comentarios sobre viabilidad

Luego de presentar los precios de los productos asociados a la implementación de la realidad aumentada en la construcción, se puede observar una diversidad de soluciones que pueden implementarse. Entonces, se plantean algunos escenarios considerando solo los precios de equipos y herramientas:

- Considerando una licencia de Revit, con la aplicación Trimble Connect AR+MR por un año, y el uso de una Tablet compatible con precio medio, el precio total sería aproximadamente S/. 21,500.0. Esto podría ser lo ideal para un primer acercamiento con esta tecnología y con pruebas en entornos de laboratorio, evaluar qué tan compatible es con el sector construcción peruano y ver qué adaptaciones se pueden plantear. No se requerirían conocimientos tan especializados y se considera que se puede generar aprendizaje con información en la web.
- Luego, al tener más experiencia con la tecnología, podrían hacerse un primer acercamiento a más configuraciones por medio de los HoloLens 2, con lo que la inversión acumulada sería de S/. 35,000.0 aproximadamente. Se podría validar mejores funcionalidades al permitir que el usuario tenga las manos libres (en comparación con la tablet usada) e interactúe con más acercamiento con los modelos de realidad aumentada.

Se considera que los precios asociados están en un margen aceptable en referencia lo que podría emplearse en un proyecto de investigación futuro. Asimismo, hay que considerar el precio de los materiales que se utilizarían para las pruebas de laboratorio, así como el costo de la mano de obra. En ese sentido, sería viable evaluar esta implementación en el sector construcción.

En referencia a la inversión de una empresa, también se encontraría en los precios razonables considerando el margen de utilidad que poseen las constructoras, así como las mejoras que lograrían tener.

## CAPÍTULO V: CRITERIOS PARA APLICACIÓN

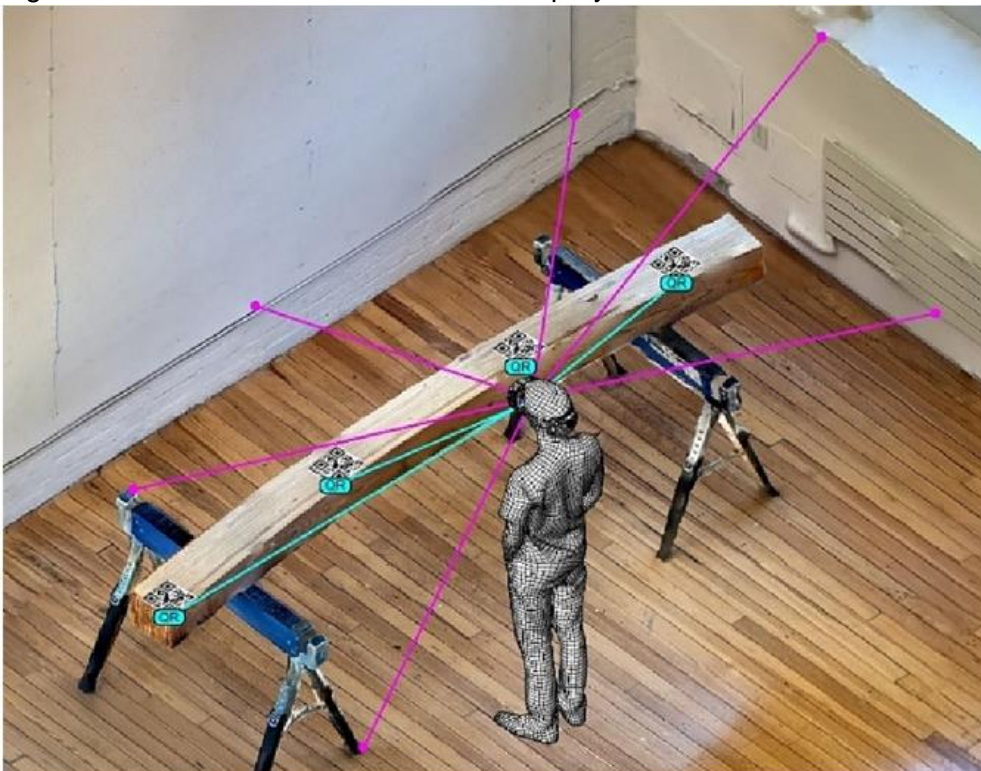
Luego de la revisión bibliográfica, se recopilan algunos criterios de éxito que deben ser tomados en cuenta para la aplicación de la realidad aumentada en las diferentes etapas de los proyectos de construcción (Muthalif et al., 2022; El Kassis et al., 2023; Kyaw et al., 2023). Especialmente, se presenta el enfoque de lo que las futuras investigaciones deberán tener en cuenta, con el fin de impulsar el desarrollo de esta tecnología en el entorno local.

Finalmente, se incluye ejemplos de aplicación a nivel nacional.

### 5.1 Proyección precisa de modelos

La metodología de realidad aumentada basada en marcadores es la que genera una mejor precisión en la proyección del modelo virtual con los objetos reales. Esta alineación de la proyección se logra utilizando marcadores como códigos QR, como puntos de referencia geolocalizados (ver figura 55). Los dispositivos para la visualización pueden detectar la posición de estos en el entorno físico, ya que poseen incorporados una cámara de luz visible y en escala de grises, así como un acelerómetro y giroscopio, alineando así el modelo virtual con la posición del marcador. El error que exista dependerá de la posición y el tamaño de estos marcadores, así como la distancia entre el dispositivo y el objeto, su resolución y calibración. Aproximadamente, en un radio de hasta 25 cm entre el dispositivo y el objeto, se puede lograr una precisión de la proyección de hasta 3mm. Entonces, para un contexto nacional, resulta clave evaluar la correcta posición y espaciamiento entre marcadores para perfeccionar los niveles de precisión en el alineamiento del modelo proyectado.

