

METODOLOGÍAS DE INSPECCIÓN VISUAL CON DRONES PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS EN CONSTRUCCIONES CIVILES DE DIFÍCIL
ACCESO: ANÁLISIS Y APLICACIONES REALES



DEYBI NICOLÁS ORTIGOZA QUIROGA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

METODOLOGÍAS DE INSPECCIÓN VISUAL CON DRONES PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS EN CONSTRUCCIONES CIVILES DE DIFÍCIL
ACCESO: ANÁLISIS Y APLICACIONES REALES

DEYBI NICOLÁS ORTIGOZA QUIROGA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Mg. BREGY HASSLER CHOQUE JIMÉNEZ

Magíster en Estructuras

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. LUIS FERNANDO DIAZ CRUZ

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Dedicatoria

A mi madre, Maribel Quiroga, por su apoyo constante y sabias palabras que siempre han sido mi guía, a mi querido hermano, Heiner Mauricio, por su aliento y motivación, a mi amada novia, Nicoole Alexandra, por ser mi motor en los momentos difíciles y a toda mi familia que me apoyo para cumplir este gran logro.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi profunda gratitud a mi tutor, Bregy Choque, por su orientación experta y apoyo a lo largo de este proyecto, a mi antiguo tutor, Alexander Olarte, cuyo acompañamiento y enseñanzas dejaron huella en mi desarrollo académico, su orientación inicial sentó las bases para el éxito de este proyecto, asimismo agradecer a Dayarith Nova y German Chicangana por sus aportes y asesoramientos técnicos. La culminación de este proyecto ha sido posible gracias al apoyo desinteresado de cada una de estas personas, a todos ellos mis más sinceros agradecimientos.

Contenido

	Pág.
Resumen	10
Abstract.....	11
1. Formulación del Problema	12
2. Objetivo General	13
2.1. Objetivos Específicos.....	13
3. Justificación.....	14
4. Estado del Arte	16
4.1. Estado del Arte del uso de drones.....	16
4.2. Estado del arte del uso de drones en ingeniería	17
4.2.1 Ortofotos	18
4.2.2 Toma Fotográfica.....	18
4.3. Estado del Arte De Aplicaciones en el área de la Construcción.....	18
4.3.1 Tecnologías Avanzadas y Procesamiento de Imágenes.....	18
4.3.2 Aplicaciones y Casos de Estudio	19
4.3.3 Limitaciones y Desafíos Actuales.....	19
5. Análisis de trabajos de inspección de patologías en estructuras civiles con la ayuda de drones	19
5.1. Trabajo 1: Desafíos en la Inspección de Puentes Usando Sistemas Aéreos No Tripulados Pequeños: Resultados y Lecciones Aprendidas (Dorafshan, Maguire, Hoffer, & Coopm, 2017)	19
5.2. Trabajo 2: Metodología de inspección de puentes habilitada por drones y su aplicación (Seo, Spencer Jr, & Kim, 2019).....	21
5.3. Trabajo 3: Detección Automatizada Basada en Visión de Grietas para Inspección de Puentes (Yeum & Dyke, 2015).....	23
5.4. Trabajo 4: Evaluación de la usabilidad de la tecnología de drones como herramientas de inspección de seguridad (Irizarry, Gheisari, & Walker, Usability assessment of drone technology as safety inspection tools, 2012)	25

5.5.	Trabajo 5: Integrando UAV y BIM para la inspección visual automatizada de edificios: una revisión sistemática y marco conceptual (Zhang, Zou, & Dimyadi, 2022)	28
5.6.	Trabajo 6: Inspeccionando Edificios Usando Drones y Visión Computacional: Un Enfoque de Aprendizaje Automático para Detectar Grietas y Daños (Munawar, Ullah, Heravi, & Thaheem, 2022)	29
5.7.	Trabajo 7: Nuevas tendencias en la inspección visual de edificios y estructuras: Estudio para el uso de drones (Falorca, y otros, 2021)	31
6.	Análisis de la información.....	34
7.	Conclusiones	40
8.	Referencias	42

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. Tabla de resumen de costos del uso de drones en puentes.	34
Tabla 2. Tabla de resumen de costos del uso de drones en edificaciones.....	36

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Obra Santa Sofía vuelo dron 05 marzo.	15
Figura 2. Tipos de Drones.....	16
Figura 3. Detección de grietas del puente de pruebas del laboratorio SMASH	20
Figura 4. Dron DJI Phantom 4 se utilizado en la investigación	22
Figura 5. Ejemplos de imágenes de canal de un perno: (a) original en RGB (en escala de grises), (b, c) componentes U y V en LUV, (d, e) componentes H y S en HSV, (f) gradiente, y (g-l) histograma del gradiente con 6 orientaciones (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°).....	24
Figura 6. Interacción indirecta entre trabajador de la construcción y gerente de seguridad a través de la tecnología de drones.....	26
Figura 7. Interfaz de trabajo UAV-BIM hacia la inspección visual automatizada de edificios. ..	28
Figura 8. Imágenes representativas de grietas incluidas en el conjunto de datos de grietas y la segmentación utilizada.....	30
Figura 9. Caso de estudio - edificio de gran altura habitacional.....	32
Figura 10. Análisis de costos del uso de drones en puentes.	35
Figura 11. Análisis de costos del uso de drones en edificaciones.	36

Resumen

Este documento presenta un análisis detallado de las metodologías de inspección visual con drones para la identificación de patologías en construcciones civiles de difícil acceso. El objetivo principal es evaluar los beneficios y limitaciones de cada metodología, identificando posibles desafíos y soluciones que han surgido durante su implementación en contextos prácticos. El documento incluye una revisión exhaustiva de la literatura, estudios de caso y comparaciones de metodologías en términos de precisión, costo, tiempo requerido y facilidad de implementación. Además, se presentan diferentes trabajos específicos que demuestran la eficacia del uso de drones para la inspección visual de edificios y puentes. En resumen, este documento presenta una visión general de cómo la tecnología de drones puede revolucionar la forma en que se realizan las inspecciones en la industria de la construcción.

Palabras Clave: drones, vehículos no tripulados, inspección visual, patologías.

Abstract

This document provides a detailed analysis of visual inspection methodologies using drones for identifying pathologies in hard-to-reach civil constructions. The main objective is to evaluate the benefits and limitations of each methodology, identifying potential challenges and solutions that have arisen during their implementation in practical contexts. The document includes a comprehensive review of the literature, case studies, and methodology comparisons in terms of accuracy, cost, required time, and ease of implementation. Furthermore, it presents various specific works that demonstrate the effectiveness of using drones for visual inspection of buildings and bridges. In summary, this document offers an overview of how drone technology can revolutionize the way inspections are conducted in the construction industry.

Key Word: drones, unmanned vehicles, visual inspection, pathologies.

1. Formulación del Problema

En el contexto de la ingeniería civil, es crucial garantizar la seguridad, funcionalidad y tiempo de vida de las infraestructuras construidas. Uno de los desafíos más significativos para lograrlo es la identificación temprana de patologías o daños estructurales, ya que una detección tardía de estas podría resultar en costosas reparaciones, tiempos prolongados de inactividad y posibles riesgos de seguridad (Samsonov et al., 2018). Sin embargo, esta detección se complica en áreas de difícil acceso, lo que genera una incertidumbre de la completa detección de patologías de las estructuras al momento de realizar una inspección visual. A medida que el mundo de la construcción avanza hacia soluciones más tecnológicas y digitales, surge la necesidad de adoptar herramientas más eficientes y precisas para llevar a cabo las inspecciones estructurales (Dandois y & Ellis, 2010).

El uso de drones o Vehículos Aéreos No Tripulados que en sus siglas en inglés se lee Unmanned Aerial Vehicle (UAV), ha demostrado ser una herramienta valiosa en múltiples campos de estudio y aplicación. En el ámbito de la ingeniería civil, aún se están explorando su potencial y limitaciones. A pesar de que los drones se han utilizado con éxito en mapeo y topografía, su aplicación en la inspección visual de patologías en construcciones civiles de difícil acceso representa un área menos explorada (Elaksher y & Bethel, 2012).

Históricamente, la inspección manual ha sido el método predominante para evaluar el estado de las estructuras civiles. Sin embargo, este método a menudo es ineficiente, costoso y, en algunos casos, peligroso, especialmente cuando se trata de inspeccionar áreas de difícil acceso (Turner et al., 2015).

Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo pueden las metodologías basadas en drones ser implementadas eficazmente para la inspección visual de patologías de construcciones civiles de difícil acceso, y cómo estas metodologías se comparan con los métodos tradicionales en términos de eficiencia, precisión y seguridad?.

2. Objetivo General

Analizar y presentar las metodologías existentes para la inspección visual de patologías en construcciones civiles de difícil acceso mediante drones, con el propósito de determinar su viabilidad y eficacia en contextos reales.

