

Aplicaciones de los Drones en la Industria de la Construcción

Juan Barajas Hernández

Introducción

El propósito de este estudio fue analizar el uso de los Drones en la industria de la construcción, se analizaron los usos, ventajas y desventajas que ofrece esta nueva tecnología emergente dentro de las disciplinas de la arquitectura e ingeniería civil, identificando aquellas áreas donde el uso de Drones o vehículos aéreos no tripulados han tenido mayor impacto.

Se incluyen datos del uso de Drones, de acuerdo a varios autores, todos ellos enfocados a la industria de la construcción, como son: cartografía y fotogrametría, explotación de recursos minerales (minería), geología, inspección y control de obras civiles, topografía, medición de movimiento de tierras, inspección de edificios y prevención de riesgos en construcciones y edificaciones.

En la parte final, se incluye un breve estudio acerca de las implicaciones legales acerca del uso de estos aparatos (en territorio mexicano), donde la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), es el organismo encargado de establecer las legislaciones en la materia.

En esta investigación se examina la situación actual del uso de drones en la industria de la construcción. De acuerdo a Jordan (2017) los vehículos aéreos no tripulados, los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS por su siglas en inglés), o drones, como se les conoce comúnmente, en los últimos tiempos se han convertido en dispositivos que casi cualquier persona puede adquirir a un gran número de proveedores.

Un Vehículo Aéreo No Tripulado (Unmanned Aerial Vehicle: UAV), Sistema Aéreo No Tripulado (Unmanned Aerial System: UAS) o Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT), es una aeronave que vuela sin tripulación humana a bordo. Son usados en mayor escala en aplicaciones militares, aunque actualmente su uso se ha extendido a diversas áreas como son: filmación de eventos artísticos, deportivos, noticias, agricultura, vigilancia, e incluso, mensajería.

Un dron es, únicamente, una plataforma portadora de algún tipo de sensor que tiene por finalidad la obtención de datos geoespaciales (Addati y Pérez, 2014), mismos que pueden ser utilizados tanto para la administración como para el control de obras civiles.

Situación actual del desarrollo de los UAV's

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.

En los últimos años, el desarrollo de los Drones ha sido impresionante, desde pequeños aparatos que pueden ser llevados como un brazalete, aparatos de aproximadamente 50 cm, hasta aeronaves del tamaño de helicópteros o aviones, destinados a la milicia (Lezama, 2015). Como una característica común se puede mencionar que todos son controlados por una persona. Ahora bien, de acuerdo a Addati y Pérez (2014), los aspectos que caracterizan a un UAV son:

- Espacio aéreo: Altura de vuelo, distancia, área, exterior o interior, urbano suburbano o rural.
- Dron: Peso, ala fija o rotante.
- Tipo de sensor: Fotografía, video, térmico, Light Detection and Ranging (LiDAR), es una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de la superficie de la tierra produciendo mediciones exactas de x, y, z).
- Operador remoto: Vuelo visual o navegación autónoma, capacitación requerida, permisos, certificado de aeronavegación.

Como la tecnología emergente más utilizada, las empresas de la industria de la construcción están empleando una variedad de drones para capturar datos para imágenes aéreas, mapeo topográfico, grabación de video, control de avance de obra, entre otros. El desarrollo de la tecnología también permite que se conecten con los trabajadores y la maquinaria para alimentar y supervisar el sitio de trabajo a través del monitoreo de las existencias, la dirección de los movimientos de tierra, el seguimiento de la productividad, cálculos de volúmenes, curvas de nivel y muchos más (Contractor, 2016).

En la actualidad, las empresas del ramo de la construcción están experimentando con diferentes tecnologías. A continuación se muestra una figura (véase Figura 1) en la cual podemos observar los porcentajes de nuevas tecnologías que las empresas del ramo de la construcción están adoptando, dentro de las cuales destaca el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (Drones) con un 20.7% de uso.

WHICH TECHNOLOGIES ARE COMPANIES EXPERIMENTING WITH?

