

**Impacto del uso de RPAS en la fotogrametría para la supervisión y control de proyectos
de infraestructura: precisión, eficiencia y aplicabilidad**

Daniel Fernando Guerrero Rodríguez

**Trabajo investigativo para optar el título de Especialista en Interventoría y Supervisión
de la Construcción**

Opción de Grado: Diplomado en Piloto de Operaciones RPAS Fotogrametría

Director

Jairo David Jaimes Parra

Arquitecto

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Especialización en Interventoría y Supervisión de la Construcción

2025

Contenido

Introducción	7
1. Impacto del uso de RPAS en la fotogrametría para la supervisión y control de proyectos de infraestructura: Precisión, eficiencia y aplicabilidad.....	9
1.1 Planteamiento del problema.....	9
1.2 Justificación.....	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo general	12
2. Marco referencial.....	13
2.1 Marco teórico (Sistema de aeronaves pilotadas remotamente RPAS).....	13
2.1.1 Parámetros técnicos y metodológicos en fotogrametría con RPAS.	14
2.1.2 Precisión y eficiencia comparativa del uso RPAS.....	15
2.1.3 Impacto de los RPAS en la supervisión de proyectos de infraestructura	15
2.1.4 Comparación con métodos tradicionales de supervisión.....	16
2.1.5 Desafíos técnicos y regulatorios para la implementación de RPAS en la construcción.....	17
2.2 Marco conceptual	18
2.2.1 Fotogrametría	18
2.2.2 Modelos Digitales del Terreno (DTM) y Modelos Digitales de Superficie (DSM).....	18
2.2.3 Eficiencia operativa	19
2.2.4 Barreras Técnicas y regulatorias en la implementación de RPAS	19
2.3 Marco legal.....	20
3. Resultados.....	22
3.1. Parámetros técnicos y metodológicos en la fotogrametría con RPAS.....	23

IMPACTO DEL USO DE RPAS EN LA FOTOGRAMETRÍA	3
3.2. Precisión y eficiencia comparativa frente a métodos tradicionales.....	24
3.3. Limitaciones, retos operativos y condiciones de implementación.....	25
3.4. Impacto del uso de RPAS en la supervisión e interventoría de obras.....	26
4. Conclusiones.....	29
Referencias.....	31

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Parámetros técnicos y metodológicos en la fotogrametría con RPAS</i>	23
Tabla 2. <i>Precisión y eficiencia comparativa frente a métodos tradicionales</i>	24
Tabla 3. <i>Facilitación del seguimiento remoto y multidisciplinario</i>	28

Resumen

El uso de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) ha transformado la fotogrametría aplicada a la supervisión y control de proyectos de infraestructura, introduciendo mejoras significativas en términos de precisión, eficiencia y aplicabilidad. Este estudio presenta una revisión sistemática de la literatura científica y técnica sobre el impacto de los RPAS en estos procesos, comparando sus ventajas frente a las metodologías tradicionales. Los hallazgos indican que el uso de RPAS permite optimizar la recolección y gestión de información visual georreferenciada, lo que facilita el seguimiento continuo del avance de obra, mejora la toma de decisiones y reduce los costos operativos. Asimismo, se identifican factores clave para su implementación efectiva, tales como el cumplimiento normativo, la capacitación del personal y la disponibilidad tecnológica. Se concluye que los RPAS constituyen una herramienta innovadora y estratégica para una supervisión de obras más eficiente, segura y sostenible.

Palabras clave: RPAS, fotogrametría, construcción, supervisión de obras, infraestructura

Abstract

The use of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) has transformed photogrammetry applied to the supervision and control of infrastructure projects, introducing significant improvements in terms of precision, efficiency, and applicability. This study presents a systematic review of scientific and technical literature on the impact of RPAS in these processes, comparing their advantages over traditional methodologies. The findings indicate that RPAS enhance the collection and management of georeferenced visual information, facilitating continuous monitoring of project progress, improving decision-making, and reducing operational costs. Additionally, key factors for effective implementation are identified, such as regulatory compliance, personnel training, and technological availability. It is concluded that RPAS represent an innovative and strategic tool for achieving more efficient, safer, and more sustainable construction supervision.

Keywords: RPAS, photogrammetry, construction, project supervision, infrastructure

Introducción

El avance tecnológico ha impulsado una transformación significativa en los métodos utilizados para la supervisión y el control de proyectos de infraestructura, siendo la fotogrametría una herramienta clave dentro de estos procesos. No obstante, las metodologías tradicionales presentan limitaciones en términos de precisión, eficiencia y costos operativos, lo que ha motivado la exploración de alternativas tecnológicas más avanzadas. En este contexto, los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) han emergido como una solución innovadora, que permite optimizar la captura, procesamiento y análisis de información geoespacial. Su aplicación en el ámbito de la construcción ha demostrado beneficios relevantes en la mejora de la toma de decisiones, el seguimiento del avance de obra y la gestión de recursos.

Numerosos estudios recientes respaldan la eficacia del uso de RPAS en procesos fotogramétricos aplicados a la supervisión de proyectos, evidenciando mejoras sustanciales en términos de precisión, agilidad operativa y reducción de costos (Colomina & Molina, 2014; Nex & Remondino, 2014). Sin embargo, su implementación aún enfrenta desafíos relacionados con el marco normativo, la inversión tecnológica requerida y la necesidad de capacitar adecuadamente al personal técnico.

Este trabajo tiene como propósito realizar una revisión sistemática de la literatura científica y técnica sobre el impacto del uso de RPAS en la fotogrametría aplicada a la supervisión y control de proyectos de infraestructura, con énfasis en aspectos como la precisión, la eficiencia y la aplicabilidad de estas tecnologías. El objetivo es identificar sus principales ventajas, limitaciones y factores clave para su adopción efectiva en el sector. La relevancia de este estudio radica en su contribución al fortalecimiento de metodologías de supervisión más eficaces, seguras y sostenibles, que beneficien a los profesionales responsables del control de obras. Además, la

incorporación de RPAS ofrece el potencial de reducir la exposición del personal a zonas de riesgo, promoviendo condiciones laborales más seguras en el entorno de la construcción.

