

EVALUACIÓN DEL USO DE CÁMARAS 360 PARA CAPTURA DE DATOS EN EDIFICACIÓN: ANÁLISIS COMPARATIVO FOTOGRAMÉTRICO FRENTE A TÉCNICAS TRADICIONALES

D. Valverde Cantero ¹, A. Trujillo Talavera ², J. González Arteaga ¹

¹ Universidad de Castilla-La Mancha, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación, Cuenca, España

² Profesional Liberal, Cuenca, España

RESUMEN

La transformación digital del sector AECO ha impulsado la adopción de tecnologías avanzadas de captura de la realidad orientadas a generar representaciones tridimensionales precisas que optimizan los procesos de inspección, documentación y rehabilitación del patrimonio construido. En este marco, los escáneres láser LiDAR y la fotogrametría basada en cámaras calibradas se han consolidado como metodologías de referencia en la práctica profesional. No obstante, la incorporación de cámaras 360 introduce nuevas posibilidades, derivadas de su bajo coste, facilidad operativa y capacidad para registrar grandes volúmenes de información visual en tiempos reducidos. Su aplicación en la generación de nubes de puntos y mallas fotogramétricas con fines arquitectónicos exige aún una evaluación comparativa exhaustiva frente a las tecnologías convencionales.

Se han seleccionado diversos casos de estudio representativos de distintas tipologías edificatorias - espacios interiores, fachadas y elementos de valor patrimonial en los que se llevaron a cabo campañas de captura mediante cuatro sistemas:

1. Escáner láser terrestre LiDAR.
2. Sensor LiDAR integrado en iPad Pro.
3. Fotogrametría con cámara digital (capturas convencionales con solape controlado).
4. Fotogrametría con cámara 360 (imágenes esféricas equirectangulares).

En cada caso se siguieron procesos equivalentes orientados a la obtención de nubes de puntos y mallas texturizadas, valorando los resultados en función de:

- Precisión geométrica respecto al modelo de referencia (escáner láser terrestre o TLS).
- Densidad de puntos obtenida.
- Calidad de las texturas y nivel de detalle visual.
- Tiempos de captura y procesamiento.
- Costes de adquisición, operatividad y formación del técnico responsable.

El escáner láser LiDAR ofrece los resultados más precisos y densos, constituyendo la referencia métrica del análisis. La fotogrametría con cámara digital alcanza un equilibrio óptimo entre precisión, realismo

fotográfico y coste operativo, especialmente en entornos exteriores y geometrías complejas. El LiDAR integrado en el iPad Pro demuestra eficiencia y rapidez en levantamientos interiores y trabajos preliminares, aunque presenta limitaciones en la definición de aristas y elementos finos.

La fotogrametría basada en cámaras 360 destaca por su extraordinaria velocidad de adquisición y cobertura global, reduciendo de forma significativa los requerimientos de planificación de la captura. Sin embargo, su precisión métrica es inferior a la fotogrametría convencional, sobre todo en superficies con baja textura, objetos próximos o geometrías con gran complejidad formal. Además, la proyección equirectangular introduce deformaciones que demandan un procesado más exigente.

Las cámaras 360 constituyen por tanto una herramienta complementaria y eficiente para la documentación arquitectónica, idónea cuando se priorizan la rapidez, la cobertura visual y la economía de medios. Aunque no igualan la resolución del escaneado láser ni el nivel de detalle fotogramétrico de una cámara digital, resultan adecuadas para levantamientos auxiliares, control de obra, digitalización de interiores y documentación patrimonial de forma ágil.

La integración de diversas tecnologías emerge como la estrategia más eficaz: emplear escáner láser o fotogrametría digital para la precisión geométrica, y complementar con cámaras 360 para áreas ocultas y refuerzo del contenido visual. La evolución de los sensores panorámicos y las mejoras en los algoritmos de reconstrucción ampliarán previsiblemente su aplicabilidad en la captura tridimensional arquitectónica.

PALABRAS CLAVE: cámara 360, LiDAR, fotogrametría, nube de puntos, malla texturizada

1. INTRODUCCIÓN

La digitalización del sector AECO ha transformado profundamente los procesos de levantamiento, análisis y documentación del entorno construido. La captura tridimensional de la realidad se ha convertido en una herramienta esencial tanto en obra nueva como en rehabilitación, inspección técnica y documentación patrimonial.