Figura 55. Influencia de marcadores en la proyección de modelos virtuales



Fuente: Kyaw et al. (2023)

## 5.2 Posicionamiento y localización

Las aplicaciones de realidad aumentada se pueden dividir en dos categorías principales en términos de los métodos de localización utilizados para superponer contenidos virtuales con los entornos reales: Basada en marcadores y sin marcadores.

La basada en marcadores utiliza una o más imágenes impresas (mayormente códigos QR) para anclar al modelo en el entorno real, de tal manera que sea posible una superposición precisa. El detalle es que limitamos al usuario solamente a zonas donde estén disponibles estos marcadores. Al no estar basado en marcadores, se emplean sensores para obtener la posición en tiempo real del dispositivo de visualización para una ubicación precisa del modelo virtual. Mayormente, se utiliza el método basado en geolocalización GNSS (sistema global de navegación por satélite). Dependiendo de la aplicación que se quiera, se utilizarán sensores cada vez más precisos, desde aquellos que ya están incorporados en los celulares y tablets (que tienen precisión de algunos metros), hasta las de grado topográfico con precisión al centímetro.

Cabe resaltar que se destaca que la precisión empleando marcadores sigue siendo mayor que al no usarlos. Para una aplicación nacional se deberán probar los niveles de precisión de la solución que se pretenda emplear.

## 5.3 Preparación previa

La implementación de la tecnología de realidad aumentada amerita un tiempo de preparación. Por un lado, es importante la previa configuración de los dispositivos que se utilizarán (ya sean los montados en la cabeza, los celulares o tablets).

Por otro lado, se necesitan desarrollar previamente los modelos 3D en una aplicación que sea compatible y que sea sencilla de trabajar. En las bibliografías presentadas, algunas desarrollaban su propia aplicación basándose en la teoría de procesamiento de imágenes, mientras que otras utilizaban software para facilitar este proceso.

En la aplicación al contexto nacional, se requiere mejorar las capacidades de quienes desarrollarán estos modelos, ya que se necesitará una generación continua de estos, buscando la aplicación ideal para facilitar su uso masivo. De preferencia, el profesional que realice esta aplicación deberá tener experiencia en el desarrollo de modelos 3D de proyectos de edificaciones.

Asimismo, se necesita la capacitación respectiva en la manipulación de los dispositivos de visualización (proceso de encendido, guardado, configuración, mantenimiento, entre otros).

## 5.4 Manipulación de interfaces

Este aspecto se refiere al caso de querer que los usuarios interactúen con el modelo de realidad aumentada o con la búsqueda de información. En este caso, algunas bibliografías mencionaban que los usuarios presentaban dificultades para manipular los modelos y que estos podrían ser más amigables.

Es importante tener en cuenta que, al no haber mucha investigación a nivel nacional respecto al tema, resulta necesario incrementar la cantidad de investigaciones afines al sector construcción previo a esperar una implementación exitosa, permitiendo evaluar esta barrera con el uso de los programas adecuados y las pruebas de laboratorio correspondientes. Se pueden hacer pruebas de validación de algunos prototipos, únicamente para medir el nivel de comprensión de la interface. Asimismo, al aplicarlo en un contexto de obra, resulta necesaria la capacitación previa de los usuarios, lo cual debería incorporarse en sus sistemas de gestión. Se deberán desarrollar sesiones de aprendizaje para quienes interactuarán con esta tecnología y medir el nivel de su aprendizaje.

### **5.5 Comodidad del usuario**

Al trabajar con dispositivos que irán en la cabeza del usuario, es importante tomar en cuenta su comodidad si será necesario un trabajo por un tiempo prolongado. Si bien existen dispositivos de bajo costo, al hablar de un contexto en obra debe tomarse en cuenta que adicionalmente se debe utilizar un casco (aspecto a tomar en cuenta también al hacer pruebas de laboratorio). En ese sentido, podrían resultar ideales aquellos que ya cuentan con la incorporación de un casco que cumple con los requisitos de seguridad y salud.

Entonces, en el contexto nacional, al desarrollar mayor investigación al respecto, se recomienda tener en cuenta el criterio de comodidad del usuario, reflejando las condiciones que tendrá en una obra (la inclusión del casco, el peso y su uso por un tiempo relativamente prolongado). Con algunas pruebas se podría definir cuánto tiempo continuo se recomendaría utilizar los dispositivos y qué aspectos ergonómicos deberían considerarse.

De la misma manera, es muy importante poner en contexto otros factores como los niveles de ruido, el calor que normalmente se afrontan en obra, así como posibles impactos de fatiga muscular y visual que podría generarse. Todo ello debería evaluarse con pruebas de laboratorio en tareas simuladas en un entorno real de obra.

### **5.6 Niveles de brillo**

En las bibliografías se expresa la preocupación por el impacto que genera el brillo del sol en la visibilidad de los trabajos, causando dificultades para ver los hologramas. Al trabajarse en un ambiente interior, se necesita de una iluminación media (no tan elevada), para la correcta visualización de los modelos, especialmente al tratarse de hologramas. Asimismo, con la correcta visibilidad existirá una transparencia tal que permita ver no solo el modelo virtual, sino también el objeto físico.

Asimismo, es de suma importancia no aislar al usuario de los peligros en la obra, ya que debe ser igualmente capaz de detectarlos mientras interactúe con la realidad aumentada.

Al realizar estudios en un contexto nacional, se pueden proponer soluciones a la interfaz de visualización con el uso, por ejemplo, de alguna película de tinte oscuro adherida en los visores

(lentes), para mitigar el impacto del brillo. Será necesario tomar este aspecto en cuenta, ya que los trabajos de construcción se realizan en horario diurno.