Este documento se organiza en varios apartados. En primer lugar, se presenta un marco teórico que contextualiza el uso de RPAS en la fotogrametría y su aplicación en la supervisión de obras. A continuación, se describe la metodología empleada para la revisión sistemática. Posteriormente, se exponen los hallazgos obtenidos, seguidos de una discusión sobre las implicaciones, limitaciones y oportunidades de mejora. Finalmente, se formulan conclusiones y recomendaciones orientadas a futuras aplicaciones de estas tecnologías en el sector de la construcción.

1. Impacto del uso de RPAS en la fotogrametría para la supervisión y control de proyectos de infraestructura: Precisión, eficiencia y aplicabilidad.

1.1 Planteamiento del problema

El monitoreo y control de proyectos de infraestructura son actividades fundamentales para garantizar la calidad, el cumplimiento de especificaciones técnicas y la correcta ejecución de los contratos establecidos. No obstante, estas tareas requieren del uso de herramientas precisas, eficientes y adaptables a distintos contextos topográficos y constructivos. En este sentido, los métodos tradicionales de recolección de información geoespacial, como las estaciones totales, niveles ópticos y sistemas GPS geodésicos, presentan una serie de limitaciones operativas y técnicas que afectan negativamente la eficacia de la supervisión en obras de mediana y gran escala.

Entre los principales problemas de estas metodologías convencionales se encuentran: la necesidad de acceso físico directo al terreno, lo cual puede ser riesgoso o impracticable en zonas con condiciones complejas (pendientes pronunciadas, vegetación densa o áreas en construcción); los altos tiempos de ejecución en campo y procesamiento de datos, que dificultan la actualización frecuente del avance de obra; la dependencia de equipos voluminosos y costosos, así como la limitada cobertura por jornada de trabajo. Además, los errores humanos en la toma de puntos, la dispersión de datos entre actores y la falta de trazabilidad en los informes son aspectos que comprometen la calidad de la información recolectada y, por ende, la toma de decisiones en los procesos de interventoría.

Teniendo en cuenta este panorama, la incorporación de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) en la fotogrametría aplicada a la construcción ha emergido como una alternativa tecnológica con alto potencial transformador. Los RPAS permiten realizar levantamientos

aerofotogramétricos de alta resolución y precisión en tiempos reducidos, generando productos como ortomosaicos, modelos digitales de terreno y reconstrucciones 3D, útiles para el seguimiento detallado de la obra. Su capacidad para acceder a áreas de difícil alcance, documentar visualmente el estado de avance y reducir los tiempos de respuesta operativa, se traduce en una mejora sustancial en la eficiencia, calidad y trazabilidad de la supervisión técnica.

Pese a su creciente adopción en el sector construcción, la implementación de estas tecnologías aún enfrenta retos importantes. Entre ellos se destacan las restricciones normativas para el uso del espacio aéreo, la necesidad de personal capacitado, los costos iniciales de adquisición y mantenimiento de los equipos, y la falta de estandarización en los procesos de captura, procesamiento y análisis de datos. A ello se suma que, si bien existen estudios que documentan casos exitosos del uso de RPAS, aún es escasa la literatura sistematizada que compare de manera rigurosa su desempeño frente a las metodologías tradicionales, particularmente en contextos de interventoría y control técnico de obras civiles por lo que se llega a identificar una necesidad clara de análisis que permita comprender con mayor profundidad el impacto real del uso de RPAS en la fotogrametría aplicada a proyectos de infraestructura, considerando aspectos clave como la precisión métrica alcanzada, la eficiencia operativa lograda y su aplicabilidad bajo diferentes condiciones técnicas, legales y económicas.

Ante esta situación, la presente investigación plantea como pregunta central:

¿Cuál es el impacto del uso de RPAS en la fotogrametría aplicada a la construcción, en términos de precisión, eficiencia y aplicabilidad, dentro de los procesos de supervisión e interventoría de proyectos de infraestructura? Para responder esta cuestión, se propone una revisión sistemática de literatura científica y técnica, que permita identificar de forma crítica y

estructurada las ventajas, limitaciones, criterios técnicos y condiciones de implementación que inciden en el uso efectivo de RPAS en el sector de la construcción.

El desarrollo de esta investigación llega a ser relevante tanto para el ámbito académico como para los profesionales del sector, ya que proporciona un marco de análisis que puede orientar la toma de decisiones en la adopción de tecnologías emergentes para el control de obras. Los hallazgos permitirán entender con mayor claridad el potencial de los RPAS como herramienta de apoyo en la modernización de la supervisión técnica, contribuyendo a mejorar los estándares de calidad, seguridad y eficiencia en los procesos constructivos.

1.2 Justificación

En el contexto actual del sector de la construcción, donde la eficiencia, la precisión y la trazabilidad son pilares fundamentales para el éxito de los proyectos de infraestructura, se hace imprescindible contar con herramientas tecnológicas que optimicen los procesos de supervisión e interventoría. La tradicional dependencia de métodos convencionales para el levantamiento de información geoespacial como estaciones totales, niveles ópticos o sistemas GPS geodésicos ha demostrado ser insuficiente en términos de cobertura, tiempos de respuesta y adaptabilidad a condiciones operativas complejas. Esta situación impacta negativamente en la calidad del control técnico y dificulta la toma de decisiones oportunas.