2.1. Objetivos Específicos

- Realizar una revisión exhaustiva de la literatura para identificar las principales metodologías propuestas y utilizadas en la inspección de patologías en estructuras civiles con la ayuda de drones.
- Estudiar aplicaciones reales y estudios de caso que hayan implementado dichas metodologías, con el fin de recopilar datos sobre su aplicabilidad y resultados obtenidos.
- Comparar las metodologías identificadas en términos de precisión, costo, tiempo requerido, y facilidad de implementación, basándose en las experiencias reales registradas.
- Evaluar los beneficios y limitaciones de cada metodología, identificando posibles desafíos y soluciones que han surgido durante su implementación en contextos prácticos.
- Proponer recomendaciones para ingenieros civiles y profesionales relacionados, sobre qué metodología o combinación de metodologías podrían ser las más adecuadas según el tipo de estructura y el contexto específico de la obra civil.

3. Justificación

El campo de la ingeniería civil se centra en la creación y mantenimiento de infraestructuras civiles que juegan un papel vital en el bienestar y desarrollo socioeconómico de las comunidades. Asegurar la integridad y funcionalidad de estas infraestructuras es crucial, por lo tanto, una inspección eficiente puede desempeñar un papel vital en la identificación temprana de problemas y patologías, permitiendo intervenciones oportunas, reduciendo potencialmente los costos y riesgos asociados (Ko y Ni, 2005).

Los métodos tradicionales de inspección de estructuras, especialmente en áreas de difícil acceso, conllevan desafíos significativos en términos de seguridad, precisión y costos (Yeum y Dyke, 2015). Las inspecciones manuales pueden ser peligrosas, requiriendo equipo especializado y exponiendo al personal a riesgos potenciales, y, en muchos casos, estos métodos no proporcionan el nivel de detalle necesario para una evaluación precisa (Cheng et al., 2018).

El uso de drones para la inspección de estructuras representa una evolución en las técnicas de monitoreo, ofreciendo una mayor cobertura en un tiempo reducido y minimizando los riesgos asociados con las inspecciones manuales (Dorafshan et al., 2018). Además, la capacidad de los drones para acceder a lugares de difícil alcance y capturar datos de alta resolución en tiempo real presenta un potencial significativo para transformar la forma en que se llevan a cabo las inspecciones de estructuras en la ingeniería civil (Irizarry et al., 2012).

Entre sus diferentes aplicaciones se encuentran levantamientos topográficos, comprobación de estructuras, comprobaciones de terrenos, revisión de infiltraciones, obtención de datos precisos, datos sistemáticos de la obra en tiempo real, control visual, disponibilidad de imágenes en alta resolución, análisis inmediatos del estado de los materiales, seguimientos de las obras como se observa en la **Figura 1**, entre otros. Estas ventajas permiten intervenir las obras a tiempo, sobre los posibles errores, gracias a la información que se recolecta de forma rápida (Arévalo Flores et al., 2019). Esa versatilidad que posee el dron ayuda enormemente a la ingeniería, por tal motivo es de vital importancia avanzar en tecnologías como esta que están a la vanguardia de la digitalización y la globalización (Anderson, 2014).

Figura 1 Obra Santa Sofía vuelo dron 05 marzo.



Nota: Tomado de Flórez et al. (2019)

Considerando estos avances, ventajas y diferentes aplicaciones que brinda el uso de los drones en el campo de la construcción de infraestructura civil, es imperativo explorar y documentar metodologías basadas en drones para la inspección de patologías en construcciones civiles de difícil acceso, no solo para mejorar la eficiencia y precisión, sino también para garantizar la seguridad y reducir los costos asociados con las inspecciones tradicionales, con el fin de que los ingenieros puedan identificar los diferentes ejemplos de aplicaciones exitosas y aplicar estas metodologías de la mejor manera.

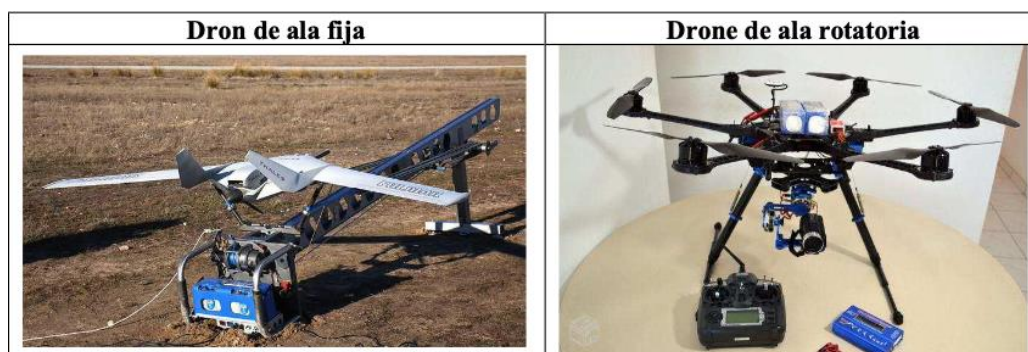
4. Estado del Arte

4.1. Estado del Arte del uso de drones

La tecnología de los drones, de acuerdo a Brooks (2012), inicia desde el año 1917, cuando la Marina de los Estados Unidos usa un estabilizador giroscópico para convertir un biplano en el primer UAV controlado por radio. Actualmente, estos aparatos pueden ser controlados utilizando un teléfono inteligente (Barajas Hernandez, 2021).

Los dos tipos principales de aviones no tripulados son el multicopter y el de ala fija como se observa en la **Figura 2**. Los multicopters son aquellos que presentan hélices en sus partes externas del fuselaje, y son capaces de volar a muy bajas altitudes y mantenerse en posición vertical durante largo tiempo. Estos aparatos despegan siempre de manera vertical, su forma es semejante a un helicóptero, y se desplazan horizontalmente a altas velocidades. Los multicopters vienen siendo usados para aplicaciones tales como la fotografía aérea, las inspecciones de líneas eléctricas, la realización de videos aéreos y la fotografía detallada de objetos (Watts et al., 2012). Los drones de ala fija son aquellos que tienen la forma de un avión con un fuselaje, un ala principal y una cola, pueden volar a más altitud y sirven para aplicaciones de mayor alcance, tales como el levantamiento topográfico y la cartografía de grandes regiones, o el control de grandes infraestructuras como diques (González Herrera et al., 2019).

Figura 2 Tipos de Drones



Nota: Tomado de Fernández et al. (2016)

Para hablar de la existencia de los drones, se abarca el inicio de ella cuando los hermanos Wright inventaron y volaron el primer aeroplano de forma exitosa en el año 1903, eso solo fue el

inicio; en 1923 los británicos lograron guiar un dron con radiofrecuencia para destruir zepelines alemanes (Bonilla Yoza et al., 2021). La segunda guerra mundial fue la causante de usar este tipo de tecnologías, enviando aeroplanos no tripulados con cámaras para el reconocimiento de los campos de concentración.

Con la autorización del presidente de los Estados Unidos Ronald Reagan en el siglo XX, se implementó el GPS, una constelación revolucionaria de 24 satélites en órbita emitiendo señales de radio, esto brindaría al usuario localización, velocidad y hora, con una exactitud impresionante. Neal Blue, presidente de General Atomics, empresa dedicada a la creación de aeronaves y fabricante del UAV Predator, decidió implementar esta tecnología en sus aeronaves (Castañeda Bastida, 2019) En el 2006 la Administración federal de aviación DE ESTADOS UNIDOS – FAA, otorgó permisos comerciales para drones (AreaDron, 2020).

4.2. Estado del arte del uso de drones en ingeniería

El uso de drones en la ingeniería abarca la cartografía, la topografía, la hidrología, la ecología, el análisis de fallas estructurales y para cada una de esas aplicaciones se usa un dron diferente equipado con herramientas adecuadas según su uso, por ejemplo, para hacer un levantamiento topográfico se puede usar un RPA como el Discover Multispectral AG-01 tipo multirrotor. Para este tipo de dron, la estructura de su cuerpo está adecuado para este tipo de trabajos pesados de campo, está fabricado en fibra de carbono, característica que otorga un peso bajo y una alta rigidez, de tal manera que permite instalarle más herramientas si el estudio topográfico lo requiere.

El uso más frecuente es la inspección de infraestructuras, diagnóstico de paneles solares y tendidos eléctricos, detección de fugas térmicas en edificios, a través de esta cámara se pueden reconocer los primeros signos de deterioro de la infraestructura y evitarlos, esta herramienta puede ayudar al mantenimiento pronto de las estructuras. Las cámaras térmicas para drones están calibradas para trabajar con el infrarrojo térmico entre 8 y 14 micras (Aerial Insights, 2019).

