Industrialização, Digitalização, Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 5º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

[1]ANÁLISIS DE LAS COMPLEJIDADES DE IMPLEMENTACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA (RA) EN EL SITIO DE CONSTRUCCIÓN

Analysis of the implementation complexities of augmented reality (AR) in construction sites

Felipe Muñoz La Rivera
School of Civil Engineering, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso | Valparaíso, Chile | felipe.munoz@pucv.cl

Eduardo Miranda
Constructora RAZO | Con Con, Chile | eduardo.miranda@razo.cl

Nataly Diaz Barrientos
School of Civil Engineering, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso | Valparaíso, Chile | nataly.diaz.b@mail.pucv.cl

Valentina Lobos Encina
School of Civil Engineering, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso | Valparaíso, Chile | valentina.lobos.e@mail.pucv.cl

Matías Castañeda
Constructora RAZO | Con Con, Chile | matias.castaneda@razo.cl

Sofía Montecinos
School of Civil Engineering, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso | Valparaíso, Chile | sofia.montecinos@pucv.cl

Alexis Toledo
School of Civil Engineering, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso | Valparaíso, Chile | alexis.toledo@pucv.cl

Esteban Fernández
Constructora RAZO | Con Con, Chile | esteban.fernandez@razo.cl

Paolo Macaya
Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de la Frontera | Temuco, Chile | paolo.macaya@ufrontera.cl

Gonzalo Garcés
College of Engineering, Universidad del Bío-Bío | Concepción, Chile | gegarces@ubiobio.cl

RESUMEN

La transformación digital en la construcción ha impulsado el uso de tecnologías como la Realidad Aumentada (RA), reconocida por su potencial para mejorar la planificación, ejecución y gestión de proyectos. Su integración con modelos BIM permite una visualización e interacción contextualizada, facilitando la toma de decisiones en terreno, especialmente en procesos de control de calidad e inspecciones. No obstante, la implementación efectiva de RA en obra enfrenta barreras que aún limitan su adopción sistemática. Esta investigación analiza las complejidades asociadas a su aplicación en contextos reales de obra, identificando dificultades técnicas en terreno, los requisitos que deben cumplir los modelos BIM y las condiciones necesarias para su integración en procesos de planificación y control. El estudio se desarrolló en tres etapas: una revisión de literatura, la implementación de un caso de estudio centrado en la verificación del correcto posicionamiento, según planos de arquitectura, de los puntos de fuerza y alumbrado de las instalaciones eléctricas en un edificio en construcción y un análisis de los hallazgos. Los resultados evidencian limitaciones en precisión, interoperabilidad y condiciones de uso, así como brechas en flujos de trabajo y capacitación. Se proponen lineamientos aplicables para futuras implementaciones de RA en obra.

Palabras clave: Realidad Aumentada, sitio de construcción, BIM, Construcción 4.0.

ABSTRACT

Digital transformation in construction has driven the adoption of technologies such as Augmented Reality (AR), recognized for its potential to enhance project planning, execution, and management. Its integration with BIM models enables

[1]LA RIVERA, F. M. *et al.* Análisis de las Complejidades de Implementación de Realidad Aumentada (RA) en el Sitio de Construcción. In: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2025, Florianópolis. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2025.

contextualized visualization and interaction, facilitating on-site decision-making, particularly in quality control and inspection processes. However, the effective implementation of AR on-site still faces barriers that limit its systematic adoption. This research analyzes the complexities associated with its application in real construction contexts, identifying technical difficulties on-site, the requirements that BIM models must meet, and the necessary conditions for integrating AR into planning, control, and management processes. The study was carried out in three stages: a systematic literature review, the implementation of a case study focused on the verification of the correct positioning, according to architectural plans, of power and lighting points for electrical installations in a building under construction, and an analysis of the findings. The results highlight limitations in precision, interoperability, and usability conditions, as well as gaps in workflows and training. Applicable guidelines are proposed for future implementations of AR in the industry.

Keywords: *Augmented reality, construction site, BIM, Construction 4.0*

1 INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción se encuentra en un proceso de transformación profunda, impulsado por la Construcción 4.0, que promueve la digitalización, la automatización y la incorporación progresiva de tecnologías emergentes (Muñoz-La Rivera et al., 2021). En este contexto, la Realidad Aumentada (RA) ha comenzado a posicionarse como una herramienta estratégica, permitiendo la superposición de información digital sobre el entorno físico en tiempo real (Napiórkowski, Szóstak, Schabowicz, & Klimek, 2025). Esta capacidad ha abierto nuevas oportunidades para optimizar procesos en obra, mejorar la coordinación entre equipos, facilitar inspecciones, y enriquecer la comunicación técnica con actores no especialistas (Adebowale & Agumba, 2024).

Así, la RA se ha aplicado en distintas etapas del ciclo de vida del proyecto. Su uso ha demostrado beneficios en tareas como la validación de instalaciones, la detección de interferencias y la coordinación de modelos BIM directamente en obra, permitiendo comparar el diseño proyectado con las condiciones reales del sitio (Nassereddine, Hanna, Veeramani, & Lotfallah, 2022). Además, ha mostrado su utilidad en inspección y control de calidad, al facilitar la verificación de especificaciones y la detección temprana de discrepancias constructivas, así como en contextos educativos y de capacitación en seguridad (Alkan & Basaga, 2023). En todos estos casos, la RA contribuye a una mejor comprensión del entorno construido y a una toma de decisiones más informada. Sin embargo, y a pesar de los beneficios reportados, la literatura especializada coincide en que la adopción de RA en entornos reales de obra aún enfrenta múltiples barreras (El Kassis, Ayer, & El Asmar, 2023). Desde el punto de vista técnico, persisten desafíos relacionados con la precisión del posicionamiento, la georreferenciación de modelos BIM, la estabilidad de los sistemas, limitaciones del hardware disponible en obra y dificultades de interoperabilidad. En paralelo, existen obstáculos organizacionales, como la resistencia al cambio, la falta de formación especializada y la percepción de altos costos de implementación, que dificultan su integración sistemática en los procesos de planificación y ejecución (Akinradewo et al., 2025).