El escaneado láser terrestre (TLS) se ha consolidado como tecnología de referencia por su elevada precisión métrica y alta densidad de puntos [1]. Paralelamente, la fotogrametría digital basada en cámaras fotográficas convenientemente calibradas ha alcanzado un grado de madurez técnica que permite obtener modelos de alta calidad geométrica y visual con costes moderados.

En los últimos años han surgido soluciones alternativas que buscan simplificar la captura de datos. Entre ellas destacan:

- Sensores LiDAR integrados en dispositivos móviles (iPhone/iPad Pro).
- Cámaras panorámicas 360 con captura esférica completa.

Las cámaras 360 permiten registrar el entorno completo desde un único punto de captura [2], reduciendo drásticamente los tiempos de adquisición. Sin embargo, la proyección equirectangular y la naturaleza óptica de estos dispositivos plantean interrogantes sobre su precisión métrica [3], aunque investigaciones recientes han demostrado su aplicabilidad en levantamientos interiores [4].

El objetivo de esta investigación es analizar comparativamente el rendimiento de la fotogrametría basada en cámaras 360, tanto en su precisión geométrica como en su eficiencia operativa y viabilidad profesional en distintos escenarios edificatorios frente a otros métodos ya consolidados:

- Escáner láser terrestre o TLS (que usaremos como modelo de referencia).
- Fotogrametría con cámara digital.
- LiDAR integrado en dispositivo móvil.

2. DESARROLLO / METODOLOGÍA

La investigación se planteó como un estudio comparativo experimental orientado a evaluar el comportamiento geométrico, operativo y económico de distintos sistemas de captura tridimensional aplicados a edificación.

El diseño metodológico se estructuró bajo los siguientes principios:

- Comparabilidad espacial: todos los sistemas debían capturar exactamente las mismas zonas.
- Homogeneidad de condiciones: iluminación, geometría y referencias comunes.
- Referencia métrica estable: el escáner láser terrestre se adoptó como modelo patrón.
- Evaluación multicriterio: no solo precisión, sino también eficiencia y viabilidad profesional.

El estudio se desarrolló en tres fases:

1. Campaña de captura de datos con los cuatro sistemas.
2. Procesamiento independiente de cada conjunto.
3. Análisis comparativo geométrico y operativo.

2.1. Selección de casos de estudio

Se seleccionaron cuatro tipologías representativas con el objetivo de cubrir escenarios habituales en la práctica de la Arquitectura Técnica (figura 1):

Caso A – Interior residencial sencillo: Espacio ortogonal con paramentos lisos y geometría regular. Vivienda en Villar de Olalla, Cuenca, con una superficie de 110,00 m² útiles.

Caso B – Interior complejo e irregular: Espacio con encuentros no ortogonales y paramentos con deformidades y geometría irregular. Sala artillera del Castillo de Moya, Moya, Cuenca, con una superficie de 55,00 m² útiles.

Caso C – Fachada urbana: Plano vertical con huecos, molduras y variación de textura superficial. Edificio residencial en c/ San Pedro, Cuenca, con una superficie de fachada principal de 95,00 m².

Caso D – Elemento patrimonial: Elemento con relieve escultórico, aristas y geometría irregular. Escudo del antiguo Ayuntamiento de San Clemente, Cuenca, de dimensiones 3,60 m de ancho por 4,75 m de alto.



Figura 1. Escenarios de estudio: **(a)** interior de vivienda. **(b)** interior irregular. **(c)** fachada residencial. **(d)** elemento patrimonial

2.2. Sistemas de captura analizados

Se han analizado tres sistemas de captura con referencia para comprobación geométrica con un cuarto sistema de precisión milimétrica, escáner láser terrestre TLS (ver Tabla 1):