La metodología más frecuente del dron en Ingeniería Civil es la inspección directa de mosaicos de fotografías y ortofotografías mencionadas a continuación:

4.2.1 Ortofotos

Una ortofoto es un mapa hecho a partir de fotos, de manera que todos los detalles comprendidos en el terreno están en una perfecta posición planimétrica (x,y). La ortofoto se genera a partir del modelo digital de superficie y de las fotografías orientadas, el programa para generar esto, ha de calcular pixel a pixel de la ortofoto cual es el color que le corresponde. El terreno fotografiado desde un dron no es plano paralelo al sensor que capta la imagen, por lo que la información recibida está distorsionada por ello es necesario corregir en la foto original los desplazamientos debidos a la inclinación del eje óptico de la cámara en el momento de la toma fotográfica y el desplazamiento radial debido al relieve de la superficie topográfica (Villar Notario, 2019).

4.2.2 Toma Fotográfica

Reconstrucción 3D de edificio con RPA requiere un plan de adquisición de imágenes en específico, se divide en 2 vuelos, el primer vuelo se realiza alrededor de la construcción con la cámara a 45°, el segundo vuelo se hace aumentando la altura, pero con la cámara a 30°, se recomienda tomar una imagen cada 5° a 10° para asegurar suficiente solape (Villar Notario, 2019).

PIX4D Capture y Drone2map (Agisoft) son dos aplicaciones que permiten la planificación de vuelos y el análisis de las fotografías.

4.3. Estado del Arte De Aplicaciones en el área de la Construcción

4.3.1 Tecnologías Avanzadas y Procesamiento de Imágenes

La combinación de drones con tecnologías de procesamiento de imágenes, como el machine learning, ha ampliado aún más sus aplicaciones. Por ejemplo (Yeum y Dyke, 2015). desarrollaron un sistema de detección automática de grietas basado en visión para inspecciones de puentes. Este enfoque utiliza algoritmos avanzados para analizar las imágenes capturadas por drones y detectar automáticamente anomalías o daños.

4.3.2 Aplicaciones y Casos de Estudio

Varios estudios han resaltado el éxito de los drones en la inspección de infraestructuras. Un estudio realizado por (Ko y Ni, 2005). destacó el uso de drones en la inspección de puentes a gran escala, revelando que la tecnología es no solo viable sino altamente eficiente en la detección de patologías.

4.3.3 Limitaciones y Desafíos Actuales

A pesar de los avances y las aplicaciones prometedoras, existen desafíos en la integración total de drones en inspecciones de ingeniería civil. Limitaciones en la duración de la batería, preocupaciones sobre la privacidad y la interferencia con otras estructuras son áreas de investigación en curso (Cheng et al., 2018).

5. Análisis de trabajos de inspección de patologías en estructuras civiles con la ayuda de drones

Se realizó la investigación de 7 trabajos representativos del uso de drones para la inspección de patologías en infraestructura civil, de los cuales 3 son aplicados a puentes vehiculares y 4 a inspección de edificaciones. Para cada trabajo se presenta el título, cita, resumen de resultados, equipos utilizados con sus costos aproximados, los cuales pueden variar según el mercado y la disponibilidad, la metodología utilizada y las conclusiones más relevantes.

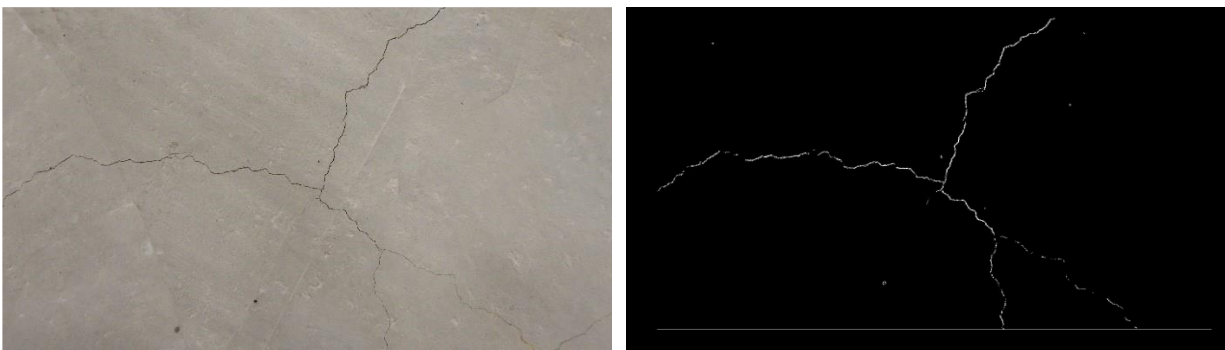
5.1. Trabajo 1: Desafíos en la Inspección de Puentes Usando Sistemas Aéreos No Tripulados Pequeños: Resultados y Lecciones Aprendidas (Dorafshan et al., 2017)

Resumen

El archivo PDF presenta un estudio sobre el uso de Sistemas Aéreos No Tripulados (UAS) para inspecciones de puentes. El estudio investiga las posibles ventajas y desafíos del uso de UAS para inspecciones de puentes, así como estudios de casos sobre detección de grietas y detección

de grietas por fatiga en puentes de hormigón y acero. Los resultados muestran que los UAS pueden proporcionar imágenes y vídeos de alta calidad de las estructuras de puentes, lo que permite realizar inspecciones eficientes y precisas. Sin embargo, existen limitaciones en la tecnología UAS actual, como la interferencia de la señal GPS y la duración limitada de la batería.

Figura 3 *Detección de grietas del puente de pruebas del laboratorio SMASH*



Nota: Tomado de Dorafshan et al. (2017)

Equipos

- Iris 3DR equipado con cámara GoPro: \$875 USD
- DJI Mavic con cámara DJI integrada: \$1,199 USD
- Goose con cámara Nikon Cool Pix: \$200 USD
- Pieza de prueba para la detección de grietas: \$275 USD

Metodología

1. Revisión de la literatura sobre inspecciones de puentes UAS.
2. Experimentos de detección de grietas en tiempo real en puentes de hormigón y acero utilizando plataformas 3DR Iris, DJI Mavic y Goose UAS.
3. Experimentos de inspección de simulación en un entorno controlado utilizando plataformas 3DR Iris, DJI Mavic y Goose UAS en el laboratorio SMASH.
4. Análisis de imágenes y videos de los resultados de la inspección del UAS.
5. Evaluación del éxito de la inspección de UAS utilizando un sistema de calificación simple de bueno, regular o malo.

6. Comparación de los resultados de las inspecciones UAS con las inspecciones humanas en tiempo real.

7. Discusión de las posibles ventajas y desafíos del uso de UAS para inspecciones de puentes.

Conclusiones

El estudio concluye que los UAS pueden ser una herramienta valiosa para las inspecciones de puentes, ya que proporcionan imágenes y vídeos de alta calidad de las estructuras de los puentes que permiten inspecciones eficientes y precisas. Los resultados de los estudios de caso mostraron que los UAS se pueden utilizar para la detección de daños en puentes de hormigón y acero con resultados comparables a las inspecciones humanas en tiempo real. Sin embargo, el estudio también destaca las limitaciones de la tecnología UAS actual, como la interferencia de la señal GPS y la duración limitada de la batería. El estudio recomienda que los UAS se utilicen como herramienta de asistencia para que los inspectores realicen inspecciones de puentes de forma más rápida, económica y sin cierres de tráfico. En general, el estudio sugiere que los UAS tienen el potencial de revolucionar el campo de las inspecciones de puentes, pero se necesita más investigación y desarrollo para superar las limitaciones actuales de la tecnología UAS.

5.2. Trabajo 2: Metodología de inspección de puentes habilitada por drones y su aplicación (Seo et al., 2019)

Resumen

El estudio encontró que los drones pueden ser un complemento eficiente y rentable a los métodos tradicionales de inspección de puentes. El dron DJI Phantom 4 se utilizó para capturar imágenes y vídeos de alta calidad de un puente de madera en Dakota del Sur, que luego se analizaron para identificar diferentes tipos de daños. El dron pudo identificar daños de manera más eficiente que los métodos de inspección convencionales, a pesar de algunas limitaciones causadas por condiciones climáticas desfavorables y restricciones regulatorias. El estudio recomienda realizar más investigaciones sobre la aplicación de la metodología de inspección con drones a

diferentes tipos de puentes y la cuantificación de los daños identificados mediante métodos de cuantificación basados en análisis de imágenes.

Figura 4

Dron DJI Phantom 4 se utilizado en la investigación



Nota: Tomado de Seo et al. (2019)

Equipos

- Dron DJI Phantom 4: \$1,349 USD
- Cámara de alta resolución: \$2,650 USD

Metodología

La metodología de inspección de puentes con drones desarrollada en este estudio consta de cinco etapas:

1. Planificación y preparación: esta etapa implica identificar el puente objetivo, obtener los permisos y autorizaciones necesarios y preparar el dron y el equipo de cámara.
2. Vuelo del dron y adquisición de datos: el dron vuela sobre el puente objetivo para capturar imágenes y videos de alta calidad de los componentes estructurales y los daños.