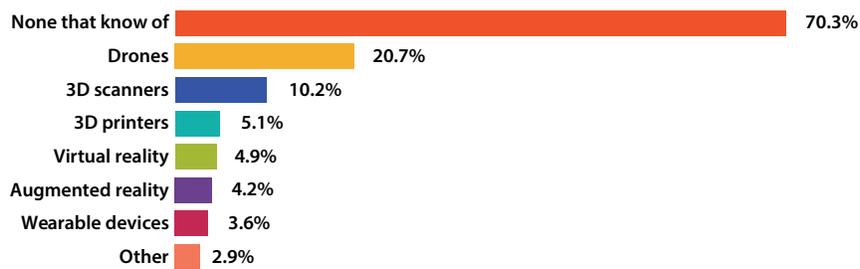


Fig. 1. Tecnologías con las que están experimentando las industrias del ramo de la construcción. Fuente: Contractor (2016).

Marco teórico

Actualmente, los drones han dejado de ser de uso exclusivo de las fuerzas militares (como lo fueron inicialmente) y han comenzado a incursionar en diversas actividades, ofreciendo diversas aplicaciones, sobre todo en la industria de la construcción, como se muestra en el presente trabajo.

Segovia (2018) clasifica los usos de drones dentro del ramo de la construcción, de acuerdo a las siguientes fases, que engloban desde el estudio preliminar, ejecución, mantenimiento, rehabilitación y promoción inmobiliaria:

1. Fase de estudio preliminar:
 - a. Cálculos de volúmenes.
 - b. Curvas de nivel.
 - c. Modelos digitales del terreno.
2. Fase de ejecución de obra:
 - a. Inspección continua de obra.
 - b. Evolución de los materiales en la obra.
 - c. Revisión continua de aplicación de planes de seguridad.
3. Fase de mantenimiento:
 - a. Utilización de drones para detección de grietas y fisuras en estructuras.
 - b. Detección de humedades.
 - c. Reparación de fachadas.
 - d. Impermeabilización de cubiertas.
 - e. Envoltorio térmico para rehabilitación de edificios.
4. Rehabilitación de patrimonio/herencia cultural:
 - a. Detección y evaluación de áreas susceptibles de rehabilitación en entornos arquitectónicos.
5. Promoción inmobiliaria:
 - a. Grabación de evolución de obra.
 - b. Videos corporativos para promoción.
 - c. Grabación de interiores/exteriores.

Cartografía y fotogrametría

Algunas de las aplicaciones cartográficas que se pueden obtener mediante la utilización de drones son: Topografía y cartografía, seguimiento y control de obras civiles, cálculo de movimiento de tierras, obtención de curvas de nivel (planimetría y altimetría), modelos digitales del terreno, planeamiento urbanístico, geometría de cubiertas, inventarios patrimoniales, cartografía de fondos marinos, entre otros.

Sheng y otros (2018) realizan un estudio con pruebas de campo con UAV's de deslizamientos de lodos en la Meseta de Loess (China) y establecen modelos digitales en 3D para 11 deslizamientos, produciendo Mapas de Ortofotos Digitales (DOM, por sus siglas en inglés) de alta resolución y Modelos Digitales de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés). Otro estudio realizado con la utilización de drones, es el de Casella et al. (2016), quienes evaluaron los cambios topográficos a lo largo de un tramo de costa en el Muni-

cipio de Borghetto Santo Spirito (Región de Liguria, Italia, Mediterráneo Noroccidental) mediante un sistema de aeronave pilotada remotamente junto con la estructura de movimiento y técnicas estéreo multivisión, cuyos resultados muestran que los drones se pueden utilizar para actividades regulares de monitoreo de playas y pueden proporcionar nuevos conocimientos sobre los procesos relacionados con cambios de playa, tanto topográficos como naturales, o bien, humanos.

En el caso de México, otra de las investigaciones emergentes es la búsqueda de material pétreo mediante el sobrevuelo de drones en los ríos, que capturan fotografías individuales que posteriormente se unen en un mosaico para calcular los volúmenes de material pétreo. La importancia de este estudio reside en el impacto que tiene el material pétreo en el sistema pluvial, pues el material viaja hasta los arrecifes provocando un proceso de sedimentación que culmina en la muerte de los corales (Valis, 2017).



Fig. 2. Equipamiento de Drones para trabajos de fotogrametría.