En este sentido, el uso de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) ha emergido como una alternativa con alto potencial transformador para la supervisión y el seguimiento de obras civiles. Su capacidad para capturar imágenes aéreas georreferenciadas de alta resolución, generar modelos digitales precisos y monitorear avances constructivos en tiempo casi real, representa una ventaja significativa frente a las metodologías tradicionales. No obstante, pese a su

creciente adopción en distintos países y sectores, aún no existe una sistematización amplia y rigurosa que documente de manera comparativa su desempeño en contextos reales de infraestructura, ni se han definido con claridad los factores que determinan su aplicabilidad y efectividad por lo que la presente investigación se justifica por su aporte técnico, académico y práctico. Desde el ámbito técnico, busca identificar parámetros, criterios y condiciones de uso que permitan aprovechar al máximo las capacidades de los RPAS en procesos de fotogrametría aplicada a la construcción. Desde el punto de vista académico, responde a una necesidad de sistematización del conocimiento existente, mediante una revisión crítica de estudios, casos y experiencias documentadas, lo que permitirá construir una base conceptual sólida sobre el impacto de esta tecnología en el control de obras. Y desde una perspectiva práctica, los resultados obtenidos brindarán insumos clave para profesionales, interventores, constructores y entidades contratantes, que deseen implementar soluciones tecnológicas más eficientes, seguras y adaptables a las necesidades de sus proyectos.

El estudio adquiere relevancia en el contexto colombiano y latinoamericano, donde los desafíos en supervisión de obras públicas y privadas siguen siendo una constante, y donde el uso de tecnologías como los RPAS puede representar una oportunidad para mejorar la transparencia, la eficiencia del gasto público, la calidad de la ejecución y la sostenibilidad operativa de los proyectos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar y documentar el impacto del uso de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) en la fotogrametría aplicada a la construcción, a través de una revisión sistemática que

permita evidenciar su precisión, eficiencia y aplicabilidad en los procesos de supervisión e inventoría de proyectos de infraestructura.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar los principales parámetros técnicos y metodológicos empleados en la fotogrametría con RPAS para la supervisión e inventoría en proyectos de infraestructura.
2. Analizar la precisión y eficiencia reportadas en estudios previos sobre el uso de RPAS, en comparación con los métodos tradicionales de fotogrametría aplicados al control de obras.
3. Sistematizar información sobre el proceso de implementación y operatividad de los RPAS en el monitoreo de proyectos de infraestructura, considerando ventajas, limitaciones y buenas prácticas documentadas.
4. Examinar el impacto del uso de RPAS en la optimización del control y seguimiento de obras, con base en estudios de caso, literatura técnica y experiencias reportadas en el sector construcción.

2. Marco referencial

2.1 Marco teórico (Sistema de aeronaves pilotadas remotamente RPAS)

Los sistemas RPAS constituyen una tecnología que ha evolucionado significativamente en la última década, convirtiéndose en una herramienta versátil en múltiples sectores, incluido el de la construcción en cada una de sus etapas, estos sistemas se componen de una aeronave no tripulada un sistema de control en tierra y una conexión de comunicaciones entre ambos. Su capacidad para volar de manera autónoma o semi autónoma y capturar datos geoespaciales en alta resolución ha

abierto nuevas posibilidades en el levantamiento topográfico, la supervisión de obras y el monitoreo de infraestructuras. transformando la manera en que se conciben y ejecutan las labores de supervisión en infraestructura. Más allá de ser una solución operativa, el uso de RPAS representa una transición hacia modelos de gestión más inteligentes y basados en datos, en los que la información precisa y oportuna se convierte en un activo clave para anticipar problemas, optimizar recursos y elevar los estándares de calidad en los proyectos constructivos.

2.1.1 Parámetros técnicos y metodológicos en fotogrametría con RPAS

La fotogrametría con RPAS se basa en la captura de imágenes aéreas de alta resolución mediante drones equipados con sensores ópticos, multiespectrales o LiDAR, con el fin de generar productos cartográficos y modelos tridimensionales precisos. La calidad de estos productos depende de diversos parámetros que deben ser definidos cuidadosamente antes de cada misión. Entre los parámetros más relevantes se encuentran la altura de vuelo, que incide directamente en la resolución del terreno (GSD, Ground Sampling Distance), solape frontal y lateral entre imágenes (normalmente entre 70% y 90%) que asegura una adecuada reconstrucción tridimensional; la configuración del sensor, incluyendo la resolución de la cámara y su estabilidad durante el vuelo; y el uso de puntos de control terrestre (GCPs), que permiten una georreferenciación precisa del modelo generado.

Por otra parte se deben considerar aspectos metodológicos como la planificación del vuelo, que incluye rutas optimizadas, velocidad del RPAS, condiciones de iluminación y viento, el procesamiento de datos mediante el software Pix4D y la generación de productos como orto mosaicos, modelos digitales de superficie (MDS), modelos digitales del terreno (MDT), y nubes de puntos.

La adecuada configuración y ejecución de estos parámetros técnicos permite que la fotogrametría con RPAS sea una herramienta confiable para la supervisión e interventoría de los proyectos, cumpliendo con los estándares de precisión requeridos en las infraestructuras.

2.1.2 Precisión y eficiencia comparativa del uso RPAS

Una de las principales ventajas del uso de RPAS en procesos fotogramétricos es su capacidad para ofrecer alta precisión espacial en menor tiempo y con menores costos operativos frente a los métodos tradicionales, como el uso de estaciones totales o sistemas GNSS de doble frecuencia, estudios recientes han demostrado que, bajo condiciones controladas, los modelos fotogramétricos generados mediante RPAS pueden alcanzar precisiones muy exactas, especialmente cuando se integran con GCPs bien distribuidos y una planificación de vuelo adecuada. En proyectos de supervisión de obras lineales, como carreteras o redes de acueducto, esta precisión permite detectar desviaciones, deformaciones o avances constructivos con alta fidelidad.