3. Procesamiento y análisis de datos: Las imágenes y videos capturados por el dron se procesan y analizan mediante métodos de cuantificación basados en análisis de imágenes para identificar diferentes tipos de daños.

4. Clasificación y Priorización de Daños: Los daños identificados se clasifican y priorizan en función de su gravedad y posible impacto en la integridad estructural del puente.

5. Informes y mantenimiento: los resultados de la inspección se informan a las partes interesadas relevantes y se toman las acciones necesarias de mantenimiento y reparación en función del daño identificado.

Conclusiones

El estudio concluye que la metodología de inspección de puentes mediante drones puede ser un complemento eficiente y rentable a los métodos tradicionales de inspección de puentes. El dron DJI Phantom 4 pudo capturar imágenes y vídeos de alta calidad de un puente de madera en Dakota del Sur, que luego se analizaron para identificar diferentes tipos de daños. El dron pudo identificar daños de manera más eficiente que los métodos de inspección convencionales, a pesar de algunas limitaciones causadas por condiciones climáticas desfavorables y restricciones regulatorias. El estudio recomienda realizar más investigaciones sobre la aplicación de la metodología de inspección con drones a diferentes tipos de puentes y la cuantificación de los daños identificados mediante métodos de cuantificación basados en análisis de imágenes. En general, el estudio destaca el potencial de los drones como herramienta valiosa para la inspección y el mantenimiento de puentes.

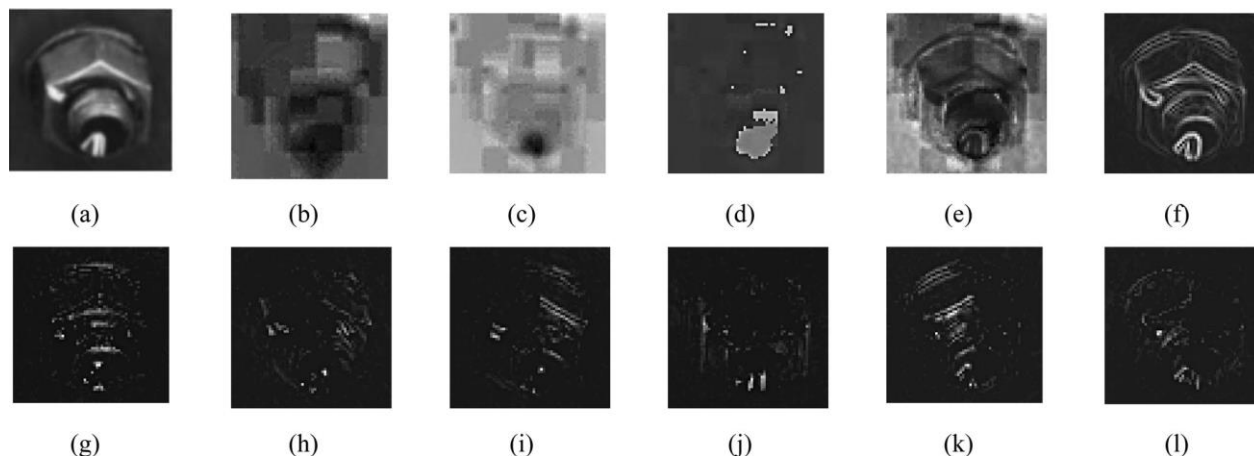
5.3. Trabajo 3: Detección Automatizada Basada en Visión de Grietas para Inspección de Puentes (Yeum & Dyke, 2015)

Resumen

El PDF presenta una técnica novedosa para la inspección automatizada de estructuras de puentes a gran escala utilizando imágenes. La técnica propuesta implica recopilar imágenes de la estructura desde diferentes ángulos utilizando equipos de adquisición de imágenes, detectar y

extraer componentes estructurales objetivo llamados objetos susceptibles de agrietarse y procesar estas imágenes para identificar la presencia de daños en la estructura. El estudio se centra en extraer imágenes de áreas sensibles a daños desde diferentes ángulos para aumentar la detectabilidad de los daños y disminuir los errores de falsos positivos. Se implementan técnicas de detección y agrupación de objetos para extraer imágenes de posibles regiones dañadas. La técnica propuesta se compara con los métodos tradicionales de inspección visual y los resultados muestran que la técnica propuesta es más precisa y confiable para detectar grietas.

Figura 5 Ejemplos de imágenes de canal de un perno: (a) original en RGB (en escala de grises), (b, c) componentes U y V en LUV, (d, e) componentes H y S en HSV, (f) gradiente, y (g–l) histograma del gradiente con 6 orientaciones (0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150°).



Nota: Tomado de Yeum & Dyke (2015)

Equipos

-Equipos de adquisición de imágenes como cámaras aéreas o robots de inspección: \$5,250 USD

Metodología

1. Recopilación de imágenes de la estructura desde muchos ángulos utilizando equipos de adquisición de imágenes.

2. Detectar y extraer componentes estructurales objetivo denominados objetos susceptibles de agrietarse.
3. Procesamiento de estas imágenes para identificar la presencia de daños en la estructura.
4. Extraer imágenes de áreas sensibles a daños desde diferentes ángulos para aumentar la detectabilidad de los daños y disminuir los errores de falsos positivos.
5. Implementar técnicas de detección y agrupación de objetos para extraer imágenes de posibles regiones dañadas.

Conclusiones

La técnica propuesta para la detección automatizada de grietas basada en visión es un enfoque innovador que puede procesar y analizar automáticamente un gran volumen de imágenes recopiladas para identificar y evaluar fallas en puentes. La técnica es más precisa y fiable que los métodos tradicionales de inspección visual. Al depender menos del conocimiento subjetivo o empírico de los inspectores humanos, la técnica propuesta puede ahorrar tiempo y reducir el riesgo de evaluaciones falsas. La técnica propuesta se puede utilizar para detectar otros tipos de fallas además de grietas cerca de pernos en una estructura de acero.

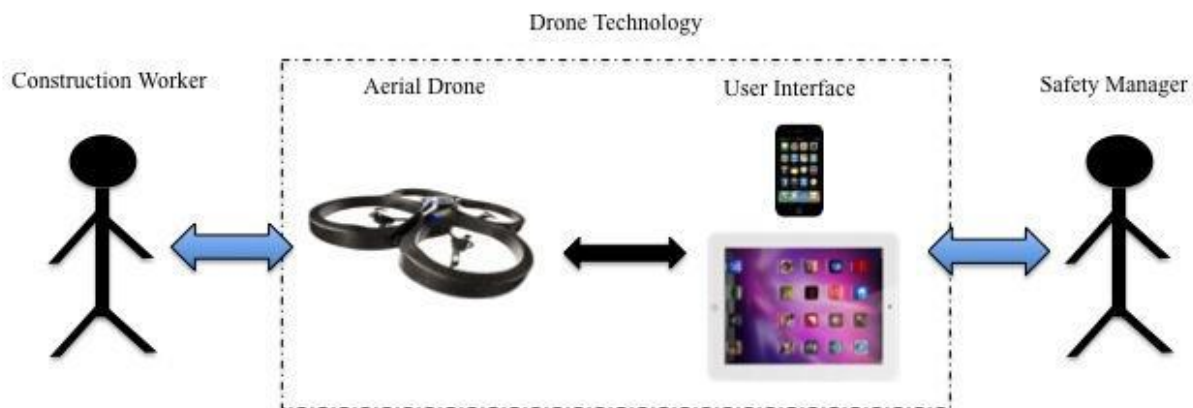
5.4. Trabajo 4: Evaluación de la usabilidad de la tecnología de drones como herramientas de inspección de seguridad (Irizarry y otros, 2012)

Resumen

El archivo PDF explora los beneficios potenciales del uso de drones aéreos equipados con cámaras de video para brindar a los gerentes de seguridad acceso rápido a imágenes y videos en tiempo real desde varios lugares del lugar de trabajo. El estudio empleó un enfoque experimental para probar la aplicación de la tecnología de drones en las prácticas de inspección de seguridad de la construcción. El estudio utilizó un dron aéreo de pequeña escala como herramienta para explorar los beneficios potenciales para los gerentes de seguridad dentro de la inspección de seguridad en el lugar de trabajo de la construcción. Los autores creen que proporcionar a los responsables de

seguridad un dron asistente de inspección de seguridad sería extremadamente beneficioso y podría permitirles alcanzar los objetivos de la inspección de seguridad.

Figura 6 Interacción indirecta entre trabajador de la construcción y gerente de seguridad a través de la tecnología de drones.



Nota: Tomado de Irizarry et al. (2012)

Equipos

- Dron aéreo de pequeña escala equipado con una cámara de vídeo: \$300 USD
- iPad: \$699 USD
- iPhone: \$1,049 USD

Metodología

1. El primer paso de la investigación fue realizar una Evaluación Heurística (HE) de la interfaz AR.Drone que se considera como un prototipo de un dron aéreo de inspección de seguridad en pleno funcionamiento.