Tabla 1. Sistemas de captura analizados en el estudio

Sistema	Equipo	Características	Consideraciones
Escáner láser terrestre TLS	Leica BLK 360 https://shop.leica-geosystems.com/es/es-ES/leica-blk/blk360/	Registro mediante dianas o alineación automática Error instrumental nominal inferior a ± 3 mm	El modelo resultante se consideró patrón para el cálculo de desviaciones
Sensor LiDAR integrado en dispositivo móvil	iPad Pro versión 2022 https://www.apple.com/ipad-pro	Alcance limitado (aprox. 5 m) Densidad de puntos inferior a TLS Registro automático en tiempo real	Se priorizó su uso en interiores por limitaciones de alcance y comportamiento en exteriores
Fotogrametría con cámara digital	Varios según situación: Olympus E500, móvil Samsung Note 10 Plus, dron DJI mini 4 pro	Distancia focal fija ISO bajo para minimizar ruido Control de iluminación	Las capturas se realizan con solape longitudinal y transversal superior al 70%
Cámara 360	Insta360 Modelo X5 https://store.insta360.com/es/product/x5	Resolución de vídeo 8K a 30 fps en formato INSV 360° Estabilización integrada ISO bajo para minimizar ruido	Grabación en modo vídeo 8K Generación desatendida de modelos con CupixVista [02] y de extracción de fotogramas para uso en Agisoft Metashape (https://www.agisoftmetashape.com/)

Estos tres primeros sistemas de captura cuentan con amplia bibliografía y casos de uso, además de haber sido analizados previamente [5], por lo que nos centraremos en desarrollar el último de los sistemas propuestos.



Figura 2. Ejemplo de fotografía equirectangular obtenida con cámara 360. **Fuente:** elaboración propia.

2.3. Procesamiento, análisis comparativo e indicadores evaluados

Una vez realizada la campaña de captura con los distintos sistemas, se procedió al procesamiento independiente de cada conjunto de datos siguiendo flujos específicos adaptados a la naturaleza de cada tecnología. En el caso del escáner láser terrestre (TLS), el registro y generación de nube consolidada se realizó mediante el software propietario del equipo, Cyclone Register, exportando posteriormente los modelos en formato interoperable. Para el sensor LiDAR integrado en dispositivo móvil se utilizó el programa Polycam (poly.cam) y con la fotogrametría convencional con cámara digital se siguieron los procedimientos habituales de alineación, generación de nube densa, construcción de malla y texturizado mediante software especializado, Agisoft Metashape.

Estos tres primeros sistemas de captura cuentan con amplia bibliografía y casos de uso, además de haber sido estudiados previamente , por lo que nos centraremos en desarrollar el último de los sistemas propuestos.

La cámara 360 se utilizó exclusivamente en modo vídeo 360° a resolución 8K y 30 fps, evitando la captura mediante fotografías individuales. A partir de estas secuencias de vídeo se implementaron dos estrategias diferenciadas de generación de modelos tridimensionales. En el primer caso se empleó la plataforma CupixVista [6], que permite la generación automática y desatendida de modelos 3D en la nube a partir de vídeo 360, reduciendo significativamente la intervención técnica durante el procesado. Esta solución prioriza la agilidad operativa y la automatización, siendo especialmente adecuada en entornos de documentación rápida (figura 3).

En el segundo caso, se extrajeron fotogramas equirectangulares (figura 2) del vídeo 360 mediante el programa FFmpeg (ffmpeg.com), seleccionando una frecuencia de extracción adecuada para garantizar solape volumétrico suficiente sin introducir redundancia excesiva. Estos fotogramas o *frames* fueron posteriormente procesados en Agisoft Metashape, configurando las cámaras como esféricas para respetar la proyección equirectangular original. El flujo incluyó alineación, generación

de nube densa, construcción de malla y texturizado, permitiendo un mayor control sobre los parámetros de reconstrucción y una comparación más directa con la fotogrametría convencional.

Todos los modelos generados fueron exportados en formatos compatibles, principalmente nubes de puntos en formato .e57 y mallas texturizadas en formato .obj, con el fin de garantizar su interoperabilidad. La comparación geométrica entre sistemas se realizó utilizando el software CloudCompare [7], que permitió alinear cada modelo respecto al generado mediante TLS, adoptado como referencia métrica. Se aplicaron procesos de alineación por mejor ajuste (ICP), generación de mapas de desviación y cálculo de error medio absoluto y desviación estándar, permitiendo cuantificar las diferencias geométricas de forma objetiva.