Desde el punto de vista de la eficiencia, el uso de RPAS reduce significativamente los tiempos de levantamiento en campo y de procesamiento, permitiendo generar productos cartográficos actualizados en pocas horas o días, en comparación con los procesos tradicionales que pueden tardar semanas. Esto no solo acelera la toma de decisiones en obra, sino que también optimiza los recursos humanos y técnicos disponibles.

2.1.3 Impacto de los RPAS en la supervisión de proyectos de infraestructura

En la supervisión de proyectos de infraestructura, la capacidad de obtener datos precisos y oportunos es fundamental para garantizar la calidad y el cumplimiento de los plazos establecidos.

Los RPAS, con su capacidad para realizar levantamientos topográficos de alta resolución y generar orto mosaicos, permiten un monitoreo continuo y detallado de las obras. Esto no solo facilita la supervisión de la calidad de la ejecución, sino que también mejora la eficiencia operativa al reducir el tiempo necesario para recolectar y procesar datos. De acuerdo con Gómez et al. (2021), los RPAS permiten identificar desviaciones del plan original en etapas tempranas del proyecto, lo que facilita la corrección de errores antes de que se conviertan en problemas mayores. Esto reduce la necesidad de intervenciones físicas en el sitio de trabajo y contribuye a una mayor seguridad para los trabajadores al minimizar su exposición a riesgos en el terreno.

2.1.4 Comparación con métodos tradicionales de supervisión

Los métodos tradicionales de levantamiento topográfico, como el uso de estaciones totales, niveles y GPS geodésico, son técnicas ampliamente utilizadas y validadas en la industria de la construcción. Sin embargo, estos métodos presentan varias limitaciones que impactan la eficiencia y el costo de los proyectos. Según Bernal (2000), uno de los principales inconvenientes es que estos enfoques requieren la presencia física constante de equipos de trabajo en el sitio, lo que genera mayores gastos de desplazamiento y personal. Además, la necesidad de contar con múltiples instrumentos de medición y de realizar verificaciones manuales incrementa el riesgo de errores humanos durante el proceso de recolección de datos, lo que puede afectar la precisión de los resultados obtenidos por lo tanto en este contexto, los RPAS (Sistemas Aéreos No Tripulados) emergen como una alternativa innovadora que supera varias de las limitaciones de los métodos convencionales. Estos dispositivos permiten realizar levantamientos topográficos de grandes áreas en menos tiempo, lo que se traduce en una reducción significativa de los costos operativos. Gracias a su capacidad para capturar imágenes aéreas de alta resolución mediante tecnología

fotogramétrica avanzada, los RPAS pueden generar modelos y mapas topográficos de alta precisión, georreferenciados con exactitud comparable o incluso superior a la que se obtiene mediante el uso de estaciones totales o GPS geodésico (López & Morales, 2020). Esta capacidad de obtener datos precisos de manera rápida no solo optimiza los tiempos de ejecución de los levantamientos, sino que también mejora la calidad de la información, permitiendo una toma de decisiones más ágil y basada en datos confiables.

2.1.5 Desafíos técnicos y regulatorios para la implementación de RPAS en la construcción

A pesar del creciente interés por los RPAS en el sector de la construcción, su adopción no está exenta de desafíos técnicos y regulatorios. En primer lugar, las limitaciones técnicas asociadas a la operatividad de los RPAS, como las dificultades para mantener una precisión constante en condiciones meteorológicas adversas o en terrenos complejos, siguen siendo un reto significativo. La calibración y el mantenimiento de los sistemas de navegación y cámaras de los RPAS requieren conocimientos especializados, lo que genera una brecha de capacitación entre los profesionales de la construcción. Sin una preparación adecuada, los operadores pueden no ser capaces de maximizar el potencial de los RPAS, lo que afectaría la calidad y fiabilidad de los datos obtenidos. En segundo lugar, el marco regulatorio en Colombia, aunque en evolución, presenta restricciones que limitan el uso de RPAS en ciertas zonas y altitudes según las normativas de la Aerocivil, la operación de RPAS en áreas urbanas y cerca de infraestructuras críticas está fuertemente regulada, lo que puede complicar su uso en grandes proyectos de construcción que se desarrollan en estos entornos. Además, la falta de estándares uniformes para la operación y validación de RPAS en la construcción hace que las empresas deban navegar en un entorno incierto, donde cada proyecto podría enfrentar requisitos distintos según su ubicación y naturaleza.

Estos obstáculos técnicos y regulatorios requieren de un esfuerzo coordinado para mejorar la formación de los operadores, establecer protocolos claros y trabajar en la adecuación de las regulaciones a la nueva realidad de la industria. Superar estos desafíos permitirá que los RPAS se integren de manera más fluida en los proyectos de infraestructura, abriendo el camino hacia su adopción generalizada.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica de medición que utiliza imágenes fotográficas para obtener información precisa sobre las dimensiones y la forma de los objetos. En el contexto de RPAS, la fotogrametría implica la toma de imágenes aéreas utilizando cámaras montadas en drones para crear modelos tridimensionales, mapas topográficos y ortomosaicos. Esta técnica permite capturar datos detallados de grandes áreas con alta precisión, siendo más eficiente que los métodos convencionales de levantamiento topográfico.

2.2.2 Modelos Digitales del Terreno (DTM) y Modelos Digitales de Superficie (DSM)

Los Modelos Digitales del Terreno (DTM) y los Modelos Digitales de Superficie (DSM) son representaciones en 3D del terreno, creadas mediante fotogrametría. El DTM se centra solo en las variaciones del terreno, sin incluir objetos o estructuras que estén sobre él, mientras que el DSM refleja todas las elevaciones, como edificios, árboles y otras infraestructuras por lo tanto ambos modelos son clave en los levantamientos topográficos, ya que ofrecen información precisa sobre la forma del terreno y las características de las estructuras, lo que es fundamental para la planificación y ejecución

2.2.3 Eficiencia operativa

La eficiencia operativa en el contexto de RPAS se refiere a la capacidad de los drones para realizar levantamientos topográficos en tiempos más cortos y con menor esfuerzo humano en comparación con los métodos tradicionales los RPAS permiten cubrir grandes áreas en poco tiempo, generando modelos y mapas en tiempo real, lo que reduce los costos operativos y mejora la productividad. Esta eficiencia es particularmente relevante en proyectos de construcción de gran envergadura, donde el monitoreo constante del avance y la precisión en la recopilación de datos son fundamentales.