2. Se diseñó un experimento entre sujetos para probar el AR.Drone con sujetos reales mientras realizaban una tarea relacionada con el administrador de seguridad en diferentes condiciones.

3. En este experimento, los sujetos contarían el número de cascos que podían ver en diferentes imágenes del lugar de trabajo de construcción en tres condiciones diferentes; (1) vista simple, (2) usando iPad y (3) usando iPhone.

4. La Junta de Revisión Institucional (IRB) de Georgia Tech evaluó y aprobó el protocolo del estudio.

5. Después de realizar el experimento, se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA) para probar las hipótesis de que: (1) el cuadricóptero serviría como una herramienta de inspección adecuada; y (2) la precisión del usuario al identificar características relevantes para la seguridad en una escena tiene una relación directa con el tamaño del objeto.

6. Se empleó un diseño experimental intrasujetos, en el que cada sujeto participó en tres condiciones diferentes de visualización de imágenes. En la condición de Control, el sujeto se sentó frente a un tablero en el que se proyectaban las imágenes del lugar de trabajo y contó el número de cascos en cada imagen.

Conclusiones

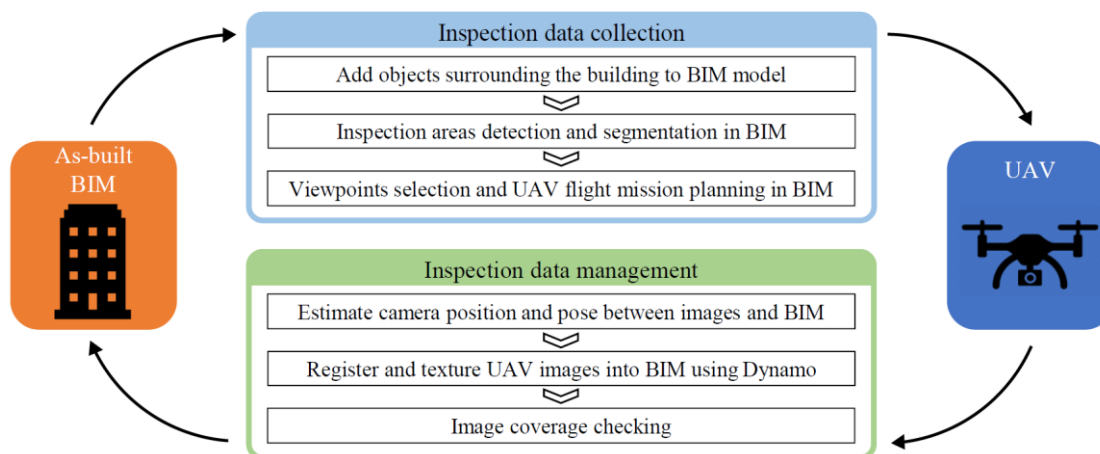
El estudio concluye que el uso de drones aéreos equipados con cámaras de video puede proporcionar a los gerentes de seguridad un acceso rápido a imágenes y videos en tiempo real desde varios lugares del lugar de trabajo, lo que puede ser extremadamente beneficioso en las prácticas de inspección de seguridad de la construcción. El estudio también encontró que el uso de un iPad o iPhone para controlar el dron puede mejorar la precisión a la hora de identificar características relevantes para la seguridad en una escena. Los autores recomiendan que las investigaciones futuras se centren en desarrollar tecnología de drones más avanzada y explorar los beneficios potenciales del uso de drones en otras áreas de la gestión de la seguridad de la construcción. En general, el estudio sugiere que el uso de tecnología de drones en la gestión de la seguridad de la construcción tiene un gran potencial para mejorar las prácticas de seguridad y reducir el riesgo de accidentes en el lugar de trabajo.

5.5. Trabajo 5: Integrando UAV y BIM para la inspección visual automatizada de edificios: una revisión sistemática y marco conceptual (Zhang et al., 2022)

Resumen

El estudio exploró el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para la inspección de fachadas de edificios. Los investigadores descubrieron que los vehículos aéreos no tripulados pueden mejorar la eficiencia y la seguridad de las inspecciones de fachadas, y que el software Agiso PhotoScan permite una amplia gama de opciones en cuanto a la calidad del resultado. El estudio también encontró que el uso de vehículos aéreos no tripulados puede reducir la necesidad de andamios y otros equipos, y puede proporcionar datos más detallados y precisos que los métodos de inspección tradicionales.

Figura 7 Interfaz de trabajo UAV-BIM hacia la inspección visual automatizada de edificios.



Nota: Tomado de Zhang et al. (2022)

Equipos

- UAV DJI Phantom 4 Pro equipado con una cámara de 20 megapíxeles: \$1,599 USD
- Software Agiso PhotoScan para procesar las imágenes capturadas por el UAV: \$1,000 USD

Metodología

El estudio siguió una metodología paso a paso que incluyó lo siguiente:

1. Preparación del UAV y del software Agiso PhotoScan, incluida una lista de verificación de todos los procedimientos necesarios para la operación del UAV en condiciones de seguridad adecuadas.
2. Entrenamiento de vuelo, que comenzó en agosto de 2018 y resultó en aproximadamente 2 horas y 30 minutos de vuelo.
3. Recopilación de datos durante el vuelo utilizando la aplicación DJI Go, incluida la cantidad de recursos visuales recopilados (fotos y videos), distancia, altitud máxima, duración del vuelo, superposición fotográfica y velocidad de vuelo.
4. Procesamiento de los datos mediante el software Agiso PhotoScan, que permitió una amplia gama de opciones en cuanto a la calidad del resultado.

Conclusiones

El estudio concluye que el uso de vehículos aéreos no tripulados para inspecciones de fachadas puede mejorar la eficiencia y seguridad del proceso, y puede proporcionar datos más detallados y precisos que los métodos de inspección tradicionales. El estudio también señala que el software Agiso PhotoScan permite una amplia gama de opciones en cuanto a la calidad del resultado, desde baja resolución hasta muy elaborada, con un coste computacional cada vez mayor. Los investigadores sugieren que se necesitan más estudios para explorar todo el potencial de los vehículos aéreos no tripulados para las inspecciones de fachadas, incluido el uso de imágenes térmicas y otras tecnologías avanzadas.

5.6. Trabajo 6: Inspeccionando Edificios Usando Drones y Visión Computacional: Un Enfoque de Aprendizaje Automático para Detectar Grietas y Daños (Munawar et al., 2022)

Resumen

El estudio presenta un enfoque de aprendizaje automático para detectar grietas y daños en edificios mediante drones y visión por computadora. El enfoque propuesto utiliza una arquitectura de red neuronal convolucional (CNN) entrenada en un conjunto de datos de imágenes de fachadas de edificios con y sin grietas. Los resultados muestran que el enfoque propuesto puede detectar con precisión grietas en fachadas de edificios con alta precisión y tasas de recuperación.

Figura 8 *Imágenes representativas de grietas incluidas en el conjunto de datos de grietas y la segmentación utilizada*



Nota: Tomado de Munawar et al. (2022)

Equipos

- AV Phantom 4 Pro modelo V2.0 fabricado por DJI: \$1,599 USD
- Control remoto con pantalla HD de alta iluminación incorporada: \$749 USD
- Batería de litio para el UAV con un tiempo máximo de vuelo de 30 minutos: \$179 USD

Metodología

1. Recopile un conjunto de datos de imágenes de fachadas de edificios con y sin grietas.
2. Preprocesar el conjunto de datos de imágenes cambiando el tamaño y normalizando las imágenes.
3. Realizar etiquetado por píxel y supervisión de la verdad del terreno.
4. Divida el conjunto de datos en conjuntos de entrenamiento y prueba (80%, 15% y 5%).
5. Entrene el modelo CNN utilizando CycleGAN y funciones multiescala como decodificación y fusión.
6. Evalúe el modelo tanto para el conjunto de entrenamiento como para el de prueba.
7. Aplicar el modelo propuesto a fachadas de edificios del mundo real y comparar los resultados con la inspección manual.