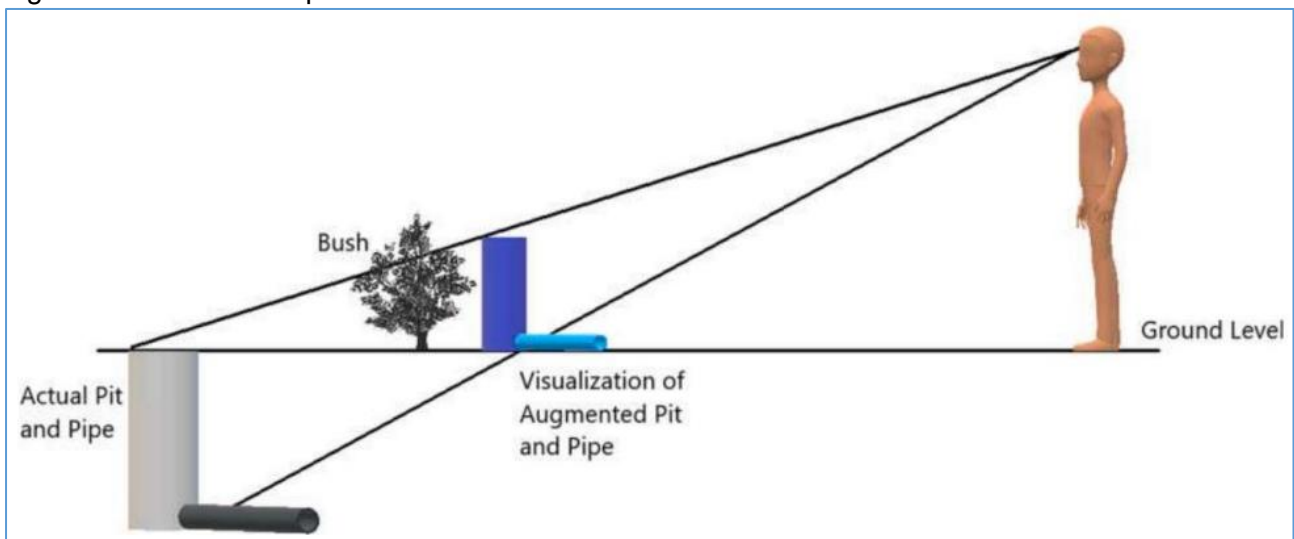
En el caso de emplear teléfonos o tabletas como dispositivo de visualización, se tendrá que añadir manualmente cierto grado de transparencia a los contenidos virtuales, para así poder observar el mundo real en segundo plano.

### 5.7 Percepción de la profundidad

Debido a que los dispositivos de visualización trabajan con una sola cámara, especialmente al usarse los adheridos a la cabeza, se genera un efecto de pérdida de percepción de la profundidad. Esto se debe a que, al ser la pantalla plana monocular, se elimina la disparidad en la visión independiente de cada ojo (lo cual es la clave para la percepción de profundidad). En ese sentido, se necesita que los dispositivos ofrezcan imágenes estereoscópicas para ambos ojos, que deban cambiar de acuerdo con el movimiento de la cabeza del usuario.

En el contexto de aplicación nacional, se recomienda realizar este tipo de pruebas de sensación de la profundidad. Esto es especialmente importante si se desea trabajar con objetos que se encuentren bajo tierra, porque el modelo de realidad aumentada nos lo podría estar mostrando a nivel del suelo (ver figura 56).

Figura 56. Efecto de la profundidad observada en realidad aumentada



Fuente: Muthalif et al. (2022)

### 5.8 Carga de dispositivos de visualización

Al trabajarse con los dispositivos de visualización, ya sea los montados en la cabeza, celulares o tablets, siempre existe la limitante de la duración de su batería. Es un aspecto muy básico pero fundamental si se quiere aprovechar al máximo las capacidades de la realidad aumentada.

En un contexto nacional, habría que tener en cuenta procedimientos estandarizados que incluyan, entre otros, el cargado completo de los dispositivos. Por ejemplo, cargado el día anterior, para

comenzar la jornada con la batería completamente cargada. Luego, al momento de almorzar, dejar cargando el dispositivo.

### 5.9 Señal de internet

Al requerir una comunicación sincrónica con usuarios que no se encuentren en la obra, se requiere una conexión continua a internet, necesitando la correcta cobertura en el lugar de trabajo. Esto podría reflejar un reto en zonas muy alejadas y/o aisladas de esta señal.

De la misma manera, al querer hacer la descarga de documentos y otras aplicaciones, resulta necesario el acceso a señal de internet.

### 5.10 Ejemplos de aplicación nacionales

En el caso de aplicaciones nacionales, no se ha identificado una gran cantidad de reportes y publicaciones afines al tema. Se presentan las identificadas a continuación.

#### 5.10.1 Aceros Arequipa

Es una de las organizaciones que ha hecho algunos acercamientos de la implementación de esta tecnología. Dentro de su corporación, tienen la empresa TSC Innovation, con la cual han generado una aplicación llamada PrearmAR, la cual está en fase de prueba y es una solución para productos prearmados que ellos desarrollan. Hasta la fecha, solo se ha podido obtener información al respecto de las conferencias que realizan a través de sus redes sociales (ver figuras 57, 58, 59 y 60).