2.2.4 Barreras técnicas y regulatorias en la implementación de RPAS

Las barreras técnicas y regulatorias en la implementación de RPAS son factores clave que influyen en la adopción y expansión de esta tecnología en diversos sectores. En el ámbito técnico, uno de los principales desafíos es la necesidad de formación especializada para el manejo de drones. Operar un RPAS no solo requiere conocimientos básicos de control del dispositivo, sino también habilidades avanzadas en el procesamiento de datos y la interpretación de las imágenes obtenidas la correcta gestión de los datos geoespaciales, tales como la fotogrametría o los modelos digitales del terreno, demanda una comprensión profunda de los sistemas de información geográfica (SIG) y de las herramientas de software necesarias para procesar y analizar grandes volúmenes de datos.

Además, la integración de RPAS con otras herramientas tecnológicas, como sistemas de mapeo, software de modelado 3D y plataformas de gestión de proyectos, presenta retos adicionales en términos de compatibilidad y eficiencia, lo que requiere inversiones en infraestructura tecnológica y tiempo de adaptación a nivel regulatorio, las normativas aeronáuticas juegan un

papel fundamental al establecer restricciones claras sobre el uso de drones en el espacio aéreo como las normativas emitidas por entidades responsable como Aeronáutica Civil que las han diseñado para garantizar la seguridad en el uso de RPAS, pero también imponen limitaciones en cuanto a las zonas de vuelo, las alturas permitidas, y los requisitos operativos de los drones, como las licencias necesarias para los pilotos o las condiciones climáticas bajo las cuales se puede operar un dron por eso en algunos países, existen regulaciones que restringen el uso de RPAS en áreas urbanas o cerca de infraestructuras críticas, lo que dificulta su implementación en proyectos de construcción o en la supervisión de infraestructuras existentes. Por eso hemos evidenciados que la falta de un marco normativo claro y actualizado también genera incertidumbre entre las empresas, que temen enfrentar sanciones o problemas legales debido a la falta de cumplimiento con las normativas vigentes.

Estas barreras técnicas y regulatorias pueden ralentizar la adopción generalizada de los RPAS, especialmente en los procesos para llevar a cabo una construcción, Sin embargo, a medida que las normativas se ajustan para adaptarse al rápido avance de la tecnología y que los profesionales adquieren las habilidades necesarias, se espera que estas barreras disminuyan, permitiendo una integración más fluida de los RPAS.

2.3 Marco legal

Resolución 471 de 2021; Por medio de la cual se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartografía básica oficial de Colombia – Instituto Geográfico Agustín Codazzi

La Resolución 471 de 2021 del IGAC establece las especificaciones técnicas mínimas que deben cumplir los productos de la cartografía básica oficial en Colombia, como ortoimágenes,

modelos digitales del terreno (MDT) y bases de datos cartográficas vectoriales. Esta norma es especialmente relevante para el uso de RPAS en procesos de fotogrametría, ya que define los estándares de calidad y precisión que deben observarse al generar productos cartográficos con fines oficiales. En el marco de esta investigación, la resolución cobra importancia porque garantiza que los productos generados mediante RPAS en la supervisión de obras civiles se ajusten a parámetros técnicos exigidos por la normativa nacional, fortaleciendo la confiabilidad, interoperabilidad y utilidad de la información geoespacial obtenida con drones para la toma de decisiones en proyectos de infraestructura.

Resolución 1983 de 2023; Por medio de la cual se incorpora la norma ‘RAC 100 – Operación de sistemas de aeronaves no tripuladas UAS’ a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, se modifica una sección y se deroga el Apéndice 13 de la norma RAC 91 de dichos reglamentos.

La Resolución 1983 de 2023; incorpora la norma RAC 100 a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, estableciendo el marco operativo para el uso de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS), entre ellas los RPAS. Esta norma clasifica las operaciones según el tipo de visibilidad: VLOS (visión directa), EVLOS (visión extendida) y BVLOS (más allá de la visión), estableciendo requisitos específicos para cada caso. En el contexto de esta investigación, la RAC 100 es fundamental, ya que regula los aspectos técnicos, operativos y de seguridad bajo los cuales deben ejecutarse las misiones de levantamiento fotogramétrico con RPAS. Su cumplimiento asegura que las actividades realizadas con drones durante la supervisión de proyectos de infraestructura se lleven a cabo de forma legal, segura y bajo estándares aeronáuticos, reduciendo riesgos y posibilitando la trazabilidad de los datos adquiridos en campo.

Resolución 191 de 2025; Por la cual se modifica íntegramente la norma RAC 211 – Servicios de tránsito aéreo de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia.

La Resolución 191 de 2025 modifica íntegramente la norma RAC 211, relacionada con los servicios de tránsito aéreo, y tiene implicaciones directas en la operación de RPAS al establecer condiciones de integración segura en el espacio aéreo controlado. Esta normativa es crucial en proyectos de infraestructura que se desarrollan cerca de zonas urbanas, aeropuertos o espacios restringidos, donde es indispensable coordinar las operaciones de drones con las autoridades aeronáuticas para evitar interferencias y accidentes. En el marco del presente estudio, esta norma resalta la importancia de planificar las misiones RPAS considerando restricciones aéreas, rutas de vuelo, alturas permitidas y comunicaciones con servicios de control aéreo, aspectos esenciales para garantizar tanto la legalidad como la seguridad operacional durante la adquisición de datos geoespaciales para supervisión de obras.