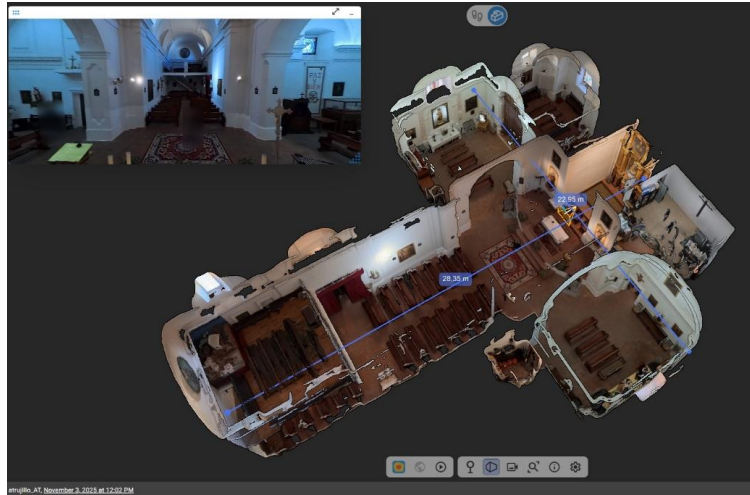


Figura 3. Ejemplo de modelo 3D obtenido con la plataforma CupixVista (www.cupixvista.com) de edificio de grandes dimensiones. Fuente: elaboración propia

El análisis comparativo se estructuró atendiendo a varios indicadores que abarcan tanto parámetros técnicos como operativos. Se evaluó la precisión geométrica en relación con el modelo TLS, la densidad y homogeneidad de la nube de puntos, la calidad visual de las texturas generadas, el tiempo efectivo de captura en campo, el tiempo total de procesamiento hasta la obtención del modelo final y la viabilidad profesional entendida como equilibrio entre coste, formación técnica requerida y aplicabilidad práctica en el ámbito de la Arquitectura Técnica.

Este planteamiento metodológico permitió comparar de manera homogénea los distintos sistemas de captura, integrando soluciones de procesamiento automatizado en la nube y flujos fotogramétricos controlados manualmente, bajo un marco común de evaluación geométrica mediante análisis de desviaciones en CloudCompare.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten comparar el comportamiento de los distintos sistemas desde una perspectiva integral, considerando tanto la precisión geométrica cuantificada mediante comparación con el modelo TLS como la eficiencia operativa derivada de los distintos flujos de trabajo. Dado que en el caso de la cámara 360 se emplearon dos metodologías diferenciadas de generación de modelos tridimensionales -procesamiento automatizado en la nube mediante CupixVista y reconstrucción

fotogramétrica controlada mediante extracción de fotogramas y procesado en Agisoft Metashape-, el análisis distingue también el impacto del flujo de procesado en la calidad final del modelo.

La discusión se estructura en dos bloques: el primero centrado en la evaluación geométrica objetiva de los modelos obtenidos y el segundo orientado a la eficiencia operativa y aplicabilidad profesional.

3.1. Evaluación geométrica comparativa

La comparación geométrica se realizó tomando como referencia el modelo generado mediante el escáner láser terrestre Leica BLK 360, considerado patrón métrico por su precisión instrumental nominal inferior a ± 3 mm. Todos los modelos fueron alineados con el software CloudCompare, permitiendo generar mapas de desviación y obtener métricas de error medio absoluto y desviación (figura 4).

Los resultados indican que la fotogrametría convencional con cámara digital mostró un comportamiento muy próximo al TLS en fachadas y superficies con textura suficiente, manteniendo una buena definición de encuentros y elementos lineales.

El LiDAR integrado en iPad Pro presentó un comportamiento adecuado en interiores de geometría regular, aunque con pérdida de definición en aristas vivas y elementos finos, lo que se tradujo en una ligera suavización geométrica en encuentros de planos.

En el caso de la cámara 360, se observaron diferencias significativas en función del flujo de procesado empleado. Los modelos generados mediante CupixVista mostraron una correcta coherencia volumétrica global y buena continuidad superficial, aunque con una ligera simplificación geométrica en elementos de pequeño espesor. La automatización del proceso prioriza estabilidad global frente a precisión puntual, lo que se traduce en modelos robustos pero con menor definición métrica. El error dimensional medio obtenido es de entre un 2-3% de exceso de medición.

Por su parte, los modelos obtenidos mediante extracción de fotogramas equirectangulares con FFmpeg y procesado posterior en Agisoft Metashape presentaron un mejor comportamiento en términos de alineación y definición geométrica, especialmente en encuentros complejos y relieves patrimoniales.