Figura 57. Conferencia sobre app PrearmAR



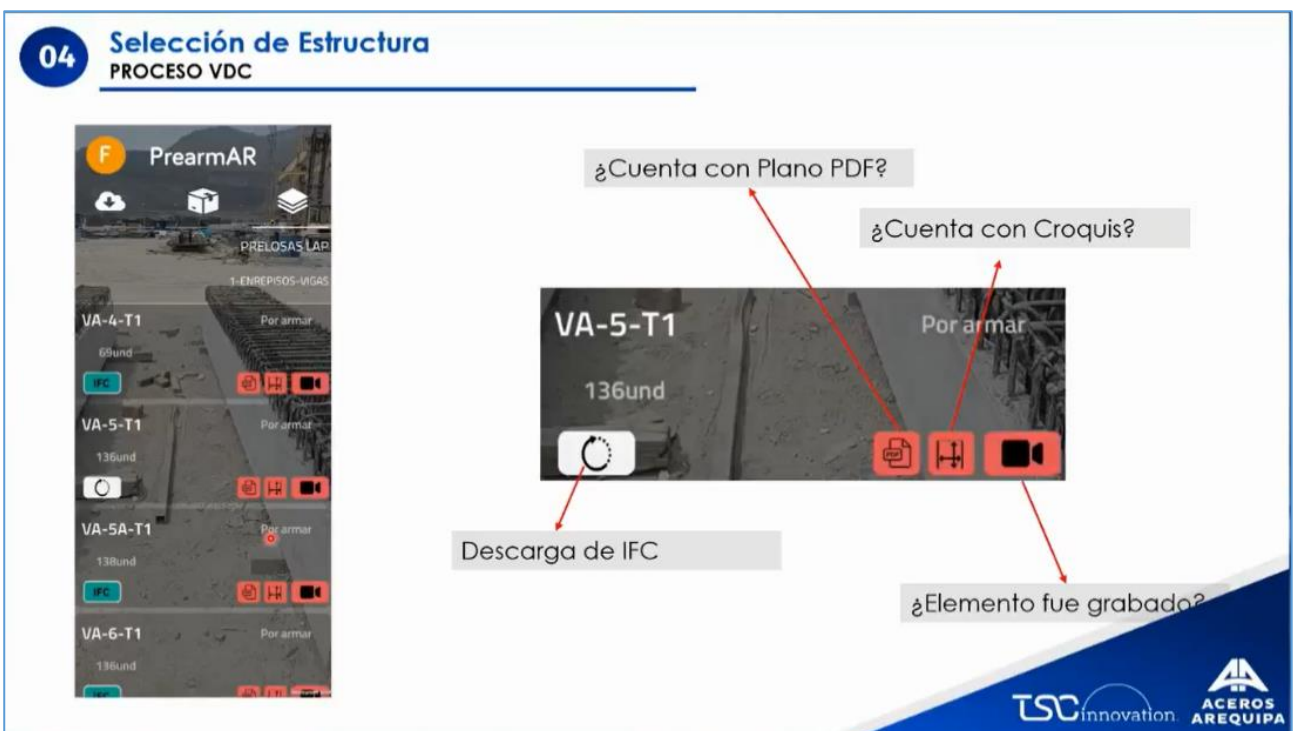
Fuente: [https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch\\_permalink&v=965977861259571](https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch_permalink&v=965977861259571)

Figura 58. Implementación de app PrearmAR para inspección de estribos



Fuente: [https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch\\_permalink&v=965977861259571](https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch_permalink&v=965977861259571)

Figura 59. Funcionalidades de la app PrearmAR (planos, grabación, etc.)



Fuente: [https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch\\_permalink&v=965977861259571](https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch_permalink&v=965977861259571)

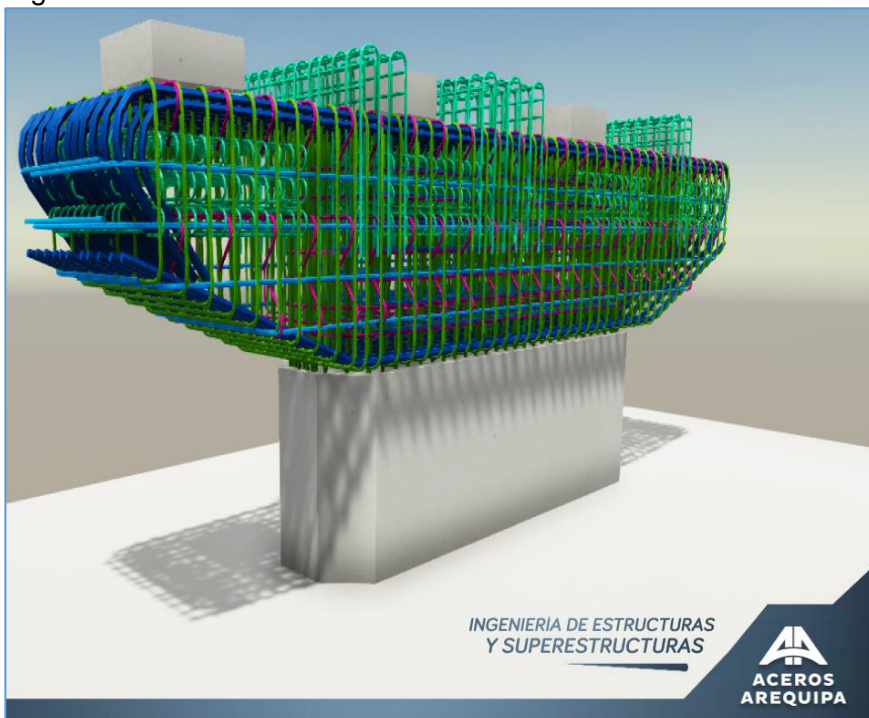
Figura 60. Superposición de información de armaduras de la app PrearmAR



Fuente: [https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch\\_permalink&v=965977861259571](https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch_permalink&v=965977861259571)

TSC Innovation es el área de ingeniería y soporte tecnológico de los servicios de la corporación de Aceros Arequipa. Ofrecen distintos servicios asociados a los modelos BIM estructural, con su conexión con cronogramas de proyectos, industrialización de la producción, entrega y montaje de barras de acero de forma eficiente (ver figura 61).