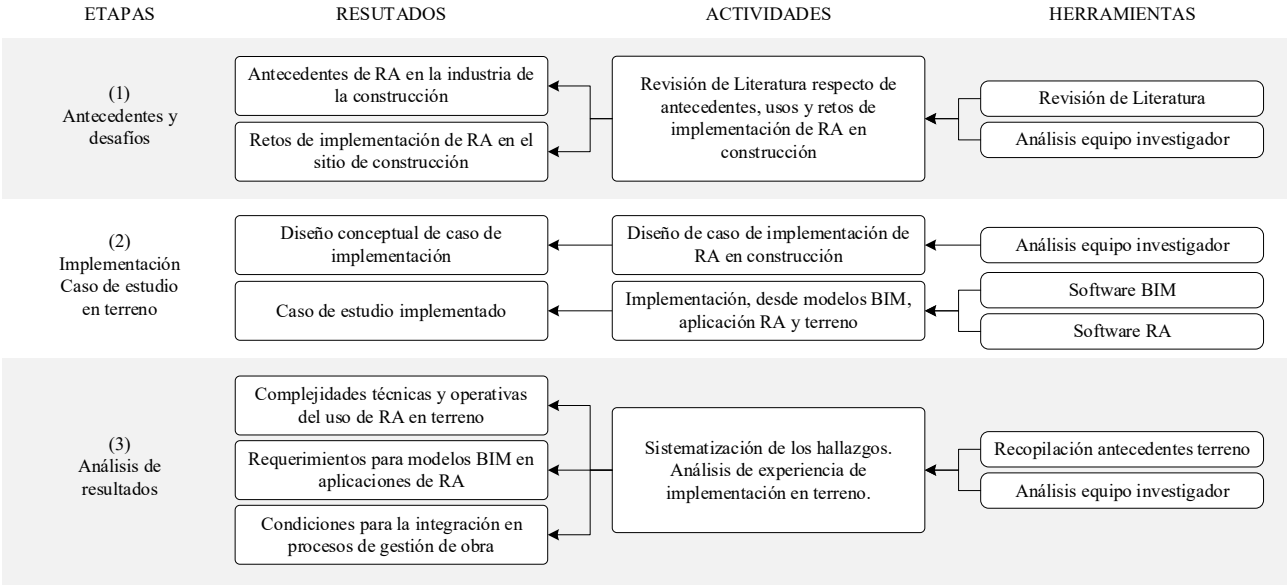
Dadas las brechas identificadas, el objetivo general de esta investigación es analizar las complejidades técnicas, operativas y de gestión asociadas a la implementación de Realidad Aumentada (RA) en proyectos de construcción, con énfasis en las dificultades prácticas de su uso en terreno, los requerimientos que deben cumplir los modelos BIM y las condiciones necesarias para su integración en los procesos de planificación y gestión de obra. Así, se consideran los siguientes objetivos específicos: (a) Identificar y describir las complejidades que surgen en el uso de aplicaciones de RA en terreno; (b) Analizar los requerimientos que deben cumplir los modelos BIM para asegurar funcionamiento en entornos de RA; y (c) Analizar los aspectos clave para la integración efectiva de aplicaciones de RA en los procesos de planificación y control. El artículo se estructura en base a tres secciones: una revisión de literatura para identificar antecedentes y desafíos asociados a la RA; caso de estudio implementado en terreno; y finalmente, un análisis de los hallazgos en tres dimensiones: complejidades técnicas y operativas, requerimientos de los modelos BIM y condiciones para su integración en la obra.

2 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La Figura 1 presenta la metodología de investigación. Se han considerado tres etapas en la investigación: (1) revisión de antecedentes; (2) implementación de un caso de estudio; y (3) análisis de resultados. En la primera etapa, se realizó una revisión de literatura para identificar antecedentes sobre el uso de la RA en la industria de la construcción, así como los principales retos asociados a su implementación. En la segunda etapa, se diseñó e implementó un caso de estudio en terreno. La experiencia se centró en la verificación del correcto

posicionamiento de cajas eléctricas en distintos recintos de un edificio en construcción. El proceso incluyó la preparación del modelo BIM, el desarrollo conceptual de la solución de RA y su despliegue en terreno, con una duración total de tres meses. Finalmente, en la tercera etapa, se analizaron los hallazgos obtenidos. El análisis se estructuró en torno a tres frentes: (a) complejidades técnicas y operativas, (b) requerimientos para los modelos BIM, y (c) condiciones necesarias para integrar la RA en la planificación y gestión de obra.

Figura 1: Metodología de Investigación.