Figura 4. Comparación de métodos de captura sobre el escenario B (sala artillera del castillo de Moya) con el software CloudCompare. Leyenda: Verde, TLS; rojo, LiDAR de iPad Pro; azul, cámara 360.

La posibilidad de controlar parámetros de alineación y densificación permitió optimizar la reconstrucción, reduciendo la desviación media respecto al TLS en comparación con el flujo completamente automatizado.

No obstante, en ambos casos se detectaron mayores discrepancias en superficies lisas de baja textura, zonas próximas a la cámara y áreas situadas en los polos superior e inferior de la proyección equirectangular. Estas desviaciones se asocian directamente a la distorsión inherente a la proyección esférica y a la menor resolución efectiva en determinadas bandas de la imagen.

En términos generales, la precisión alcanzada por la cámara 360 puede considerarse suficiente para levantamientos volumétricos generales y documentación arquitectónica, aunque no equiparable a la obtenida mediante TLS o fotogrametría convencional cuando se requiere análisis métrico de alta exigencia (ver tabla 2).

Tabla 2. Comparativa técnica de sistemas de captura

Sistema	Necesidad de iluminación	Precisión relativa	Densidad de puntos	Tiempo de captura	Coste de equipo	Nivel técnico
TLS	Baja	Muy alta	Muy alta	Alto	Muy Alto	Alto
Cámara digital	Muy alta	Alta	Alta	Medio	Medio	Medio-alto
LiDAR móvil	Media	Media	Media	Bajo	Medio	Bajo
Cámara 360 (CupixVista)	Muy alta	Baja	Media-baja	Muy bajo	Bajo	Bajo
Cámara 360 (A. Metashape)	Muy alta	Media-baja	Media	Muy bajo	Bajo	Medio-alto

3.2. Eficiencia operativa y aplicabilidad profesional

Más allá de la precisión geométrica, el análisis revela diferencias relevantes en términos de tiempos de captura, complejidad técnica y carga de procesamiento (ver tabla 3).

El TLS requiere planificación de estaciones, nivelación y registro posterior, lo que implica mayor tiempo de trabajo en campo y una curva de aprendizaje elevada. La fotogrametría convencional con cámara digital exige planificación detallada de solapes y control exhaustivo de iluminación, lo que incrementa el tiempo de captura y el procesado posterior.

El uso de cámara 360 en modo vídeo 8K reduce significativamente la complejidad de captura. La estrategia basada en estaciones de grabación breve permite registrar grandes volúmenes espaciales con planificación mínima y menor riesgo de omisión de zonas. Este factor resulta especialmente relevante en inspecciones rápidas, documentación previa a intervención o control de obra.

En cuanto al procesado, el uso de aplicaciones como CupixVista permite generar modelos tridimensionales de forma completamente desatendida en la nube, minimizando la intervención técnica y reduciendo el tiempo efectivo dedicado por el operador. Este flujo prioriza eficiencia y

accesibilidad, siendo adecuado para entornos profesionales donde el objetivo principal es la documentación ágil (figura 5).

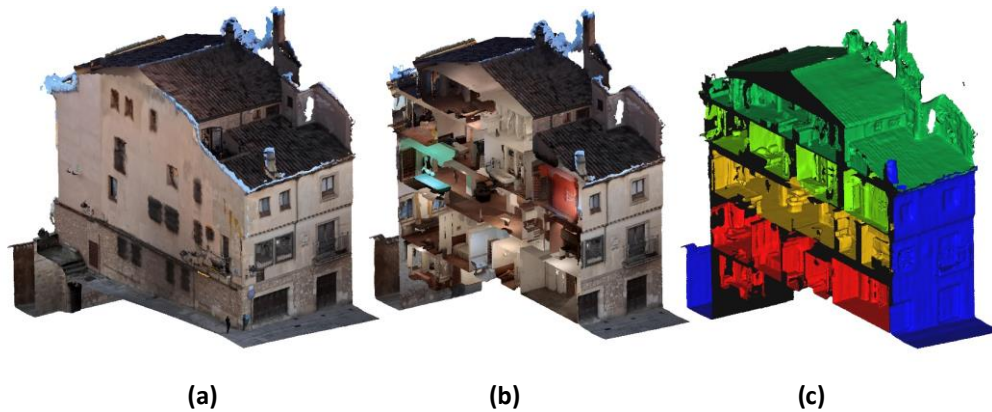


Figura 5. Ejemplo de obtención de modelo 3D (malla texturizada y nube de puntos) de edificio completo con cámara 360: **(a)** modelo completo. **(b)** modelo seccionado. **(c)** derecha, modelo seccionado