Obtenido de: <https://aerocamaras.es/servicios-Drones-profesionales/Drones-topografia-cartografia-geomatica/>

Geología

El rápido desarrollo de la ingeniería geoespacial ha facilitado la entrada de tecnologías emergentes en el mercado con un numeroso campo de aplicaciones en distintas ramas de las ciencias experimentales como la geodesia, la física o la geología (Watts, Ambrosia & Hinkley, 2012), especialmente si unimos estas tecnologías al uso de sensores y cámaras de alta resolución, termografía e infrarrojos. Su uso tiene como consecuencia, además de una importante disminución en costos con respecto a los métodos tradicionales, una mayor producción de volúmenes de datos (incluido sus análisis y representación de los mismos).

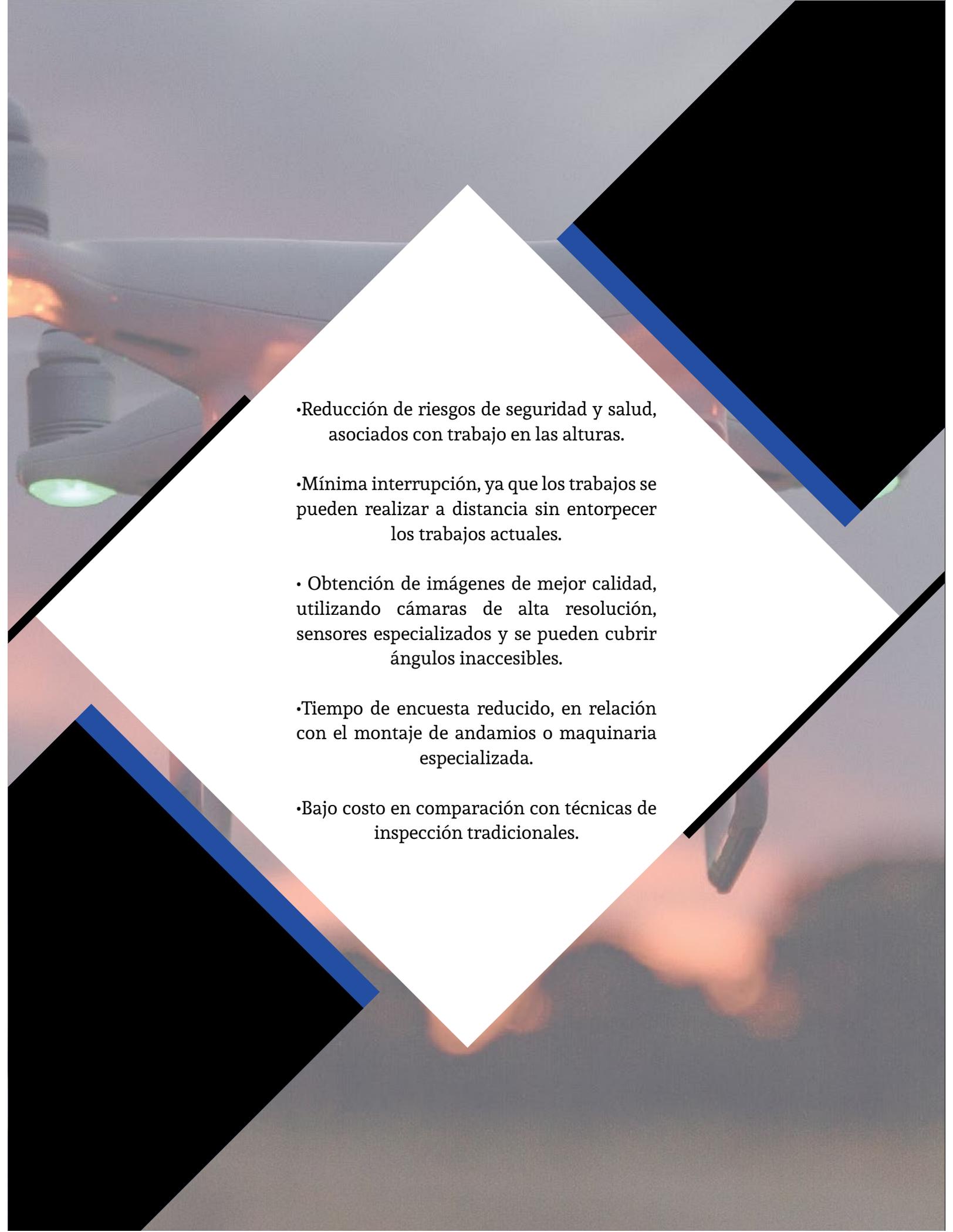
En este campo, los drones permiten obtener ortofotografías y modelos digitales de la topografía con una alta resolución especialmente útiles para el conocimiento de los procesos geológicos y el desarrollo de trabajos científicos (Fernández-Lozano & Gutiérrez-Alonso, 2016; Lozano, 2017). Algunas aplicaciones geológicas de los drones son: 1) elaboración de cartografías topográficas para el posterior mapeado geológico y de estructuras. 2) Análisis automático de parámetros de fracturación (tamaño, espaciado de la red de fracturas, densidad de patrones), y por último, 3) generación de modelos estadísticos de fallas a partir del tratamiento automatizado de los modelos digitales obtenidos en afloramientos de difícil acceso, como paredes verticales o con fuerte topografía (Fernández, 2017).