3 ANTECEDENTES

3.1 Realidad Aumentada en la industria de la construcción

Las tecnologías inmersivas, englobadas dentro del concepto de Realidad Extendida (XR), son consideradas clave en el proceso de transformación digital. Desde el enfoque de la Construcción 4.0, centrado en la digitalización, automatización y optimización, hasta las tendencias de la Industria 5.0, que ponen énfasis en el enfoque humano, la incorporación de estas tecnologías se ha vuelto cada vez más relevante (Muñoz-La Rivera et al., 2021). En este contexto, la Realidad Aumentada (RA) destaca como una herramienta con potencial, al permitir la superposición de información sobre el entorno físico, mejorando la percepción y la interacción con el entorno real (El Kassis, Ayer, & El Asmar, 2023). A diferencia de la realidad virtual, que genera entornos completamente simulados, la RA complementa el mundo real mediante la integración de elementos visuales digitales como modelos tridimensionales, datos técnicos o instrucciones contextuales (El Asmar, Chalhoub, Ayer, & Abdallah, 2021). En la industria de la construcción, la Realidad Aumentada (RA) ha demostrado ser una herramienta útil para mejorar diversas actividades de los proyectos. Su integración con modelos BIM permite visualizar el diseño, facilitando la comprensión, planificación y verificación de elementos constructivos. Además, permite localizar componentes, detectar interferencias, validar instalaciones y acceder a información contextual. Estas capacidades contribuyen a una mejor coordinación en terreno, optimizan la toma de decisiones y fortalecen procesos de inspección (Adebowale & Agumba, 2024).

La Realidad Aumentada (RA) ha demostrado ser valiosa para mejorar la comunicación entre los distintos actores de un proyecto, facilitando la comprensión del diseño, especialmente para usuarios sin formación técnica (Alkan & Basaga, 2023). Al superponer modelos constructivos en el entorno físico, elimina barreras asociadas a la interpretación de planos y favorece la toma de decisiones. Por otro lado, la RA ha sido utilizada en capacitación en seguridad laboral, permitiendo identificar riesgos y visualizar elementos, así como, en educación, mejorando la enseñanza al ofrecer experiencias que fortalecen la comprensión espacial y las habilidades técnicas (Fazel & Adel, 2024).

3.2 Retos de implementación de RA en el sitio de construcción

A pesar de los diversos beneficios y casos de éxito que muestra la literatura, su implementación sistemática en proyectos de construcción, y en particular, su despliegue en el sitio de construcción enfrenta diversas barreras. Desde el punto de vista técnico, uno de los retos más relevantes es la precisión en la localización espacial y la alineación entre el modelo digital y el entorno físico (Ramos-Hurtado, Muñoz-La Rivera, Mora-Serrano, Deraemaeker, & Valero, 2022). Las aplicaciones de RA dependen de un registro exacto para superponer correctamente los elementos virtuales sobre el respectivo sector del proyecto en construcción. Sin embargo, en el sitio de construcción suelen producirse errores debido a condiciones de iluminación, superficies irregulares, presencia de objetivos y elementos de apoyo a la construcción, junto con interferencias en la señal GPS o de sensores producto de la misma estructura (Kolaei, Hedayati, Khanzadi, & Ghodrati Amiri, 2022). Esto también supone la necesidad de georreferenciar adecuadamente los modelos BIM para que se ajusten al contexto real implica tareas adicionales de ajuste y calibración que no siempre son consideradas en los flujos tradicionales de modelado. Algunos estudios han explorado soluciones para superar estos obstáculos, como el uso de sensores de visión y profundidad para mejorar el posicionamiento, sistemas de RA sin marcadores para simplificar el despliegue en terreno, y plataformas web multiplataforma que reducen la dependencia de hardware especializado. No obstante, estas soluciones siguen en fases experimentales y requieren condiciones específicas para funcionar correctamente (Hajirasouli & Banihashemi, 2022).

Otro aspecto técnico que se destaca en la literatura es la limitación de los dispositivos utilizados, como smartphones, tablets o gafas de RA. Estos equipos, si bien son accesibles presentan restricciones de campo de visión, duración de la batería, capacidad de procesamiento y estabilidad en exteriores, lo que afecta la experiencia del usuario y la precisión del sistema. Otro aspecto que relatan algunos autores es la interoperabilidad requerida entre BIM y aplicaciones RA (Rueda Márquez de la Plata, Cruz Franco, & Ramos Sánchez, 2023). Existen dificultades para conservar la estructura del modelo, sus metadatos y jerarquías, lo que obliga a realizar conversiones y simplificaciones que pueden afectar su integridad y utilidad en terreno (Fernández-Moyano, Remolar, & Gómez-Cambronero, 2025).

Desde el plano organizacional, las barreras culturales y estructurales representan un obstáculo recurrente (Fazel & Adel, 2024). Las empresas aún muestran resistencia al cambio. La falta de formación especializada limita la capacidad para implementar y utilizar estas herramientas. Asimismo, la percepción de que los costos de inversión inicial son elevados, aunque a largo plazo existan beneficios comprobados, genera incertidumbre y ralentiza su adopción. En conjunto, diversos estudios coinciden en que la implementación efectiva de RA en obras de construcción requiere un ecosistema integrado. Esto implica contar con modelos BIM preparados para su visualización inmersiva, dispositivos adecuados, protocolos de despliegue claros y personal capacitado (Xu, Feng, Babaeian Jelodar, & Guo, 2024; Toyin, Sattineni, Wetzel, Fasoyinu, & Kim, 2025).

4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBAS EN TERRENO

4.1 Descripción del caso de implementación

El caso de implementación se realizó en un proyecto de construcción de un edificio de 10 pisos y 4 subterráneos, de hormigón armado (9 plantas de oficinas y plaza comercial). La Figura 2 muestra los pasos seguidos para la implementación. Se ha seleccionado, a modo de caso de implementación, la tarea de verificación del correcto posicionamiento de cajas o puntos eléctricos en distintos recintos de un edificio de oficinas en construcción, mediante Realidad Aumentada. En primer lugar, se considera la selección de las zonas donde se llevarán a cabo las pruebas. En este caso, se han definido tres áreas: (1) zona de muros de hormigón armado ya finalizadas; (2) zona de Tabiques en proceso de construcción; y (3) zona de muros estructurales con acero de refuerzo aún a la vista. Para cada zona se han ajustado los modelos BIM, trabajados en Autodesk Revit ® aislando las zonas de interés, focalizando solo los modelos de las instalaciones eléctricas. Tras ello, los modelos se han exportado en formato Industry Foundation Classes (IFC 2x3 coordinación), acorde a los requerimientos funcionales de la aplicación, e importados a la aplicación Augin, para su uso en terreno. La Tabla 1 muestra el detalle de las herramientas de hardware y software utilizadas.