Conclusiones

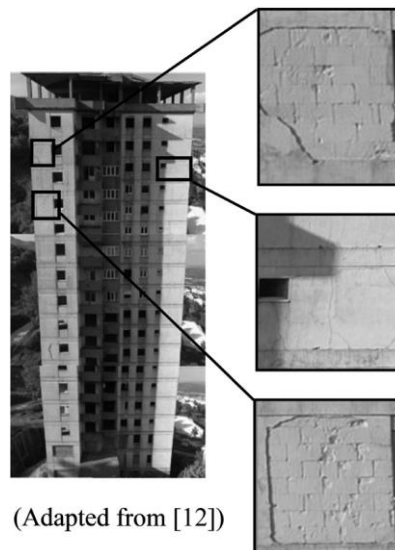
El enfoque de aprendizaje automático propuesto para la detección de grietas en fachadas de edificios mediante drones y visión por computadora es una alternativa prometedora a la inspección manual. Los resultados muestran que el enfoque propuesto puede detectar con precisión grietas en fachadas de edificios con alta precisión y tasas de recuperación. Este enfoque puede potencialmente ahorrar tiempo y reducir los costos asociados con la inspección manual, al mismo tiempo que mejora la precisión y consistencia de la detección de grietas. Sin embargo, se necesita más investigación para optimizar el enfoque y abordar algunas de las limitaciones y desafíos asociados con el uso de drones y visión por computadora en la inspección de edificios.

5.7. Trabajo 7: Nuevas tendencias en la inspección visual de edificios y estructuras: Estudio para el uso de drones (Falorca et al., 2021)

Resumen

El artículo explora el uso de drones equipados con cámaras de alta definición para la inspección visual de edificios y estructuras. El estudio presenta dos casos de estudio, uno en la fachada de un edificio residencial y otro en una chimenea, para demostrar la eficacia del uso de drones para la inspección visual. Los resultados muestran que los drones pueden aportar evidencia útil relacionada con la posibilidad de hacer un uso rápido de estos medios, una excelente maniobrabilidad, minimizar costos, mitigar riesgos operativos y mejorar la calidad de los resultados finales.

Figura 9 Caso de estudio - edificio de gran altura habitacional.



Nota: Tomado de Falorca et al. (2021)

Equipos

- Dron tipo DJI Phantom 4: \$1,349 USD
- Dron tipo Parrot Bebop 2 equipados con cámaras de alta definición: \$3,150 USD

Metodología

1. Revisión de literatura a través de buscadores y bases de datos como Google, Google Scholar, Researchgate, Sciencedirect, Scopus, B-On, Emerald Insight, etc.
2. Seriación de cada publicación según el tipo de subtemas que interesan la investigación.
3. Pruebas de campo utilizando drones equipados con cámaras de alta definición.
4. Procedimientos de prueba previa en sitio organizados con más detalle por temas.

Conclusiones

El estudio concluye que los drones equipados con cámaras de alta definición pueden aportar beneficios sustanciales a la industria de la construcción al proporcionar una forma más eficiente y rentable de inspección visual de edificios y estructuras. El uso de drones puede ayudar a superar las dificultades de los métodos tradicionales de inspección visual, como el acceso limitado a zonas difíciles, los altos costos y los riesgos para la seguridad. Los resultados de los estudios de caso demuestran la adaptabilidad y versatilidad del uso de drones para monitorear el estado de la envolvente de los edificios y otras estructuras.

6. Análisis de la información

Para los trabajos enfocados en la inspección de puentes y edificios, se puede analizar que una de las principales ventajas del uso de drones es la capacidad de capturar imágenes y videos de alta calidad, lo que permite realizar inspecciones eficientes y precisas. Además, el uso de drones puede ser más rentable que los métodos tradicionales de inspección de patologías en zonas de difícil acceso.

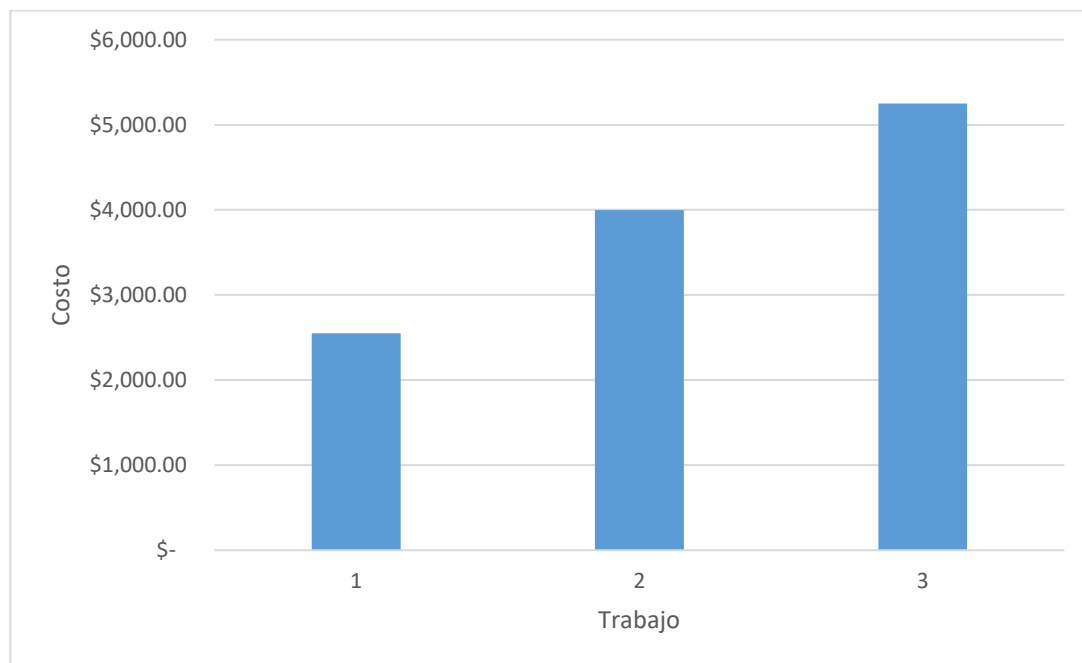
En cuanto a las desventajas, se puede analizar que el uso de drones para la inspección de patologías en estructuras civiles aún presenta algunos desafíos, como la necesidad de un software de procesamiento de imágenes para la detección de daños, la necesidad de capacitación especializada para el personal encargado de operar los drones, y la necesidad de cumplir con las regulaciones y normativas de seguridad y privacidad. Además, el costo inicial de adquirir el equipo y el software de procesamiento de imágenes puede ser alto.

A partir de las investigaciones mencionadas anteriormente, se realizó un resumen de los costos de inversión del uso de drones para la inspección de patologías en puentes y en edificios.

A continuación, en la **Tabla 1** y **Firuga 10** se presenta el resumen de los costos de inversión del uso de drones para la inspección de patologías en puentes.

Tabla 1 *Tabla de resumen de costos del uso de drones en puentes.*

No	TRABAJO	TOTAL
1	Desafíos en la Inspección de Puentes Usando Sistemas Aéreos No Tripulados Pequeños: Resultados y Lecciones Aprendidas. (PUENTES)	\$ 2.549,00
2	Metodología de inspección de puentes habilitada por drones y su aplicación. (PUENTES)	\$ 3.999,00
3	Detección Automatizada Basada en Visión de Grietas para Inspección de Puentes. (PUENTES)	\$ 5.250,00
-	PROMEDIO	\$ 3.933,00

Figura 10 Análisis de costos del uso de drones en puentes.

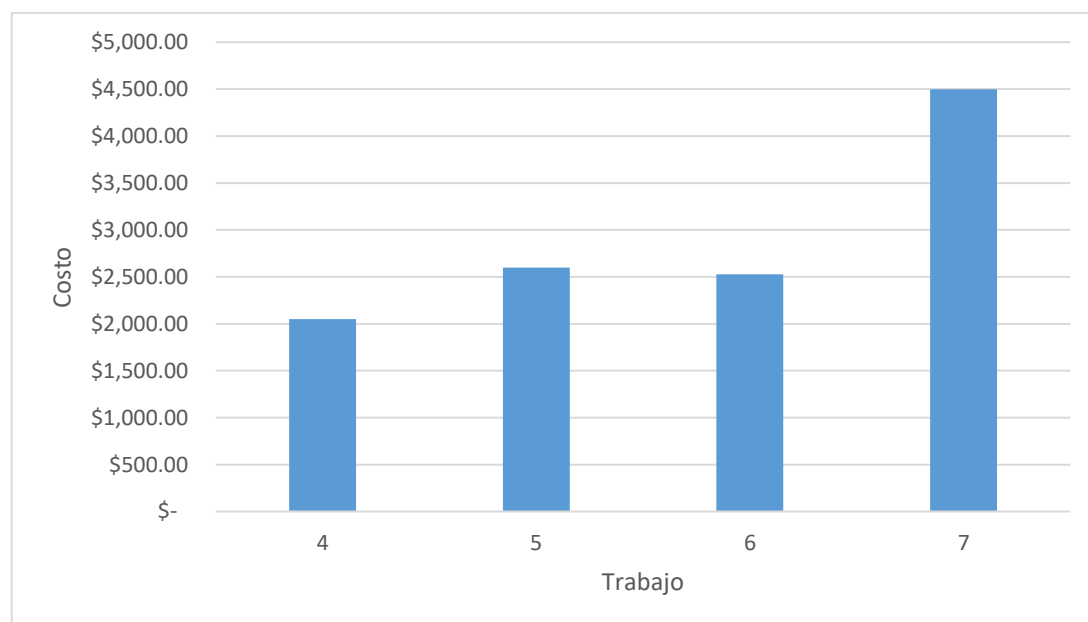
Comparando los costos de inversión para la inspección de patologías en puentes, se logra evidenciar que el Trabajo 3 requirió de mayor inversión que los demás trabajos, principalmente en comparación al Trabajo 1. Esto se debe a que el Trabajo 1 se realizó en laboratorio, con las condiciones óptimas y adicionalmente a que en el Trabajo 3 se requirió de una cámara de mejores capacidades de resolución, para llegar al nivel de detalle de detección de patologías en pernos.