Figura 61. Servicios TSC Innovation



Fuente: <https://tscinnovation.com/es#menu4>

Es importante destacar que hacen uso de la herramienta Trimble Connect y Revit. En algunas ocasiones hacen publicaciones en su LinkedIn sobre aplicaciones que generan y dejan a disposición pública (ver figura 62).

Figura 62. Aplicación de TSC Innovation con Trimble Connect

TSC INNOVATION 3.835 seguidores  
1 año • Editado •

Nos complace presentar: nuestra primera herramienta gratuita: **TRIMBLE CONNECT SHEET REPORT** !, que combina la potencia del Trimble Connect Desktop y el Google Sheet. Permite **GENERAR UN SÓLO REPORTE** desde varios archivos IFC (REVIT y/ó TEKLA) a un sólo Google Sheet, brindando un entorno colaborativo para trabajar los datos y generar una leyenda de colores, que puedes fácilmente **RETORNAR** al Trimble Connect. Obtén la capacidad de configurar y guardar **PLANTILLAS** de uso frecuente y accede a ellas cuando lo necesites en un sólo click.

DESCUBRE una nueva forma simple de reportar en pocos pasos. Visita nuestra página web <https://lnkd.in/dMSPBuKS> y descárgala gratuitamente. Revisa los pasos en el siguiente mini video (1 Min. con sonido). Envíanos tus comentarios y consultas a [info@tscinnovation.com](mailto:info@tscinnovation.com). Felices de compartir y colaborar!

#tscinnovation #google #revit #teklastructures #tekla #bim #reporte #report #herramientagratis #trimbleconnect

APP GRATUITA

Trimble Connect Sheet Report

Fuente: <https://www.linkedin.com/company/tscinnovation/>

### 5.10.2 Aeropuerto Jorge Chávez

Mencionan que han empleado el software TrimbleSiteVision para aplicar los modelos BIM en el entorno real de la obra, comprobando la calidad de la construcción, para el proyecto del Aeropuerto Jorge Chávez (ver figura 63).

Este fue el primer acercamiento de la empresa Sacyr Ingeniería e Infraestructuras con la realidad aumentada. De esta manera, se pudo aumentar la precisión del proyecto, minimizar errores, optimizar el tiempo y recursos, así como mejorar la planificación del proyecto. Asimismo, favorece un mayor control de calidad en tiempo real en la ejecución de la obra (Sacyr, s.f.).

Figura 63. Aplicación de realidad aumentada en el Aeropuerto Jorge Chávez



Fuente: Sacyr (s.f.)

Además, se obtiene información más exacta para generar los modelos As Built (como se construyó), y se puede mejorar las tareas diarias. De esta manera, se ha podido ver cómo quedarán los puentes fijos del embarque de los aviones estacionados en los hangares. Además, permite hacer mediciones y comprobar las propiedades de cada objeto.

### 5.10.3 VyV Bravo Constructora

El año 2022, se hizo una publicación en la red social LinkedIn donde se mencionó que en el proyecto Aramburu 836 (Surquillo), en conjunto con VyV Grupo inmobiliario y VyV Bravo, se implementó la realidad aumentada y la revisión de planos en 3D en el proyecto.

Con ello, se pudo dar a los jefes de cuadrilla, capataces, maestros e ingenieros de la capacitación y la explicación sobre los beneficios de la tecnología, sobre todo en la etapa de acabados. Todos tenían la misma información en su celular, permitiendo la revisión de incompatibilidades, consultas, y otras acciones que se almacenaban en la nube.

Así, se hizo un recorrido en campo usando realidad aumentada en distintos niveles: primer piso, azotea, entre otros (ver figura 64).

Figura 64. Aplicación de realidad aumentada en el proyecto Aramburu 836



Fuente:

[https://www.linkedin.com/posts/daniel-veran-leigh-160b08b6\\_construction-realstate-virtualworld-activity-6922563144242331650-V6Sz?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/daniel-veran-leigh-160b08b6_construction-realstate-virtualworld-activity-6922563144242331650-V6Sz?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En primer lugar, es importante destacar que hay una gran cantidad de bibliografías internacionales asociadas a la aplicación de la realidad aumentada en temas de enseñanza de la ingeniería civil (como entender mejor la lectura de planos y evitar errores de comprensión, mejorando así las capacidades técnicas), así como aplicaciones para la ejecución de procesos constructivos desde la perspectiva del personal obrero (como la construcción de muros, soldadura, fabricación de elementos estructurales, entre otros, disminuyendo la tasa de errores y la velocidad de ejecución del trabajo). En ese sentido, esta tecnología resulta ideal para la aplicación en SENCICO, puesto que están enfocados especialmente en la capacitación de personal obrero, lo cual es afín a las principales aplicaciones identificadas.
- Existe una problemática actual en el sector construcción en referencia a los bajos niveles de productividad de la mano de obra debido a la limitada implementación de nuevas tecnologías, tal como lo ha venido realizando otros sectores.
- Se ha podido identificar una gran cantidad de bibliografía internacional afín al tema sobre distintas aplicaciones (desde la aplicación en procesos constructivos, en inspecciones de obra, mejora en la enseñanza y evaluación de la ergonomía que generan estos dispositivos), lo cual refleja la gran importancia de esta tecnología y la gran importancia de estar a la vanguardia al respecto. Sin embargo, en el contexto nacional, las tesis referidas a este tema han sido escasas aún y por ahora se enfocan más en temas de educación. Así, resulta necesario fomentar más estudios al respecto en el contexto local.
- Con respecto al software para generar los modelos virtuales, en el sector construcción se emplea la metodología BIM y los programas más empleados corresponden a Autodesk®, especialmente el Revit®.
- Sobre los softwares para transformar los modelos a realidad aumentada, los más empleados corresponden al motor Unity, existiendo el complemento Unity MARS. Por otro lado, el Twinbuild es una aplicación más acorde al sector construcción, con precisiones de proyección de los modelos de hasta 3mm, pero que solo se puede adaptar a los dispositivos HoloLens y tiene un costo relativamente alto comparada con las demás para su licencia. Finalmente, también está la aplicación Trimble Connect, la cual también se adapta mejor al sector (y puede generar marcadores QR), se puede emplear en los dispositivos HoloLens, celulares y tablets, y su precio está dentro del promedio. Este último se considera como la opción más factible.
- En el caso de los dispositivos para visualizar los modelos, sobre aquellas pantallas montadas en la cabeza son los HoloLens 2 de Microsoft (los más mencionados en las bibliografías), así como los Trimble XR10 más adaptados al sector (al poseer un casco y aislador de ruido).
- Las principales ventajas de esta tecnología son las mejoras en los procesos constructivos luego de identificar bibliografías con aplicación en construcción de muros, fabricación de elementos estructurales, armadura de acero, ubicación de tuberías, manejo de maquinaria, soldadura, entre