Por el contrario, el flujo basado en extracción de fotogramas y procesado en Metashape requiere mayor tiempo de preparación y cálculo, pero ofrece un mayor control sobre la calidad final del modelo. Esta diferencia pone de manifiesto que el rendimiento de la cámara 360 no depende únicamente del dispositivo, sino del ecosistema de software empleado y del procesado de los datos recopilados.

Tabla 3. Comparativa operativa estimada

Sistema	Tiempo de captura	Tiempo de procesado	Complejidad de planificación
TLS	Alto	Medio	Alta
Cámara digital	Medio	Alto	Alta
LIDAR móvil	Bajo	Bajo	Baja
Cámara 360 (CupixVista)	Muy bajo	Medio	Muy baja
Cámara 360 (A. Metashape)	Muy bajo	Alto	Muy baja

4. CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido comparar el rendimiento de la fotogrametría basada en cámaras 360 frente a tecnologías consolidadas de captura tridimensional en edificación, evaluando tanto la precisión geométrica como la eficiencia operativa. Tomando como referencia el modelo generado mediante TLS, se ha constatado que este continúa siendo la solución de mayor exactitud métrica y estabilidad en escenarios complejos.

La fotogrametría convencional con cámara digital ofrece resultados próximos al TLS en superficies con textura suficientemente contrastada, consolidándose como una alternativa equilibrada entre precisión y coste. El LiDAR integrado en dispositivos móviles de consumo presenta un comportamiento adecuado en levantamientos preliminares, aunque con menor definición en aristas y elementos finos.

En el caso de la cámara 360 utilizada en modo vídeo 8K, los resultados varían según el flujo de procesado empleado. La generación automática mediante CupixVista prioriza la eficiencia y produce modelos coherentes volumétricamente, con ligeras desviaciones métricas. El procesamiento mediante extracción de fotogramas y reconstrucción en Agisoft Metashape mejora el control geométrico, reduciendo dichas desviaciones.

Aunque la precisión obtenida con cámara 360 no alcanza la de TLS ni la de la fotogrametría convencional en trabajos de alta exigencia, resulta suficiente para documentación arquitectónica, control de obra y levantamientos volumétricos generales. La principal aportación de esta tecnología radica en su rapidez, bajo coste y facilidad de uso.

La integración híbrida de sistemas se confirma como la estrategia más eficiente, combinando precisión métrica y agilidad operativa según las necesidades específicas de cada intervención.

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] D. Valverde Cantero y J. González Arteaga, "Utilización de dispositivos electrónicos de consumo para el levantamiento gráfico de edificios existentes", en Building and Management International Conference BIMIC 2022, Madrid, 2022.

[2] V. Cera and M. Campi, "Fast Survey Procedures in Urban Scenarios: Some Tests with 360° Cameras," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLVIII-2/W1-2022, pp. 45–50, 2022. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W1-2022-45-2022>

[3] P. Subramanian and M. Gheisari, "Using 360-Degree Panoramic Photogrammetry and Laser Scanning Techniques to Create Point Cloud Data: A Comparative Pilot Study," in Proceedings of the 55th ASC Annual International Conference, Associated Schools of Construction, 2019, pp. 743–750.

[4] J. Vynikal and D. Zahradník, "Floor plan creation using a low-cost 360° camera," The Photogrammetric Record, vol. 38, pp. 520–536, 2023. <https://doi.org/10.1111/phor.12463>

[5] A. Trujillo-Talavera, D. Valverde-Cantero y J. González-Arteaga. (2024). Precisión del escáner LIDAR de dispositivos Apple para toma de datos en edificación. Anales de Edificación, 10(2), 75-80. <https://doi.org/10.20868/ade.2024.5476>

[6] Cupix Inc., "CupixVista: 3D digital twin platform", 2026. [Online]. Available: <https://www.cupixvista.com>

[7] CloudCompare. (2024, January 2024). CloudCompare [Online]. Available: <https://www.cloudcompare.org/presentation.html>