A continuación, en la **Tabla 2** y

Figura 11 se presenta el resumen de los costos de inversión del uso de drones para la inspección de patologías en edificaciones.

Tabla 2 *Tabla de resumen de costos del uso de drones en edificaciones.*

No	TRABAJO	TOTAL
4	Evaluación de la usabilidad de la tecnología de drones como herramientas de inspección de seguridad. (EDIFICIOS)	\$ 2.048,00
5	Integrando UAV y BIM para la inspección visual automatizada de edificios: una revisión sistemática y marco conceptual. (EDIFICIOS)	\$ 2.599,00
6	Inspeccionando Edificios Usando Drones y Visión Computacional: Un Enfoque de Aprendizaje Automático para Detectar Grietas y Daños. (EDIFICIOS)	\$ 2.527,00
7	Nuevas tendencias en la inspección visual de edificios y estructuras: Estudio para el uso de drones. (EDIFICIOS)	\$ 4.499,00
-	PROMEDIO	\$ 2.918,00

Figura 11 *Análisis de costos del uso de drones en edificaciones.*

Comparando los costos de inversión para la inspección de patologías en edificaciones, se logra evidenciar que el Trabajo 7 requirió de mayor inversión que los Trabajos 4-6. Esto se debe a que para el desarrollo del Trabajo 7 se usaron dos drones en dos casos de estudio diferentes, los cuales estaban equipados con cámaras de alta definición para la inspección visual de patologías de fachadas. Teniendo en cuenta lo anterior, se evidencia que los costos de inversión para la inspección de un edificio según el Trabajo 7 pueden llegar a \$2250 dólares aproximadamente, valor similar a los costos de inversión de los demás trabajos.

A partir del análisis de las tablas y figuras anteriores, se puede evidenciar que en general los costos de inversión para poder realizar un estudio de inspección visual de patologías de puentes o edificios mediante el uso de drones no tripulados puede oscilar en un rango de \$3000-\$4000 dólares. Este valor de inversión se debe comparar con el costo de inversión que puede tener la inspección de personas cualificadas, utilizando todos los equipos de seguridad en el trabajo, los cuales en zonas de difícil acceso pueden llegar a ser un riesgo para el personal.

Para realizar una comparación con métodos convencionales, a continuación, se presentan los costos potenciales que se pueden presentar al momento de realizar una inspección visual de patologías de edificación en zonas de difícil acceso por parte de una persona física:

Curso en Alturas: Costo de capacitación para que el personal adquiera las habilidades necesarias para trabajar en alturas de manera segura. Costo aproximado: Variable según proveedores, pero puede oscilar entre \$200 y \$500 por persona.

Indumentaria Especializada: Gastos en ropa y equipo de protección personal diseñado para trabajos en alturas y condiciones específicas de la fachada del edificio. Costo aproximado: Entre \$100 y \$300 por persona, dependiendo de la calidad y la marca de los equipos.

Accesorios de Seguridad en el Trabajo: Inversión en herramientas y accesorios de seguridad especializados, como arneses, líneas de vida, cascos y otros dispositivos de prevención de caídas. Costo aproximado: Puede variar considerablemente, pero un conjunto básico podría oscilar entre \$500 y \$1,000 por persona.

Personal Adicional: Costos relacionados con la contratación de personal adicional para garantizar la seguridad y eficiencia durante la inspección en alturas. Costo aproximado: Dependerá de la cantidad y la experiencia del personal contratado, pero se podría estimar entre \$15 y \$30 por hora por cada trabajador adicional.

Plataforma Elevadora o Andamios: Gastos asociados con el alquiler o compra de plataformas elevadoras, andamios u otro equipo especializado necesario para acceder a áreas de difícil alcance. Costo aproximado: El alquiler de una plataforma elevadora puede variar entre \$200 y \$500 por día, mientras que la compra de andamios puede oscilar entre \$1,000 y \$3,000.

Permisos y Regulaciones: Pagos de permisos y cumplimiento de regulaciones locales relacionadas con inspecciones en altura y trabajos de construcción. Costo aproximado: Variable según la ubicación y la complejidad del proyecto, pero podría estimarse entre \$500 y \$1,500.

Seguro Adicional: Aumento de los costos de seguros para cubrir los riesgos asociados con trabajos en alturas y condiciones específicas del sitio. Costo aproximado: Dependerá del proveedor de seguros y la magnitud del proyecto, pero podría agregar entre \$1,000 y \$5,000 a la prima regular.

Monitoreo de Condiciones Climáticas: Inversión en tecnología o servicios para monitorear las condiciones climáticas, ya que estas pueden afectar la seguridad y programación de la inspección. Costo aproximado: Puede variar, pero dispositivos de monitoreo climático pueden oscilar entre \$500 y \$1,500, dependiendo de la complejidad y la precisión requerida.

Teniendo en cuenta lo anterior, se evidencia que el rango de valores puede variar de 5000-1000\$ dólares realizar una inspección visual de patologías de edificaciones en zonas de difícil acceso de manera convencional, lo cual representa el doble del costo en comparación al uso de drones.

A partir de la revisión exhaustiva de las diferentes metodologías de inspección visual con drones en construcciones civiles presentadas en el documento, a continuación, se presenta una propuesta de una metodología general para la implementación de drones en la inspección visual de patologías en edificios y puentes:

1. **Identificar el objetivo de la inspección:** Antes de comenzar la inspección, es importante identificar el objetivo de esta. ¿Qué se busca inspeccionar? ¿Qué tipo de patologías se buscan identificar? ¿Qué información se espera obtener de la inspección?
2. **Seleccionar el equipo adecuado:** Una vez que se ha identificado el objetivo de la inspección, se debe seleccionar el equipo adecuado para la misma. Esto puede incluir diferentes tipos de drones, cámaras, sensores y software de procesamiento de imágenes.
3. **Planificar la misión de vuelo:** Es importante planificar la misión de vuelo antes de comenzar la inspección. Esto incluye la selección de la ruta de vuelo, la altitud de vuelo, la velocidad de vuelo y la configuración de la cámara.
4. **Realizar la inspección:** Una vez que se ha planificado la misión de vuelo, se puede realizar la inspección. Durante la inspección, se deben tomar imágenes y vídeos de alta calidad de la construcción civil para identificar patologías.
5. **Procesar y analizar los datos:** Después de la inspección, se deben procesar y analizar los datos recopilados. Esto puede incluir la identificación de patologías, la cuantificación de los daños y la generación de informes.
6. **Tomar medidas correctivas:** Finalmente, se deben tomar medidas correctivas para abordar las patologías identificadas durante la inspección. Esto puede incluir reparaciones, mantenimiento preventivo y monitoreo continuo.

En cuanto a la comparación entre los equipos utilizados, se puede recomendar el uso del dron DJI Phantom 4, el cual pudo capturar imágenes y vídeos de alta calidad de un puente de madera en Dakota del Sur, que luego se analizaron para identificar diferentes tipos de daños. El dron pudo identificar daños de manera más eficiente que los métodos de inspección convencionales, a pesar de algunas limitaciones causadas por condiciones climáticas desfavorables y restricciones regulatorias.

7. Conclusiones

A partir del análisis de las tablas y figuras presentadas en el documento, se puede concluir que el costo de inversión para inspecciones visuales de patologías en puentes y edificios mediante drones no tripulados oscila en un rango de \$3000-4000 dólares. Esta inversión puede ser comparada favorablemente con el costo de inspecciones realizadas por personal cualificado, que requieren equipos de seguridad costosos, especialmente en zonas de difícil acceso. En este sentido, el uso de drones se muestra como una alternativa atractiva en términos de eficiencia y reducción de costos, con consideraciones importantes sobre las limitaciones técnicas y la necesidad de personal capacitado.

Según el análisis de los datos, se evidencia que el rango de valores para llevar a cabo una inspección visual de patologías en zonas de difícil acceso de edificaciones de manera convencional puede variar entre \$5,000 y \$10,000 dólares. Esto representa el doble del costo en comparación con el uso de drones propuesto.

A partir del análisis de equipos utilizados en las diferentes investigaciones se puede recomendar el uso del dron DJI Phantom 4, el cual pudo capturar imágenes y vídeos de alta calidad, a pesar de algunas limitaciones causadas por condiciones climáticas desfavorables y restricciones regulatorias.