otros. Asimismo, se pueden mejorar los procesos de inspección, ya que se puede identificar de forma más centralizada la información del proyecto, evaluar el cumplimiento de requerimientos, así como controlar las condiciones de seguridad del proyecto. Por otro lado, se puede entender mejor el proyecto al poderlo visualizar en el entorno real. De la misma manera, se pueden mejorar los procesos de enseñanza, como la lectura de planos y la facilidad de adquirir conocimientos.

- Al considerar los precios asociados, se debe tener en cuenta las licencias de los programas como Autodesk y Revit si es que no se cuenta con estos. Los precios de las aplicaciones para transformar modelos a realidad aumentada son de aproximadamente \$ 2,000.0 para la licencia anual, siendo la mejor opción el Trimble Connect AR + MR y están asociadas a la realidad del sector construcción.
- Los celulares y tablets compatibles para esta tecnología tienen un precio entre los S/. 1,500.0 a S/. 5,500.0, y podrían ser útiles para un primer acercamiento, con el fin de entender cómo adaptar la tecnología en la realidad local. Luego, se podrían implementar las pantallas montadas a la cabeza, cuyo valor aproximadamente es de S/. 15,000.0. Con estas se podrán explorar aplicaciones más complejas, como interactuar con el modelo de realidad aumentada, tener comandos de voz y las manos libres.
- Cabe resaltar que los precios podrían reducirse si se desarrollan aplicaciones propias a futuro, con los servicios de profesionales de otras especialidades (ingenieros de software, sistemas, ciencias de la computación). Sin embargo, primero se recomendaría evaluar las correctas aplicaciones de la tecnología con las herramientas mencionadas.
- Para la correcta aplicación de esta tecnología, hay que considerar la adecuada precisión en la proyección de los modelos en la realidad, lo cual está asociado al uso de los marcadores QR y a las pruebas cuando el usuario se desplace por la obra. Asimismo, es clave considerar la capacitación de los involucrados y el ofrecer herramientas de fácil entendimiento.
- Otros puntos clave para la correcta implementación es pensar en la comodidad del usuario al emplear los dispositivos (como el impacto en el cansancio visual), los niveles de brillo en la zona de trabajo, la percepción de la profundidad, entre otros.
- En el contexto nacional, se han identificado pocas aplicaciones publicadas. Algunas de estas corresponden a Aceros Arequipa, quienes han desarrollado una aplicación propia de realidad aumentada. Por otro lado, también se implementó la tecnología en el proyecto del aeropuerto Jorge Chávez, usando herramientas Trimble.
- Finalmente, resultará clave para el éxito de la implementación de la tecnología el fomentar que las empresas la acepten e inviertan en el equipamiento y capacitaciones necesarias. Para ello, primero se deben mostrar las bondades de la tecnología, lo cual se logrará solo si se desarrollan proyectos de investigación suficientes, asociados al contexto local. Se puede tomar como referencias las bibliografías que se han recopilado para el diseño de los experimentos.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS****a. Artículos científicos**

- Abdeen, F. N., Gunatilaka, R. N., Sepasgozar, S. M. E., & Edwards, D. J. (2022). The usability of a novel mobile augmented reality application for excavation process considering safety and productivity in construction. *Construction Innovation: Information, Process, Management*. <https://doi.org/10.1108/ci-07-2022-0168>
- Abbas, A., Seo, J., & Kim, M. (2020). Impact of mobile augmented reality system on cognitive behavior and performance during rebar inspection tasks. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(6). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000931](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000931)
- Adebowale, O. J., & Agumba, J. N. (2022). Applications of Augmented Reality for Construction Productivity Improvement: A Systematic review. *Smart and sustainable built environment*. <https://doi.org/10.1108/sasbe-06-2022-0128>
- Ahmed, S. (2019). A review on using opportunities of augmented reality and virtual reality in construction project management. *Organization, technology and management in construction: An international journal*, 11(1), 1839-1852. <https://doi.org/10.2478/otmcj-2018-0012>
- Alkan, I. B., & Basaga, H. B. (2023). Augmented reality technologies in construction project assembly phases. *Automation in Construction*, 156, 105107. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105107>
- Amin, K., Mills, G. R., & Wilson, D. (2023). Key functions in BIM-based AR platforms. *Automation in Construction*, 150, 104816. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104816>
- Chalhoub, J., Ayer, S. K., & Ariaratnam, S. T. (2021). Augmented reality for enabling un- and under-trained individuals to complete specialty construction tasks. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 128-143. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.008>
- Chen, Y., Lai, Y., & Lin, Y. (2020). BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment. *Automation in Construction*, 110, 103041. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103041>
- El Kassis, R., Ayer, S. K., & Asmar, M. E. (2023). Augmented Reality Applications for Synchronized Communication in Construction: A Review of Challenges and opportunities. *Applied sciences*, 13(13), 7614. <https://doi.org/10.3390/app13137614>
- Fazel, A., & Izadi, A. (2018). An interactive augmented reality tool for constructing free-form modular surfaces. *Automation in Construction*, 85, 135-145. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.015>
- Hartless, J., Ayer, S. K., London, J. S., & Wu, W. (2020). Comparison of building design assessment behaviors of Novices in Augmented- and Virtual-Reality Environments. *Journal of Architectural Engineering*, 26(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000396](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000396)