Figura 2: Metodología de Investigación.

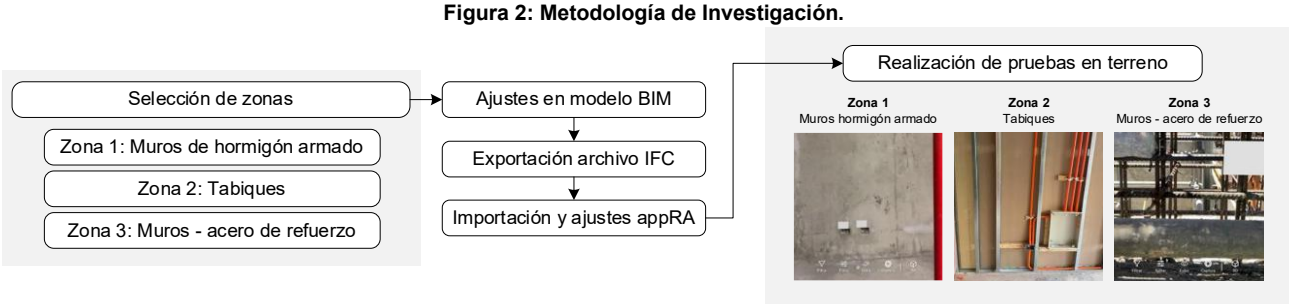


Tabla 1: Herramientas de hardware y software utilizados

HERRAMIENTAS	CARACTERÍSTICAS
Tablet Samsung Galaxy Tab S4	Dispositivo que permite ejecutar la aplicación. Cuenta con una pantalla de 10.5 pulgadas con una resolución de 2560 x 1600 píxeles. Contiene un sensor cámara de 13 Mpíxeles en la parte trasera, 4 GB de RAM, Android 10 con la interfaz de usuario One UI 2.0
Autodesk ® Revit 2024	Herramienta de diseño y construcción asistida por computadora que permite a arquitectos, ingenieros y profesionales de la construcción crear modelos 3D precisos y colaborativos de edificios y estructuras.
Augin	Aplicación y plataforma de Realidad Aumentada, especializada en proyectos de arquitectura, ingeniería y construcción
Computador	Con características: NVIDIA GeForce GTX 1650 Ti, Intel i5- 10300H 16GB, HDMI 1.3, USB 3.0, Windows 10 64 bits

4.2 Implementación de las pruebas

Las primeras pruebas se realizaron en un recinto con muros de hormigón armado completamente ejecutados, sin elementos estructurales expuestos ni interferencias visibles. El objetivo fue verificar, mediante Realidad Aumentada (RA), el correcto posicionamiento de cajas eléctricas proyectadas en el modelo BIM, comparándolo con la situación real en obra. Durante el desarrollo de la prueba, se identificaron inicialmente diferencias dimensionales entre el modelo BIM y las condiciones reales del muro. En el modelo original, no se encontraban modeladas las cajas eléctricas, por lo que fue necesario incorporarlas manualmente tras levantar en terreno su posición, midiendo distancias desde el borde del muro y desde la losa. Una vez insertadas en el modelo, se detectó que las dimensiones del muro eran superiores a las reales, lo que afectó la alineación y posicionamiento correcto de los elementos proyectados en RA. Para mitigar este problema, se ajustaron las dimensiones del muro en el modelo. Con este ajuste, se logró una mejor correspondencia entre el entorno físico y el digital. No obstante, se observaron descalibraciones leves en elementos ubicados a más de dos metros del *reference tracker*, evidenciando que la precisión de la aplicación disminuye conforme aumenta la distancia al punto de referencia. En las Figuras 3a, 3b, 3c y 3d se ilustran las condiciones descritas y los resultados obtenidos. Esta prueba permitió identificar la relevancia de contar con modelos BIM geométricamente precisos, así como la necesidad de posicionar estratégicamente los marcadores de referencia para maximizar la estabilidad.

Figura 3: Proceso de implementación RA en muros de hormigón armado.



(a) (b) (c) (d)

Las pruebas realizadas en recintos con tabiques permitieron evaluar el comportamiento de la RA en un entorno parcialmente definido y geométricamente variable. Se detectaron diferencias entre el modelo BIM y las condiciones reales, especialmente en la ubicación y dimensiones de las cajas eléctricas. Aunque se ajustaron las medidas, la visualización continuó mostrando desalineaciones, principalmente por la discrepancia dimensional y la distancia al *reference tracker,* que generaba descalibraciones. En pruebas posteriores, con nuevas correcciones, se observó un desempeño mixto: en un tabique la proyección fue precisa, mientras que en otro persistieron errores. Se evidenció que la precisión disminuye al aumentar la distancia al marcador y que el sistema es sensible al movimiento de la cámara. Una trayectoria lenta y perpendicular generaba estabilidad, pero al girar el dispositivo, la visualización se desplazaba, afectando la fidelidad del modelo. La Figura 4 muestra ejemplos representativos de estas situaciones. Figura 4a y 4b muestran la ubicación de los elementos y la Figura 4c y 4d el descuadre modelo-realidad. Esta prueba destacó la importancia de contar con modelos precisos y de operar la aplicación bajo condiciones controladas.