Inspección y control de obras civiles

Algunos usos de inspección y control de obra que se pueden realizar mediante el uso de drones incluyen entre otros: Seguimiento de control de obra mediante la obtención de video y fotografía para verificar el progreso del avance de obra. Comprobación de puntos correctos (para puntos de difícil acceso o altura), utilizando fotogrametría y posicionamiento GPS. Comprobación del estado de la estructura, mediante técnicas de termografía para verificar filtraciones, puntos de elevada temperatura y vicios ocultos, detectando grietas y defectos estructurales.

Una de las grandes ventajas del uso de drones en la industria de la construcción, es la inspección de obras civiles, con lo cual podemos obtener diversas vistas de una construcción, que de otra forma, resultarían inaccesibles. De acuerdo al Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL, 2017), la evaluación de daños con drones marca una gran diferencia: da a los inspectores y evaluadores estructuristas las habilidades para planificar y ejecutar rápidamente los diagnósticos: la información obtenida ayuda a la toma de decisiones para la posible demolición, evacuación o reforzamiento. Se cubren las áreas afectadas en menor tiempo y con mayor seguridad, proporcionando imágenes, datos y videos para orientar las prioridades de respuesta.

Jordan (2017) menciona algunas de las ventajas del uso de drones en la inspección de obras civiles:

- 
- Reducción de riesgos de seguridad y salud, asociados con trabajo en las alturas.
 - Mínima interrupción, ya que los trabajos se pueden realizar a distancia sin entorpecer los trabajos actuales.
 - Obtención de imágenes de mejor calidad, utilizando cámaras de alta resolución, sensores especializados y se pueden cubrir ángulos inaccesibles.
 - Tiempo de encuesta reducido, en relación con el montaje de andamios o maquinaria especializada.
 - Bajo costo en comparación con técnicas de inspección tradicionales.

Topografía

Mediante el uso de drones, se pueden obtener representaciones digitales de superficies terrestres tales como: Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y Modelo Digital del Terreno (MDT), los cuales representan distintas características del terreno. Curvas de nivel, tanto para uso en planimetría como altimetría. Ortofotografía, que, de acuerdo al Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, es un producto cartográfico resultante del tratamiento digital de fotografías aéreas al cual se le han corregido defectos como deformaciones de relieve del terreno, falta de verticalidad de la toma fotográfica y distorsiones propias del objetivo de la cámara empleada.

Los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) se utilizan cada vez más para controlar los cambios topográficos en las zonas costeras. En comparación con los datos de detección y determinación de la luz (LiDAR) o los datos de exploración con láser terrestre, esta solución es de bajo costo y fácil de usar, al tiempo que permite la producción de un Modelo de Superficie Digital (DSM) con una precisión similar (Nathalie, Bastien, Benoit & Xavier, 2016).



Fig. 3. Ortofotografía e informe de avance de obra. Revista RPASDrones pág. 26 (2018).

Mediciones de movimiento de tierras

Generalmente los trabajos de topografía convencional, se realizan utilizando cinta métrica y teodolito; el procesamiento de datos era realizado mediante cálculos manuales para determinar volúmenes de banqueo o de relleno, según sea el caso. Con el uso de drones, el proceso de automatización de estas tareas ha generado un consecuente ahorro tanto en tiempo como en inversión en equipos y personal. Las capacidades incluyen asignación de grados y análisis, comparación de sitios y superficies, incluida la visualización de cortes/rellenos, y el desarrollo y cumplimiento del plan de diseño.