- Kim, J., & Irizarry, J. (2020). Evaluating the use of augmented reality technology to improve construction management student's spatial skills. *International Journal of Construction Education and Research*, 17(2), 99-116. <https://doi.org/10.1080/15578771.2020.1717680>
- Kolaei, A. Z., Hedayati, E., Khanzadi, M., & Amiri, G. G. (2022). Challenges and opportunities of augmented reality during the construction phase. *Automation in Construction*, 143, 104586. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104586>
- Kwiatek, C., Sharif, M. M., Li, S., Haas, C. T., & Walbridge, S. (2019). Impact of augmented reality and spatial cognition on assembly in construction. *Automation in Construction*, 108, 102935. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102935>
- Kyaw, A. H., Xu, A., Jahn, G., Van Den Berg, N., Newnham, C., & Živković, S. (2023). Augmented reality for high precision fabrication of glued laminated timber beams. *Automation in Construction*, 152, 104912. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104912>
- Li, X., Yi, W., Chi, H., Wang, X., & Chan, A. P. (2018). A Critical review of Virtual and Augmented Reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86, 150-162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>
- Liu, D., Xia, X., Chen, J., & Li, S. (2021). Integrating building information model and augmented reality for Drone-Based building inspection. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 35(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000958](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000958)
- Marklin, R. W., Toll, A. M., Bauman, E. H., Simmins, J. J., LaDisa, J. F., & Cooper, R. F. (2020). Do Head-Mounted augmented reality devices affect muscle activity and eye strain of utility workers who do procedural work? Studies of operators and manhole workers. *Human Factors*, 64(2), 305-323. <https://doi.org/10.1177/0018720820943710>
- McCord, K. H., Ayer, S. K., Wu, W., Perry, L. A., London, J. S., & Kopitske, J. (2023). Using augmented reality to simulate authentic learning building assessment and construction experiences. *Journal of Architectural Engineering*, 29(3). <https://doi.org/10.1061/jaeied.aeeng-1531>
- McMeel, D. (2019). Robots and AR: Towards a platform economy for construction. *Journal of Information Technology in Construction*, 24, 527-539. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2019.029>
- Muthalif, M. Z. A., Shojaei, D., & Khoshelham, K. (2022). A review of Augmented reality visualization methods for subsurface utilities. *Advanced Engineering Informatics*, 51, 101498. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101498>
- Qin, Y., Bloomquist, E. T., Bulbul, T., & Gabbard, J. L. (2023). Measuring the impacts of AR HMD on users' situation awareness during wood frame assembly tasks. *Journal of Information Technology in Construction*, 28, 70-86. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.004>
- Qin, Y., Bloomquist, E. T., Bulbul, T., Gabbard, J. L., & Tanous, K. (2021). Impact of information display on worker performance for wood frame wall assembly using AR HMD under different

- task conditions. *Advanced Engineering Informatics*, 50, 101423. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101423>
- Qin, Y., & Bulbul, T. (2023a). An EEG-Based Mental Workload Evaluation for AR Head-Mounted Display use in construction assembly tasks. *Journal of the Construction Division and Management*, 149(9). <https://doi.org/10.1061/jcemd4.coeng-13438>
- Qin, Y., & Bulbul, T. (2023b). Electroencephalogram-based mental workload prediction for using augmented Reality head mounted display in construction assembly: a deep learning approach. *Automation in Construction*, 152, 104892. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104892>
- Ramos-Hurtado, J., Rivera, F. M., Serrano, J. M., Deraemaeker, A., & Valero, I. (2022). Proposal for the deployment of an augmented reality tool for construction safety inspection. *Buildings*, 12(4), 500. <https://doi.org/10.3390/buildings12040500>
- Revolti, A., Dallasega, P., Schulze, F., & Walder, A. (2023). Augmented reality to support the maintenance of urban-line infrastructures: a case study. *Procedia Computer Science*, 217, 746-755. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.271>
- Sabzevar, M. F., Gheisari, M., & Lo, L. J. (2023). AR-QR code for improving crew access to design and construction information. *Automation in Construction*, 154, 105107. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105017>
- Sangiorgio, V., Martiradonna, S., Fatiguso, F., & Lombillo, I. (2021). Augmented Reality Based - Decision Making (AR-DM) to support multi-criteria analysis in constructions. *Automation in Construction*, 124, 103567. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103567>
- Schiavi, B., Havard, V., Beddiar, K., & Baudry, D. (2022). BIM Data Flow Architecture with AR/VR technologies: Use cases in architecture, engineering and construction. *Automation in Construction*, 134, 104054. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104054>
- Shore, J., Ravindran, A. V., González, V. A., & Giacaman, N. (2023). Using Augmented Reality in AEC Tertiary Education: A Collaborative design case. *Journal of civil engineering education*, 149(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ei.2643-9115.0000069](https://doi.org/10.1061/(asce)ei.2643-9115.0000069)
- Sidani, A., Dinis, F. M., Duarte, J., Sanhudo, L., Calvetti, D., Baptista, J. S., Martins, J. P., & Soeiro, A. (2021). Recent Tools and Techniques of BIM-Based Augmented Reality: A Systematic Review. *Journal of Building Engineering*, 42, 102500. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102500>
- Song, Y., Koeck, R., & Luo, S. (2021). Review and analysis of augmented reality (AR) literature for digital fabrication in architecture. *Automation in Construction*, 128, 103762. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103762>
- Tavares, P., Costa, C. M., Rocha, L. F., Malaca, P., Costa, P., Moreira, A. P., Sousa, A., & Veiga, G. (2019). Collaborative welding system using BIM for robotic reprogramming and spatial augmented reality. *Automation in Construction*, 106, 102825. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.04.020>