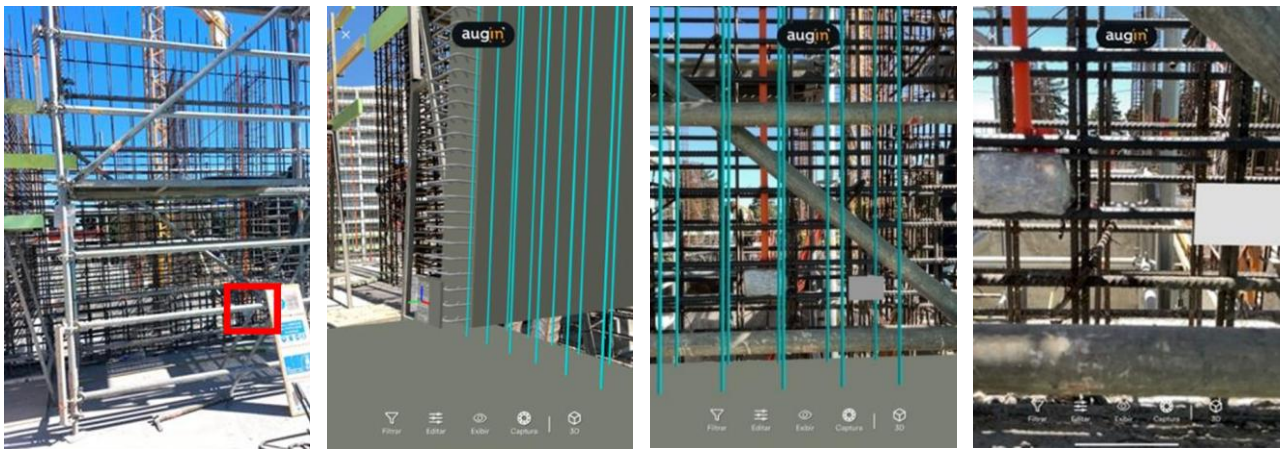
Figura 4: Proceso de implementación RA en tabiquerías. (a) y (b) ubicación de los elementos proyectados en el entorno físico; (c) y (d) evidencias de desalineación entre el modelo virtual y la realidad construida.



(a) (b) (c) (d)

Una tercera prueba se realizó en un recinto donde los muros estructurales en ejecución, con el acero de refuerzo aún expuesto. La Figura 5 ilustra las condiciones observadas. Esta condición presentó un entorno complejo para el uso de Realidad Aumentada (RA), debido a la presencia de múltiples superficies visuales y espacios reducidos (Figura 5a). Primeramente se modelaron las cajas eléctricas según mediciones tomadas en terreno. Sin embargo, se observaron varios problemas: la aplicación identificaba múltiples superficies superpuestas, lo que afectaba la precisión; existía una discrepancia entre el tamaño del enchufe modelado y el real (Figura 5b y 5c); y la ubicación del *reference tracker* en el entorno no coincidía con su posición en el modelo, generando un efecto de desplazamiento (Figura 5d). Para mitigar estos errores, se incorporó un pequeño muro auxiliar en el modelo, simulando la base del *tracker*. Aunque esto mejoró la percepción de profundidad, la desalineación persistía. Finalmente, se identificó que el mallado del suelo, al no estar despejado, impedía que la aplicación seleccionara correctamente el plano de referencia. Esta prueba evidenció que la RA en zonas con acero de refuerzo requiere entornos visualmente limpios y puntos de anclaje bien definidos para asegurar una visualización.

Figura 5: Proceso de implementación RA en muros de hormigón armado – acero de refuerzo. (a) condiciones complejas del entorno con múltiples superficies visuales; (b) y (c) discrepancias entre el modelo y el objeto real (enchufe); (d) desalineación del reference tracker respecto al modelo virtual.



(a) (b) (c) (d)