3. Resultados

Los principales hallazgos obtenidos a partir de la revisión sistemática, centrada en el uso de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) en la fotogrametría aplicada a la supervisión y control de proyectos. Los resultados se organizan conforme a los objetivos específicos del estudio, permitiendo identificar y analizar aspectos técnicos, operativos y aplicativos de esta tecnología. Asimismo, se presenta información comparativa con métodos tradicionales, así como ventajas, limitaciones e impactos documentados en diversos contextos. Estos hallazgos permiten valorar con mayor profundidad el potencial de los RPAS como herramienta para optimizar procesos de interventoría en el sector construcción.

3.1. Parámetros técnicos y metodológicos en la fotogrametría con RPAS

A partir de la revisión sistemática realizada, se identificaron los principales parámetros técnicos y metodológicos empleados en la fotogrametría aérea mediante RPAS, utilizados en procesos de supervisión e interventoría de proyectos de infraestructura.

Entre los parámetros más frecuentemente reportados se encuentran:

- *Altura de vuelo:* entre 50 y 120 metros, dependiendo de la resolución deseada y las condiciones del terreno.
- *Resolución GSD (Ground Sampling Distance):* valores entre 1.5 cm/píxel y 5 cm/píxel para trabajos de alta precisión.
- *Solape de imágenes:* solape frontal entre 70% y 85%, y solape lateral entre 60% y 75%.
- *Tipo de sensores:* cámaras RGB de 20 MP o más, y en algunos casos sensores multiespectrales o térmicos.
- *Software de procesamiento:* Pix4D, Agisoft Metashape, DroneDeploy, OpenDroneMap.

Además, se reportó el uso de puntos de control terrestre (GCPs) como práctica común para mejorar la precisión absoluta del modelo generado, especialmente en proyectos donde se requiere georreferenciación precisa. La planificación del vuelo, condiciones climáticas, y protocolos de captura fueron variables determinantes para asegurar la calidad de los productos fotogramétricos obtenidos.

Tabla 1. Parámetros técnicos y metodológicos en la fotogrametría con RPAS

Parámetro Técnico	Rango/Valor común	Observaciones
Altura de vuelo	50 – 120 metros	Depende del GSD deseado y la seguridad aérea
Resolución GSD	1.5 – 5 cm/píxel	Mejores valores con vuelos bajos y buena iluminación
Solape frontal	70% – 85%	Recomendado para buena cobertura y reconstrucción 3D

Parámetro Técnico	Rango/Valor común	Observaciones
Solape lateral	60% – 75%	Asegura densidad adecuada de puntos de vista
Sensor utilizado	Cámara RGB de 20 – 42 MP	Algunas aplicaciones usan cámaras multiespectrales o térmicas
Puntos de control terrestre	5 – 10 por hectárea	Mejora significativamente la precisión métrica
Software de procesamiento	Pix4D, Agisoft, DroneDeploy	Todos generan ortofotos, MDT, nubes de puntos y modelos 3D

3.2. Precisión y eficiencia comparativa frente a métodos tradicionales

En los estudios revisados, se observó una mejora significativa en cuanto a eficiencia operativa y precisión métrica al comparar el uso de RPAS con métodos tradicionales como la estación total, nivel topográfico o GPS diferencial. En cuanto a precisión, los resultados indican que los RPAS pueden alcanzar errores medios (RMSE) entre 2 y 5 cm en coordenadas planimétricas, y entre 4 y 10 cm en altimetría, dependiendo del equipo, software y condiciones del terreno. Aunque en algunos casos los métodos convencionales ofrecen mayor precisión puntual (hasta 1 mm en coordenadas), la diferencia es compensada por la mayor densidad de datos y la cobertura aérea que ofrecen los RPAS.

Con los parámetros tiempo y costo, los RPAS permiten reducir los tiempos de trabajo de campo en más del 60%, especialmente en obras lineales, terrenos accidentados o de difícil acceso. Igualmente, se evidenció una reducción promedio del 30 al 40% en los costos operativos, considerando ahorro en jornadas de personal y equipos especializados.

Tabla 2. *Precisión y eficiencia comparativa frente a métodos tradicionales*

Criterio	RPAS	Métodos tradicionales	Observaciones
Precisión planimétrica	2 – 5 cm	0.5 – 2 cm (GPS/Estación Total)	La densidad de puntos del RPAS compensa la menor precisión puntual

Criterio	RPAS	Métodos tradicionales	Observaciones
Precisión altimétrica	4 – 10 cm	0.5 – 5 cm	Puede mejorar con GCPs bien distribuidos
Cobertura en campo	Hasta 100 ha/día	2 – 5 ha/día	Depende del tipo de obra y del equipo utilizado
Tiempo de procesamiento	1 – 3 días (con nube)	3 – 7 días	RPAS permite procesos paralelos y en la nube
Costo operativo	Medio	Alto	Mayor número de personal y jornadas en métodos tradicionales
Requiere visibilidad	Sí	Sí (menos dependiente)	RPAS requiere buena visibilidad aérea
Condiciones climáticas	Afecta significativamente	Afecta moderadamente	Viento y lluvia detienen vuelos con RPAS

3.3. Limitaciones, retos operativos y condiciones de implementación

La implementación de RPAS en obras de infraestructura ha estado condicionada por factores operativos, normativos y técnicos que limitan su uso generalizado, especialmente en entornos urbanos o áreas con restricciones aéreas.