A continuación, se presentan diferentes ventajas y desventajas obtenidas a partir del análisis de las investigaciones presentadas. En cuanto a las ventajas, los drones ofrecen acceso a zonas de difícil alcance, permitiendo la exploración de áreas peligrosas o inaccesibles para los inspectores humanos, reduciendo así los riesgos para el personal y posibilitando la inspección de lugares antes inaccesibles. Además, las inspecciones con drones son más eficientes y rápidas en comparación con las inspecciones humanas, ya que pueden recopilar datos y realizar análisis visuales en un tiempo mucho menor. A pesar de la inversión inicial en equipos y capacitación, las inspecciones con drones pueden resultar en un ahorro significativo a largo plazo al minimizar el costo de cerrar áreas al tráfico y reducir la necesidad de equipos de seguridad y andamios costosos. La calidad de datos también es una ventaja, ya que los drones pueden capturar imágenes y videos

de alta resolución, permitiendo un análisis más detallado y preciso de las patologías, lo que puede ser valioso para la toma de decisiones. Además, las inspecciones con drones se pueden realizar con regularidad, facilitando el seguimiento de cambios en la estructura y la detección temprana de problemas.

En cuanto a las desventajas, se destacan las limitaciones técnicas de los drones actuales, como la duración de la batería y la interferencia de la señal GPS, que pueden requerir vuelos múltiples y soluciones técnicas adicionales. La operación de drones y el análisis de datos pueden requerir personal especializado y capacitación, aumentando así los costos. La dependencia de condiciones climáticas adversas, como viento o lluvia, puede limitar la capacidad de vuelo de los drones. Las inspecciones con drones deben cumplir con regulaciones de seguridad y privacidad, lo que puede plantear preocupaciones éticas y legales. A pesar del ahorro a largo plazo, la inversión inicial en equipos y tecnología de drones puede ser significativa.

8. Referencias

- Aerial Insights. (2019). *¿Qué es y cómo funciona una cámara multispectral?* aerial-insights.co: <https://www.aerial-insights.co/blog/camara-multispectral/>
- Anderson, C. (2014). *Drones: The Professional's Guide*. O'Reilly Media.
- AreaDron. (2020). *Historia y Evolución del Dron*. areadron.com: <https://www.areadron.com/historia-y-evolucion-dron/>
- Arévalo Flores, J. S., Delgado Manzanares, C. F., & Vitor Zarate, J. F. (2019). Propuesta de negocio enfocado en la mejora de la productividad en la construcción de edificaciones haciendo uso de drones. *[Tesis de Maestría, Universidad Peruana de ciencias aplicadas]. Repositorio*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626060>
- Barajas Hernandez, J. (2021). Aplicaciones de los Drones en la Industria de la Construcción. *Revista Nextia*, 6(5), 5-16. <https://revistas.uvp.mx/index.php/nextia/article/view/65/68>
- Bonilla Yoza, M. M., Maldonado Zuñiga, K., Zambrano Zambrano, S. M., & Cevallo Pionce, W. R. (2021). El uso de los drones en el ámbito profesional. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 5(4), 75-82. <https://doi.org/https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v5.n6.2021.516>
- Castañeda Bastida, O. (2019). Análisis Jurídico del uso de drones. *[Trabajo de grado, Universidad Autónoma del Estado de Mexico]. Repositorio*. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/99170/Trabajo%20Terminal%20de%20Grado%20OSCAR%20FERNANDO%20CASTAÑEDA%20BASTIDA%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cheng, T., Teizer, J., Migliaccio, G. C., & Gatti, U. C. (2018). Automated task and productivity analysis through the integration of real-time location systems with building information models. *Automation in Construction*, 93, 57-72.
- Dandois, J., & Ellis, E. (2010). Remote sensing of vegetation structure using computer vision. *Remote Sensing*, 2(4), 1157-1176. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs2041157>
- DJI Enterprise. (2022). *Mavic 2 Enterprise Advance. Dual Imagin Reimagined*. dji.com: <https://www.dji.com/mavic-2-enterprise-advanced?site=brandsite&from=nav>
- Dorafshan, S., Maguire, M., Hoffer, N., & Coopmans, C. (2017). Challenges in Bridge Inspection Using Small Unmanned Aerial Systems: Results and Lessons Learned. *International*

- Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 1722-1730. <https://doi.org/doi:10.1109/ICUAS.2017.7991459>.
- Dorafshan, S., Thomas, R. J., & Maguire, M. (2018). Comparison of visual inspection and imaging for bridge damage detection. *Journal of Bridge Engineering*, 23(9).
- Dronebox. (2022). *Precios de servicios de Drones*. dronebox.one: <http://dronebox.one/precios/precios-por-servicio-drones-uav>
- Elaksher, A., & Bethel, J. (2012). Feasibility of using laser scanner and drones for assessing bridge damage. *Journal of Applied Remote Sensing*, 6(1).
- Falorca, Furtado, J., Miraldes, João, Lanzinha, & Gonçalves, J. (2021). New trends in visual inspection of buildings and structures: Study for the use of drones. *Open Engineering*, 11(1), 734-743. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/eng-2021-0071>
- Fernández Lozano, J., & Gutiérrez Alonzo, G. (2016). Aplicaciones Geológicas de los drones. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29(1), 89-105. [https://sge.usal.es/archivos/REV/29\(1\)/art6_2901.pdf](https://sge.usal.es/archivos/REV/29(1)/art6_2901.pdf)
- González Herrera, R., Ucan Navarrete, J., Sánchez y Pinto, I., Medina Esquivel, R., Árcega Cabrera, F., Zetina Moguel, C., & Casares Salazar, R. (2019). Drones. Aplicaciones en Ingeniería Civil y Geociencias. *Revista Interciencia*, 44(6), 326-331. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2019/07/326_6229_A_Gonzalez_Herrera_v44n6.pdf
- Irizarry, J., Gheisari, M., & Walker, B. (2012). Usability assessment of drone technology as safety inspection tools. *ITcon*, 17, 194-212. <https://www.itcon.org/2012/12>
- Irizarry, J., Gheisari, M., & Williams, G. (2012). Using visualization techniques to improve construction education. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 17(24), 411-423.
- Ko, J. M., & Ni, Y. Q. (2005). Technology developments in structural health monitoring of large-scale bridges. *Engineering Structures*, 27(12), 1715-1725. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.02.021>
- Munawar, H. S., Ullah, F., Heravi, A., & Thaheem, M. J. (2022). Inspecting Buildings Using Drones and Computer Vision: A Machine Learning Approach to Detect Cracks and Damages. *Drones*, 6(1), 1-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/drones6010005>

- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2013). Estrategia Global en Materia de seguridad y salud en el trabajo. *Conclusiones adoptadas por la conferencia Internacional del Trabajo en su 91.^a reunión*, 2003. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/policy/wcms_154865.pdf
- Samsonov, S., Tiampo, K. F., Manville, V., & D'Anastasio, E. (2018). Application of DInSAR-GPS optimization for derivation of three-dimensional surface motion of the southern Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 366, 1-14.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (8 de diciembre de 2017). *Salud y Seguridad en el Trabajo en México: Avances, retos y desafíos*. gob.mx: <https://www.gob.mx/stps/documentos/seguridad-y-salud-en-el-trabajo-en-mexico-avances-retos-y-desafios?idiom=es>
- Seo, J., Duque, L., & Wacker, J. (2019). Drone-enabled bridge inspection methodology and application. *Automation in Construction*, 94, 112-126. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.06.006>
- Turner, D., Lucieer, A., & Wallace, L. (2015). Direct georeferencing of ultrahigh-resolution UAV imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(5), 2738-2745. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2265295>
- Villar Notario, S. (2019). *Empleo de drones en la Ingeniería Civil*. citopalicante.com: https://www.citopalicante.com/images/recursos/60_aniversario/presentaciones/dronesvillar.pdf
- Watts, A., Ambrosia, V., & Hinkley, E. (2012). Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sensing*. <https://www.mdpi.com/2072-4292/4/6/1671>
- Yeum, C. M., & Dyke, S. (2015). Vision-based automated crack detection for bridge inspection. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30(10), 759-770. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1111/mice.12141>
- Yeum, C., & Dyke, S. (2015). Vision-Based Automated Crack Detection for Bridge Inspection. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30(10), 759-770. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/mice.12141>

- Zaychenko, I., Smirnova, A., & Borremans, A. (2018). Digital transformation: the case of the application of drones in construction. *MATEC Web Of Conferences*, 193. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/201819305066>
- Zhang, C., Zou, Y., & Dimyadi, J. (2022). Integrating UAV and BIM for automated visual building inspection: a systematic review and conceptual framework. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1101, 1109(9), 1-11. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1101/6/062030>