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

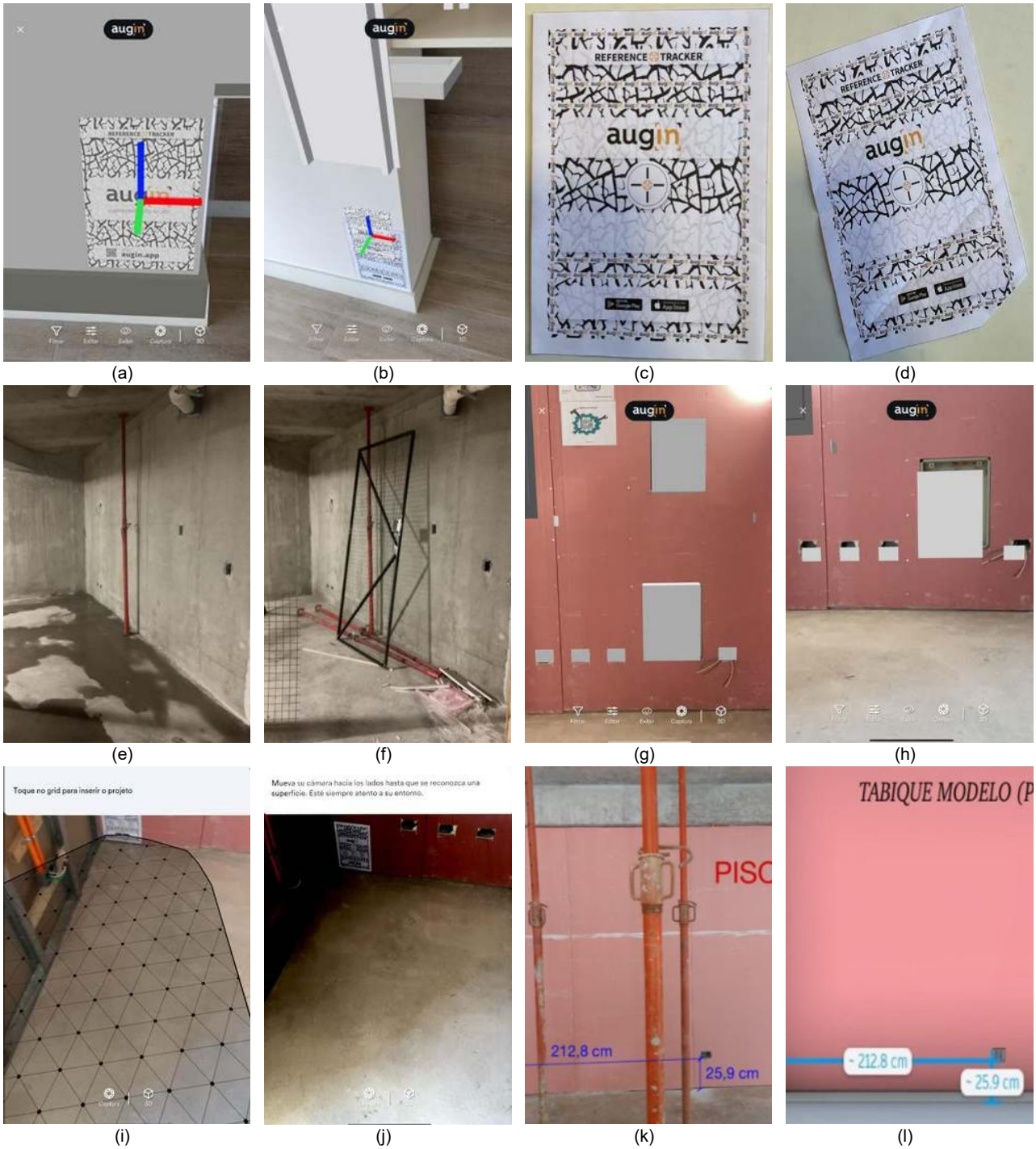
La implementación de Realidad Aumentada (RA) en proyectos de construcción, específicamente en el sitio de construcción, ha demostrado ser una tarea compleja. Desde la perspectiva de las ventajas y opciones mostradas por las aplicaciones, comerciales o de desarrollo de investigación, pareciera que la RA es simple de utilizar. Sin embargo, cuando se traslada desde entornos de laboratorio o simulación a condiciones reales de obra, para su integración en los procesos de trabajo, la realidad es distinta. En el caso del estudio analizado, se demanda una precisión con un margen de error igual o inferior a 1 centímetro, lo cual representa un desafío adicional para su implementación efectiva en el entorno de trabajo real. A partir de la experiencia práctica obtenida en pruebas realizadas en terreno, se identificaron diversos factores que condicionan su uso en obra. Esta sección presenta los principales hallazgos organizados en tres frentes de análisis complementarios: (1) las complejidades técnicas y operativas que surgen al utilizar aplicaciones de RA directamente en terreno; (2) los requerimientos que deben cumplir los modelos BIM para garantizar una correcta visualización, alineación y funcionamiento en entornos de RA; y (3) las condiciones necesarias para integrar estas herramientas en los procesos de planificación, control y gestión de obras de construcción.

5.1 Complejidades técnicas y operativas para el uso de aplicaciones de RA en terreno

Este apartado recoge las dificultades prácticas que surgen al implementar RA en un entorno real de obra, abordando factores técnicos (precisión, alineación, señal y dispositivos) y operativos (condiciones físicas del entorno, interferencias y uso por parte del personal). También considera las limitaciones de hardware y software, así como los problemas derivados de la calibración y estabilidad en entornos dinámicos. La Figura 6 muestra ejemplos de cada uno de los aspectos indicados.

Uno de los aspectos clave para el correcto funcionamiento de sistemas de Realidad Aumentada (RA) es la visualización perpendicular de los dispositivos o marcadores utilizados para el posicionamiento (Figura 6a y 6b). Es fundamental que estos sean observados desde un ángulo perpendicular respecto a la superficie en la que están colocados. Si la visualización se realiza desde un ángulo distinto, el sistema puede tener dificultades para detectar correctamente el marcador, lo que afecta tanto la precisión como la estabilidad del modelo proyectado. Asimismo, el posicionamiento sobre superficies planas es crucial (Figura 6c y 6d). Los dispositivos de referencia deben colocarse sobre superficies completamente estables y niveladas. Cualquier irregularidad, inclinación o torsión puede interferir con la detección y comprometer la alineación entre el modelo digital y el entorno físico. Una adherencia uniforme del marcador asegura mejores resultados.

Figura 6: Ejemplos de complejidades técnicas y operativas identificadas en terreno.