Una de las formas en que los drones pueden ayudar a los trabajadores de la construcción es sobrevolar sus sitios de construcción mientras toman fotografías. Estas imágenes pueden ayudar a los trabajadores de la construcción a vigilar su productividad, rastrear sus materiales y monitorear cómo se unen sus proyectos (Vanian, 2017).



Fig. 4. John Deere se asocia con la startup de Drones Kespry.
Fuente: <http://fortune.com/2017/03/07/john-deere-drones-kespry-construction/>

Inspección de edificios

Los avances recientes en las tecnologías de Vehículos Aéreos no Tripulados han producido UAV's de bajo costo y alta movilidad, ampliando rápidamente su aplicación de ingeniería civil en el mundo real. Por ejemplo, las imágenes aéreas tomadas por vehículos aéreos no tripulados se han utilizado para construir modelos estructurales tridimensionales, evaluar las condiciones del camino y llevar a cabo la vigilancia y gestión del tráfico (Kim, et al., 2017).

A escala de edificio, la inspección es un proceso clave en el diseño de proyectos de rehabilitación. La disponibilidad de modelos 3D termográficos y ortoimágenes es esencial para el diseño óptimo de proyectos de rehabilitación eficientes. Con el uso de drones, se puede acceder a zonas inaccesibles, obtener diferentes vistas y ángulos desde las alturas, e incorporar sensores térmicos para obtener mayores detalles de las construcciones. Con estos modelos se pueden realizar diagnósticos objetivos incluso en los diseños más complejos de barrios y edificios, así como en el análisis del balance energético de los edificios y detección de sus patologías (González-Rodrigo, et al., 2016). Otro de los usos actuales de los UAV's en las inspecciones de edificios, es el monitoreo de grietas de concreto armado, ya que la obtención de imágenes cercanas y de alta calidad permite una mejor identificación y evaluación de las características de las grietas en elementos estructurales. A su vez, permiten tomar imágenes cercanas a las grietas superficiales en estructuras de gran escala, lo que facilita los resultados de identificación.

En Jojutla, México, los ingenieros estructurales trabajaron para evaluar edificios dañados. Mediante imagen de video y fotografía en tiempo real obtenida de los drones, se facilitó y aceleró la evaluación de las estructuras de alto riesgo desde ángulos visibles únicamente desde el aire. Esta experiencia mostró a los ingenieros el enorme valor que los UAV's pueden aportar en situaciones de desastre, acciones que, de otra forma, habrían representado grandes riesgos (y pérdida de valioso tiempo) por el peligro que representaba entrar en inmuebles dañados, de los cuales no se tiene una idea real de su estado (INEEL, 2017).



Siluetas Aviones Tripulados UAV Sistema Quadcopter Abejón Aire Sobre Edificios — Imagen de stock

Legislación en el uso de drones

Es de suma importancia el conocer los lineamientos básicos en el uso de drones, para conocer y acatar las leyes y reglamentos que aplican y, de esta forma, no caer en usos indebidos al desconocer la legislación que actualmente aplica, sobre todo, dentro del territorio mexicano. Para el caso de México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), es el organismo encargado de establecer las legislaciones en la materia. Entre las más importantes se mencionan las siguientes (SCT, 2015):

- Se privilegia la seguridad del público y de los usuarios.
- Solo pueden ser usados lejos de aeropuertos y helipuertos.
- Las nuevas normas son obligatorias para todos.

Este documento (CO AV 23/10 R2) establece las limitaciones al uso de Drones no tripulados:

- a) Según su peso (micro, ligeros y pesados).
- b) Según su clasificación (recreativo y comercial).
- c) Áreas de operaciones (prohibidas, restringidas y peligrosas).
- d) Operación solo de día.
- e) Límites de velocidad.
- f) Deberán contar con póliza de seguro y responsabilidad civil por daños.

Análisis de resultados

De acuerdo a la bibliografía revisada, se puede concluir que la utilización de Drones en la industria de la construcción aún es incipiente, pero avanza rápidamente debido a su facilidad de uso y bajo costo en comparación de los métodos tradicionales, además de brindar exactitud en los resultados obtenidos y otros factores.