- Um, J., Park, J. M., Park, S. Y., & Yilmaz, G. (2023). Low-cost mobile augmented reality service for building information modeling. *Automation in Construction*, 146, 104662. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104662>
- Wang, T., Huang, J., Liao, P., & Piao, Y. (2018). Does augmented reality effectively foster visual learning process in Construction? An Eye-Tracking Study in Steel installation. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2018/2472167>
- Wolf, M., Teizer, J., Wolf, B., Bükrü, S., & Solberg, A. (2022). Investigating hazard recognition in augmented virtuality for personalized feedback in construction safety education and training. *Advanced Engineering Informatics*, 51, 101469. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101469>
- Wu, S., Hou, L., Chen, H., Zhang, G., Yang, Z., & Tushar, Q. (2023). Cognitive Ergonomics-based augmented reality application for construction performance. *Automation in Construction*, 149, 104802. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104802>
- Xiang, S., Wang, R., & Feng, C. (2021). Mobile projective augmented reality for collaborative robots in construction. *Automation in Construction*, 127, 103704. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103704>
- Xu, J., & Moreu, F. (2021). A review of augmented reality applications in civil infrastructure during the 4th Industrial Revolution. *Frontiers in Built Environment*, 7. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.640732>

## b. Tesis nacionales

- Caballero Garriazo, J. A. (2023). *Aplicación de un nuevo modelado 3D de realidad aumentada en la capacidad espacial de los estudiantes de ingeniería en una universidad de Lima, 2022*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/20290>
- Castillo Sanchez, S. A. (2021) *La AR como herramienta didáctica en la enseñanza aprendizaje en la representación gráfica en Ingeniería Civil*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/items/12f482c6-9b47-464f-a380-e3d2c504574c>
- Galvan Cerron, C. S., & Villanueva Gallardo, H. A. (2022). Propuesta de una guía técnica para mejorar la experiencia del cliente final en la etapa de post venta con uso de la tecnología realidad virtual y realidad aumentada en proyectos inmobiliarios en Lima como estrategia en tiempos de COVID-19. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://upc.aws.openrepository.com/handle/10757/667271>
- Gronerth Tipa, C. G. (2022). *Propuesta de realidad aumentada y su relación con el aprendizaje por competencias de los estudiantes de diseño arquitectónico V, de la facultad de ingeniería y arquitectura de la Universidad Peruana Unión, Tarapoto, 2021*. [Tesis de maestría, Universidad San Martín de Porres]. <https://hdl.handle.net/20.500.12727/10792>

Mamani Chambi, F. E. (2020). *Propuesta de implementación de la Realidad Aumentada Libre en el entregable BIM (Modelo Gráfico según PAS 1192-2)*. [Trabajo de investigación, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4080>

### c. Otras páginas consultadas

ARCore (s.f.). ARCore. <https://developers.google.com/ar?hl=es-419>

Augment (s.f.). Augment. <https://www.augment.com/>

Autodesk (s.f. a). Autodesk Revit: software BIM para diseñar y crear todo lo que te propongas. <https://latinoamerica.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

Autodesk (s.f. b). Características principales de Autodesk Revit. <https://latinoamerica.autodesk.com/products/revit/features>

Autodesk (s.f. c). Descripción general: plan educativo. <https://latinoamerica.autodesk.com/support/account/education/students-educators/overview>

Autodesk (s.f. d). Productos de Autodesk. <https://latinoamerica.autodesk.com/products>

Autodesk (s.f. e). Requisitos del sistema de los productos de Revit 2020. <https://www.autodesk.es/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ESP/System-requirements-for-Autodesk-Revit-2020-products.html>

Microsoft (s.f. a). HoloLens2. <https://www.microsoft.com/es-es/hololens>

Microsoft (s.f. b). Shop HoloLens 2 offerings. <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/buy#footnotes-uid6a0a>

Sacyr (s.f.). Aeropuerto de Lima, primera construcción con realidad aumentada. <https://www.sacyr.com/-/el-aeropuerto-de-lima-primera-construccion-en-la-que-usamos-realidad-aumentada>

Trimble (s.f.). Trimble Connect AR. <https://fieldtech.trimble.com/es/product/trimble-connect-ar>

Twinbuild (s.f.). Twinbuild. <https://twinbuild.com/#home>

Unity (s.f. a). Unity Pro. <https://unity.com/es/products/unity-pro?currency=BRL#support-and-learning>

Unity (s.f. b). Elija el plan adecuado para usted. <https://unity.com/pricing/compare-plans?currency=US>

Unity (s.f. c). Unity Mars. <https://unity.com/es/products/unity-mars>

Unity (s.f. d). Unity MARS Overview. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.mars@1.5/manual/index.html>

Unity (s.f. e). Unity Reflect. <https://unity.com/products/unity-reflect>