(a) (b) (c) (d)

(e) (f) (g) (h)

(i) (j) (k) (l)

El entorno físico también debe mantenerse despejado de objetos, sombras o interferencias visuales que puedan dificultar la detección de los marcadores (Figura 6e y 6f). La presencia de elementos adicionales cerca del marcador puede generar errores en la superposición del modelo y afectar la precisión de la visualización. Otro factor importante es la distancia operativa (Figura 6g y 6h). Las aplicaciones de RA suelen estar diseñadas para funcionar óptimamente a corta distancia (aproximadamente a máximo 1 metro de distancia). Si el usuario se aleja demasiado del marcador o del objeto de interés, es probable que se produzcan errores de posicionamiento o pérdidas de seguimiento. Por ello, se recomienda mantener las interacciones dentro de un rango cercano. La iluminación del entorno también juega un rol crítico. Una iluminación insuficiente (visibilidad clara del marcador mediante la cámara del dispositivo) puede impedir que el sistema reconozca correctamente los marcadores o superficies de referencia, lo que impacta negativamente en la precisión de la RA (Figura 6i y 6j). Se debe procurar trabajar en espacios bien iluminados o, idealmente, con luz uniforme. Finalmente, es esencial asegurar la coherencia en la alineación del modelo digital respecto al entorno físico

(Figura 6k y 6l). Esto implica que las dimensiones y coordenadas del modelo BIM estén correctamente ajustadas a las condiciones reales del sitio. Las discrepancias entre ambos pueden provocar errores de posicionamiento que afectan tanto la visualización como la interacción con el modelo en el entorno aumentado.

5.2 Requerimientos para modelos BIM en aplicaciones de RA

Para que una aplicación de RA funcione de forma precisa y confiable en contextos reales de obra, es fundamental que el modelo BIM utilizado cumpla con ciertos requerimientos técnicos. Uno de los principales aspectos es el nivel de detalle (LOD). Si bien un modelo excesivamente complejo puede dificultar la visualización fluida en dispositivos móviles o visores, un nivel de detalle insuficiente compromete la utilidad del modelo en tareas de inspección, validación o coordinación. Es necesario encontrar un equilibrio entre la fidelidad geométrica y la eficiencia computacional, ajustado al propósito específico de la aplicación RA. Asimismo, la precisión geométrica y dimensional del modelo es crítica, especialmente cuando se busca comparar la proyección digital con condiciones físicas en terreno. Se observaron errores de visualización atribuibles a diferencias mínimas entre lo modelado y la realidad, lo que evidencia la necesidad de validación previa del modelo in situ. Junto con ello, es imprescindible asegurar una correcta alineación de coordenadas entre el modelo BIM y el entorno físico, considerando puntos de referencia comunes, niveles de piso y ubicación de elementos relevantes.

La compatibilidad con plataformas y dispositivos de RA también es un factor clave. Muchos motores gráficos y aplicaciones móviles requieren formatos específicos o modelos optimizados, lo que obliga a procesos de exportación o simplificación que, si no se controlan adecuadamente, pueden comprometer la integridad del modelo (a pensar que la mayoría ya trabaja en IFC). Además, la interoperabilidad con otras plataformas y sistemas de gestión es deseable, especialmente cuando se busca integrar la RA en procesos más amplios de planificación o control de obra. Finalmente, la actualización constante del modelo BIM es indispensable. La utilidad de la RA depende en gran medida de que el modelo represente fielmente el estado actual del proyecto. Esto requiere flujos de trabajo que garanticen versiones actualizadas, coordinadas y verificadas, especialmente en obras en curso donde los cambios constructivos son frecuentes.

5.3 Condiciones para la integración en procesos de gestión de obra

Más allá de los aspectos técnicos, la integración de la RA en la gestión de obras de construcción requiere condiciones organizativas, operativas y culturales que permitan su uso efectivo como herramienta de apoyo a la toma de decisiones. Uno de los factores más relevantes es la planificación del uso de RA como parte de los flujos de trabajo, incorporándola de manera estructurada en procesos como el control de calidad, la validación de instalaciones, o la coordinación entre especialidades. Para ello, es necesario definir desde etapas temprana condiciones metodológicas y de los modelos, alineadas a definir con claridad quiénes usarán la tecnología, en qué momentos del proyecto y con qué propósitos específicos. Una definición clara de los objetivos permitirá facilitar su implementación. Alineado con ello, otro aspecto relevante es la formación del personal, tanto en el uso de la tecnología como en la interpretación de los modelos. Se observó que el desempeño del sistema está estrechamente vinculado al modo de operación, por ello, es fundamental capacitar a los usuarios para operar en condiciones óptimas y entender las limitaciones del sistema.

Desde lo operativo “a pie de obra”, la preparación del entorno físico también debe ser considerada dentro de la gestión. Áreas despejadas, buena iluminación y puntos de referencia definidos son condiciones necesarias para garantizar el funcionamiento correcto de la RA en terreno. Resulta evidente que estos requisitos son difíciles de cumplir en un entorno constructivo tradicional, donde predominan condiciones contrarias a las requeridas. En este sentido, la integración exitosa de estas herramientas requiere una coordinación entre equipos técnicos y de terreno, incluyendo modeladores BIM, supervisores de obra y personal de inspección. Finalmente, es importante promover una cultura organizacional abierta a la innovación, que no vea estas tecnologías como elementos externos o disruptivos, sino como herramientas que pueden integrarse progresivamente en los procesos existentes.

6 CONCLUSIONES

La transformación digital de la industria de la construcción ha promovido el desarrollo y adopción de tecnologías emergentes como la Realidad Aumentada (RA), la cual ha mostrado un alto potencial para mejorar la planificación, ejecución y gestión de obras. A pesar de sus reconocidos beneficios, su implementación efectiva en condiciones reales aún presenta múltiples desafíos que deben ser comprendidos y abordados para