Diversas empresas constructoras están invirtiendo en el uso de drones: Alrededor del mundo se están creando empresas dedicadas a ofrecer servicios de utilización de drones en el área de la construcción. Sin embargo, la variedad de aplicaciones de los UAV's en el área de la construcción, está directamente relacionada con el tipo de sensores utilizados como son: cámaras de video de ultra alta definición, cámaras térmicas, cámaras hiperspectrales, sensores de distancia, posición y desplazamiento.

Como se ha visto, los drones pueden tener aplicación el sector de la construcción durante todas sus fases, desde el estudio preliminar, ejecución de la obra, mantenimiento, incluso hasta llegar a la finalización y promoción de obra.

Conclusión

Dentro del campo de la Industria de la construcción, existen diversas disciplinas en las que sería de gran aplicación la capacidad de tomar imágenes en altura (Bañón-Blázquez, Ivorra-Chorro, et al., 2014):

- Ingeniería de carreteras: Diseño geométrico, análisis de nudos, realización de aforos en tiempo real.
- Ingeniería estructural: Inspección de zonas de difícil acceso en una estructura (apoyos, cubiertas, zonas elevadas).
- Geología: Caracterización de macizos rocosos en zonas inaccesibles o peligrosas (zonas escarpadas de montaña, simas o acantilados).
- Ingeniería marítima: Análisis de morfología de costas, inspección de obrasmarítimas y plataformas.
- Construcción: Seguimiento en la ejecución de obras civiles, documentación de procesos constructivos y unidades de obra.

Referencias bibliográficas

- Addati, G. A. y Pérez, L. (Octubre de 2014). Introducción a los UAV's, Drones o VANT's de uso Civil. *Academic Search Complete*, pp. 1-9.
- Bañón-Blázquez, L.; Ivorra-Chorro, S.; Aragonés-Pomaraes, L.; Varona-Moya, F. B.; Cano-González, M. y Tomás-Jover, R. (2014). *Empleo de drones (RPAS) para la elaboración de material audiovisual docente en asignaturas de Ingeniería Civil*. Universidad de Alicante, Depto. de Ingeniería Civil, Repositorio institucional, pp. 90-108.
- Brooks, M. (2012). The Drone Age. *New Scientist*, pp. 42-45.
- Contractor, P. (2016). Report Highlights How Contractors Approach Emerging Technology. *Professional Contractor, Business Source Complete*, pp. 22-23.
- Fernández Lozano, J. (2017). La tierra a vista de pájaro, uso de drones (UAV's) para el estudio y difusión de la Geología UAV's. *Tierra y tecnología* (49).
- Fernández-Lozano, J. & Gutiérrez-Alonso, G. (2016). Geological applications for UAV's. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, pp. 80-105.
- González-Rodrigo, B.; Tendero, R.; García-De-Viedma, M.; Pestana-Puerta, J.; Carrio-Fernández, A., Sanchez-Lopez, J. ... Marchamalo-Sacristán, M. (2016). Monitorización del comportamiento térmico de fachadas mediante UAV: aplicaciones en la rehabilitación de edificios. *DOI Académica Plus*, 91(5), pp. 571-577. Recuperado de DOI: 10.6036/7899.
- INEEL. (2017). *Ingeniería Civil + innovación en la inspección estructural aérea en inmuebles con afectaciones sísmicas*. Comunicado 18 de Octubre 2017.
- Kim, H.; Lee, J.; Ahn, E.; Cho, S.; Shin, M. & Sim, S.-H. (2017). Concrete Crack Identification Using a UAV Incorporating Hybrid Image Processing. *Sensors* (Basel, Switzerland).
- Lezama, S. (2015). La era de los Drones. *Contenido*, pp. 20-29.
- Nathalie, L.; Bastien, M.; Benoit, G. & Xavier, P. F. (2016). Monitoring the Topography of a Dynamic Tidal Inlet Using UAV Imagery. *Remote Sensing*, pp. 1-18.
- SCT. (29 de abril de 2015). *Regula la SCT el uso de aeronaves no tripuladas (Drones)*. México: Dirección de Comunicación Social SCT.
- Valis, D. (2017). Cartografía digital con Drones. *Conacyt Prensa*.
- Vanian, J. (2017). John Deere Floats Drones as the Next Big Tool for Construction Workers. *Fortune*.
- Watts, A. C.; Ambrosia, V. G. & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sensing*, pp. 1671-1672.