Entre las principales limitaciones identificadas se encuentran:

- *Restricciones normativas:* en varios países, incluyendo Colombia, la operación de drones requiere permisos específicos de la Aeronáutica Civil, especialmente en zonas pobladas.
- *Condiciones meteorológicas:* el viento fuerte, la lluvia o la baja visibilidad afectan directamente las condiciones de vuelo.
- *Autonomía de vuelo:* la mayoría de los RPAS revisados tienen una autonomía entre 20 y 35 minutos, lo que requiere una buena logística y planeación para coberturas amplias.
- *Capacitación del personal:* la necesidad de pilotos certificados y personal con conocimiento en fotogrametría es fundamental para garantizar buenos resultados.
- *Costo inicial de inversión:* aunque se reducen costos operativos, la adquisición de equipos y software representa una barrera de entrada para muchos proyectos pequeños.

Teniendo en cuenta estos desafíos, se identificaron buenas prácticas que han facilitado su implementación, tales como: protocolos operativos estandarizados, uso de vuelos automáticos programados, plataformas colaborativas en la nube y generación periódica de productos fotogramétricos para el seguimiento visual y técnico de la obra.

3.4. Impacto del uso de RPAS en la supervisión e interventoría de obras.

El análisis de estudios de caso, informes técnicos y literatura científica demuestra que la implementación de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) en el ámbito de la supervisión e interventoría ha generado transformaciones significativas en la gestión de proyectos de infraestructura. Estas tecnologías, al integrarse con herramientas fotogramétricas, han potenciado la capacidad de control, seguimiento y documentación en obras de diversa índole, incluyendo vías, estructuras hidráulicas, edificaciones verticales, urbanismo y espacios públicos.

Los principales impactos observados se pueden resumir en los siguientes aspectos clave:

a. Mejora en la trazabilidad del avance de obra

Mediante productos como ortomosaicos, modelos digitales de superficie (MDS), modelos digitales de terreno (MDT) y nubes de puntos, los RPAS permiten registrar visualmente y con alta precisión cada fase constructiva. Esta documentación se puede actualizar de forma periódica (diaria, semanal o mensual), generando un historial geoespacial que permite verificar si las actividades se están ejecutando conforme a lo planeado. A diferencia de las bitácoras convencionales, este registro visual reduce ambigüedades y mejora la capacidad de auditoría técnica.

b. Reducción de errores en mediciones y reportes técnicos

Gracias a la densidad y precisión de los datos capturados con RPAS, es posible realizar cálculos volumétricos, mediciones lineales y análisis topográficos con márgenes de error mínimos. Estas mediciones automatizadas disminuyen el riesgo de errores humanos frecuentes en métodos manuales y aumentan la confiabilidad de los reportes de avance. Esto es especialmente relevante en actividades como el control de cortes y rellenos, movimientos de tierra o cubicaciones para estimaciones financieras.

c. Optimización del tiempo de respuesta técnica

Uno de los beneficios más significativos del uso de RPAS es la reducción del tiempo requerido para la toma y procesamiento de datos. Mientras que los métodos tradicionales pueden requerir varios días para completar un levantamiento topográfico detallado en áreas extensas, los RPAS pueden obtener información precisa en cuestión de minutos u horas, dependiendo de las condiciones. Esto facilita la emisión de diagnósticos rápidos ante cambios o contingencias, mejorando la eficiencia en la toma de decisiones.

d. Fortalecimiento de la transparencia contractual y la trazabilidad documental

Los productos generados por RPAS, al estar georreferenciados y fechados, constituyen evidencia objetiva que puede anexarse a los informes de interventoría. Esto refuerza la transparencia en los procesos contractuales, ya que permite sustentar reclamaciones, estimaciones y certificaciones con elementos visuales verificables. Además, mejora el control por parte de entes de fiscalización, reduciendo la posibilidad de inconsistencias o fraudes en el reporte del avance físico y financiero.

e. Facilitación del seguimiento remoto y multidisciplinario

La integración de datos capturados por RPAS en plataformas colaborativas (como GIS, BIM o software de seguimiento de obra) ha permitido que distintos actores del proyecto

interventores, contratistas, supervisores, diseñadores y entidades contratantes puedan hacer seguimiento sin necesidad de estar presencialmente en el sitio. Esta capacidad ha cobrado especial importancia en escenarios postpandemia y en zonas de difícil acceso o con restricciones de seguridad.

La adopción de RPAS ha permitido una evolución en la forma de supervisar y controlar obras de infraestructura. Más allá de una herramienta tecnológica, su incorporación ha implicado un cambio de paradigma en la gestión técnica: de métodos estáticos, lentos y altamente dependientes de mediciones manuales, a modelos dinámicos, digitales y colaborativos. Esto se traduce en proyectos más eficientes, mejor documentados, con menor margen de error y con un mayor nivel de control desde las fases iniciales hasta la entrega final.

Tabla 3. Facilitación del seguimiento remoto y multidisciplinario

Aspecto Evaluado	Métodos Tradicionales	Uso de RPAS	Impacto Observado
Trazabilidad del avance de obra	Registros manuales, fotografías dispersas, bitácoras sin georreferenciación	Ortomosaicos, modelos 3D y cronologías visuales georreferenciadas	Mayor precisión y claridad en el seguimiento de actividades constructivas
Precisión en mediciones y reportes	Alta dependencia de mediciones manuales con posibles errores y duplicidad de visitas	Captura de datos milimétricos, generación de modelos digitales y cálculos automatizados	Reducción de errores, alta confiabilidad técnica en los informes
Tiempo de respuesta técnica	Levantamientos lentos, especialmente en terrenos grandes o de difícil acceso	Recolección y procesamiento de datos en tiempos reducidos	Aceleración en la toma de decisiones técnicas y gestión de contingencias
Transparencia contractual y documental	Información fragmentada o poco verificable	Evidencia visual objetiva, georreferenciada y con respaldo cronológico	Mayor respaldo documental para supervisores, contratistas y entes de control
Seguimiento remoto y colaborativo	Supervisión dependiente de visitas presenciales continuas	Integración con plataformas digitales que permiten visualización remota	Participación activa de todos los actores sin necesidad de desplazamiento físico constante
Accesibilidad y cobertura	Limitada por el terreno, logística y recursos humanos	Acceso aéreo a zonas complejas o de difícil acceso	Cobertura completa del área de obra, incluso en sitios peligrosos o restringidos