lograr una adopción más amplia y sostenible. Este estudio tuvo como objetivo analizar las complejidades técnicas y operativas asociadas a la implementación de Realidad Aumentada (RA) en proyectos de construcción, a partir de una experiencia práctica centrada en la verificación de puntos o cajas eléctricas proyectadas con modelos BIM. En base a la implementación de realidad aumentada con la herramienta Augin, los resultados permitieron identificar tres dimensiones clave para su uso: primero, las dificultades técnicas y operativas, como errores de alineación, interferencias visuales, descalibraciones y sensibilidad al movimiento, que afectan la precisión del sistema en obra. Para el ejemplo del caso de estudio, se demandaba una precisión con un margen de error igual o inferior a 1 centímetro. En ese sentido, sería importante complementar futuras evaluaciones con datos cuantitativos sobre las desviaciones observadas, que permitan contrastar este umbral con la precisión alcanzada en terreno en esta investigación; segundo, los requerimientos que deben cumplir los modelos BIM, destacando la necesidad de alta precisión geométrica, correcta georreferenciación, nivel de detalle adecuado y compatibilidad con plataformas RA; y tercero, las condiciones para su integración en la gestión de obra, que incluyen formación del personal, adaptación de flujos de trabajo, preparación del entorno físico y disposición organizacional al cambio. En síntesis, la RA ofrece un alto potencial para mejorar los procesos constructivos, pero su adopción efectiva requiere no solo soluciones tecnológicas robustas, sino también una comprensión integral de su aplicación en contextos reales de obra.

Entre las limitaciones del estudio se encuentra el hecho de que las pruebas fueron acotadas a un solo proyecto en construcción y a tareas específicas, por lo que los hallazgos no necesariamente representan la totalidad de las condiciones que pueden encontrarse en otros contextos. Además, la evaluación se centró en una sola herramienta de RA, por lo que sería necesario contrastar estos resultados con otras plataformas y dispositivos. A pesar de ello, y complementado con la experiencia del equipo de investigación en esta área, los resultados son extrapolables a la tecnología de RA en general aplicada a obra. Así, como líneas futuras de investigación, se propone ampliar la validación en distintos tipos de proyectos, analizar el comportamiento de la RA en actividades más dinámicas como obra gruesa o instalaciones complejas, y estudiar la integración con flujos de datos en tiempo real con diferentes aplicaciones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente a la Constructora VCB Constructora SpA (RAZO) y a todo el equipo de trabajo, que ha permitido el despliegue en terreno de este proyecto. Así también se agradece al espacio TIMS de la Escuela de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso por facilitar los equipos de hardware y software requeridos para el proyecto.

REFERENCIAS

Adebowale, O. J., & Agumba, J. N. (2024). Applications of augmented reality for construction productivity improvement: A systematic review. Smart and Sustainable Built Environment, 13(3), 479–495. https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2022-0128

Akinradewo, O., Hafez, M., Aliu, J., Oke, A., Aigbavboa, C., & Adekunle, S. (2025). Barriers to the adoption of augmented reality technologies for education and training in the built environment: A developing country context. Technologies, 13, 62. https://doi.org/10.3390/technologies13020062

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

El Asmar, P. G., Chalhoub, J., Ayer, S. K., & Abdallah, A. S. (2021). Contextualizing benefits and limitations reported for augmented reality in construction research. Journal of Information Technology in Construction, 26, 720–738. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.039

El Kassis, R., Ayer, S. K., & El Asmar, M. (2023). Augmented reality applications for synchronized communication in construction: A review of challenges and opportunities. Applied Sciences, 13, 7614. https://doi.org/10.3390/app13137614

Fazel, A., & Adel, A. (2024). Enhancing construction accuracy, productivity, and safety with augmented reality for timber fastening. Automation in Construction, 166, 105596. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105596

Fernández-Moyano, J. A., Remolar, I., & Gómez-Cambronero, Á. (2025). Augmented reality's impact in industry—A scoping review. Applied Sciences, 15, 2415. https://doi.org/10.3390/app15052415

Hajirasouli, A., & Banihashemi, S. (2022). Augmented reality in architecture and construction education: State of the field and opportunities. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 19, 39. https://doi.org/10.1186/s41239-022-00343-9

Kolaei, A. Z., Hedayati, E., Khanzadi, M., & Ghodrati Amiri, 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

Muñoz-La Rivera, F., Mora-Serrano, J., Valero, I., et al. (2021). Methodological-technological framework for Construction 4.0. Archives of Computational Methods in Engineering, 28, 689–711. https://doi.org/10.1007/s11831-020-09455-9

Napiórkowski, M., Szóstak, M., Schabowicz, K., & Klimek, A. (2025). Use of modeling, BIM technology, and virtual reality in nondestructive testing and inventory using the example of the Trzonolinowiec. Open Engineering, 15, 20240099. https://doi.org/10.1515/eng-2024-0099

Nassereddine, H., Hanna, A. S., Veeramani, D., & Lotfallah, W. (2022). Augmented reality in the construction industry: Use-cases, benefits, obstacles, and future trends. Frontiers in Built Environment, 8, 730094. https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.730094

Ramos-Hurtado, J., Muñoz-La Rivera, F., Mora-Serrano, J., Deraemaeker, A., & Valero, I. (2022). Proposal for the deployment of an augmented reality tool for construction safety inspection. Buildings, 12, 500. https://doi.org/10.3390/buildings12040500

Rueda Márquez de la Plata, A., Cruz Franco, P. A., & Ramos Sánchez, J. A. (2023). Applications of virtual and augmented reality technology to teaching and research in construction and its graphic expression. Sustainability, 15, 9628. https://doi.org/10.3390/su15129628

Toyin, J. O., Sattineni, A., Wetzel, E. M., Fasoyinu, A. A., & Kim, J. (2025). Augmented reality in U.S. Construction: Trends and future directions. Automation in Construction, 170, 105895. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105895

Xu, Z., Feng, Z., Babaeian Jelodar, M., & Guo, B. H. W. (2024). Augmented reality applications in construction productivity: A systematic literature review. Advanced Engineering Informatics, 62(C), 102798. https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102798