Aspecto Evaluado	Métodos Tradicionales	Uso de RPAS	Impacto Observado
Frecuencia de actualización de datos	Baja frecuencia por altos costos y disponibilidad limitada de equipos	Posibilidad de monitoreos periódicos programados (semanales, quincenales, mensuales)	Seguimiento continuo del avance del proyecto y detección temprana de desviaciones

Los hallazgos presentados en este capítulo reflejan una transformación gradual pero firme en la forma como se concibe y ejecuta la supervisión de obras en el ámbito de la infraestructura. La incorporación de RPAS en los procesos de captura y análisis de información geoespacial no solo ha introducido nuevas dinámicas tecnológicas, sino que también ha replanteado prácticas tradicionales, revelando oportunidades claras de mejora en eficiencia, precisión y capacidad de respuesta, más allá de la evidencia técnica recopilada, los resultados muestran que el uso de estas tecnologías no es simplemente una tendencia, sino una necesidad emergente frente a los retos actuales del sector: proyectos cada vez más complejos, exigencias de transparencia, y la búsqueda constante de mayor control con menos recursos.

4. Conclusiones

La implementación de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) en procesos de fotogrametría representa una evolución necesaria en los métodos de supervisión e interventoría de obras civiles. Esta tecnología ha demostrado ser una solución eficiente para capturar información geoespacial precisa, reducir los tiempos de ejecución y facilitar la generación de productos técnicos como ortomosaicos, modelos digitales del terreno y nubes de puntos. En comparación con los métodos tradicionales, como la estación total, el nivel óptico o el GPS geodésico, los RPAS ofrecen una capacidad de cobertura mucho mayor, menor dependencia del terreno y una considerable reducción de la exposición del personal en campo.

En Colombia, la necesidad de adoptar tecnologías como los RPAS es aún más urgente. Las condiciones geográficas del país, con obras ubicadas en terrenos montañosos, zonas rurales de difícil acceso o regiones con riesgos de orden público, hacen que los métodos convencionales enfrenten limitaciones operativas y logísticas importantes. La fotogrametría con RPAS se presenta como una alternativa viable y adaptable que permite realizar seguimiento técnico con mayor frecuencia, precisión y respaldo visual, aportando a una mejor toma de decisiones tanto en campo como en oficinas de control, al comparar ambas metodologías, es evidente que los enfoques tradicionales, aunque precisos en mediciones puntuales, son limitados en términos de cobertura, rapidez y adaptabilidad. Por su parte, los RPAS permiten monitoreos sistemáticos, incluso en grandes extensiones, y ofrecen una ventaja clara al integrar imágenes de alta resolución con análisis geoespacial. Esta capacidad no solo incrementa la productividad técnica, sino que aporta un nivel de trazabilidad y transparencia que difícilmente se logra con registros manuales y bitácoras tradicionales.

Aunque la implementación de RPAS requiere una inversión inicial en equipos, software y capacitación, los costos operativos a mediano plazo son más bajos que los de los levantamientos convencionales. Se reduce la necesidad de múltiples desplazamientos al sitio, se optimiza el tiempo del personal técnico y se obtienen productos con mayor valor agregado. Esta relación costo-beneficio es especialmente atractiva en proyectos públicos, donde la eficiencia y la rendición de cuentas son factores críticos. Por ende uso de esta tecnología también favorece la modernización del sector construcción en Colombia, al alinearse con estándares internacionales y abrir espacio para la integración con sistemas BIM, SIG y plataformas colaborativas. Esto no solo mejora los procesos técnicos, sino que permite construir modelos de gestión más robustos, sostenibles y conectados con el entorno digital.

Referencias

- Gómez, F., Martínez, J., & Duarte, L. (2021). *Aplicación de drones en levantamientos topográficos: precisiones y ventajas operativas*. *Revista de Ingeniería y Geomática*, 14(2), 45–56.
- González, D., & Rivera, M. (2020). *Comparación entre métodos tradicionales y levantamiento con RPAS en obras civiles*. *Revista Colombiana de Geomática*, 10(1), 25–39.
- Insight Construction. (2023). *Digitalización de obras: drones y fotogrametría para una construcción más segura y eficiente*. Recuperado de <https://www.insightconstruction.tech/drones-construccion/>
- López, A., & Morales, J. (2020). *Evaluación de la precisión en modelos digitales de terreno generados con drones*. *Revista de Teledetección y SIG*, 8(3), 77–91.
- Martínez, R., & López, H. (2022). *Supervisión de proyectos de infraestructura mediante drones: retos y beneficios*. *Revista Ingeniería y Sociedad*, 11(1), 12–25.
- Metaverso Pro. (2023). *RPAS, inteligencia artificial y BIM: integración de tecnologías en construcción*. Recuperado de <https://www.metaversopro.com/rpas-bim-ai/>
- Pérez, S., & Hernández, C. (2021). *Barreras técnicas y regulatorias para la implementación de RPAS en ingeniería civil*. *Cuadernos de Tecnología y Territorio*, 6(2), 90–104.
- Soler, A., & Pujades, L. (2019). *Topografía moderna: técnicas, instrumentos y evolución tecnológica*. Editorial Síntesis.
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (2015). *Circular Reglamentaria 002 de 2015: Reglas para el uso de sistemas de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS)*. Bogotá: Aerocivil.

Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (2020). *Reglamento Aeronáutico de Colombia – RAC 91*. Bogotá: Aerocivil.