

# Cuadricóptero para Fotogrametría Topográfica de Superficies: Construcción y Validación de la Plataforma

Martínez Ramírez Williams de Jesus  
*Escuela de Ingeniería*  
*Universidad La Salle Pachuca*  
Pachuca, Hidalgo, México  
williams.martinez@lasallep.mx

Ordaz Oliver Mario Oscar  
*Escuela de Ingeniería*  
*Universidad La Salle Pachuca*  
Pachuca, Hidalgo, México  
mordaz@lasallep.mx

Ordaz Oliver Jesús Patricio  
*Centro de Investigación en Tecnologías*  
*de Información y Sistemas*  
*Universidad Autónoma del Estado de*  
*Hidalgo*  
Pachuca, Hidalgo, México  
jesus\_ordaz@uah.edu.mx

Montiel Hernández Justo Fabian  
*Escuela Superior Ciudad Sahagún*  
*Universidad Autónoma del Estado de*  
*Hidalgo*  
Cd. Sahagún, Hidalgo, México  
justo\_montiel@uah.edu.mx

Calderón López Jared Vladimir  
*Escuela de Ingeniería*  
*Universidad La Salle Pachuca*  
Pachuca, Hidalgo, México  
jared.calderon@lasallep.mx

González Rivero Federico  
*Escuela de Ingeniería*  
*Universidad La Salle Pachuca*  
Pachuca, Hidalgo, México  
federico.gonzalez@lasallepedu.onmicr  
osoft.com

**Resumen**— El uso de vehículos no tripulados ha revolucionado diversas áreas, desde la exploración marina, hasta la investigación en Marte. Los vehículos aéreos, como los drones, también son populares en la ingeniería civil, la arquitectura y la ingeniería ambiental. Este proyecto tiene como objetivo construir un cuadricóptero para realizar levantamientos topográficos eficientes en términos de tiempo y costos, en comparación con métodos tradicionales como el uso de una estación total. Se propone el uso de un vehículo aéreo no tripulado, específicamente un cuadricóptero, para capturar fotografías de áreas específicas, utilizando aplicaciones como Google Earth u otro software que proporciona datos georreferenciados para marcar áreas y posteriormente realizar vuelos automáticos con el cuadricóptero utilizando la fotogrametría. De esta manera, se pueden obtener suficientes fotografías que luego pueden procesarse para generar modelos 3D.

**Palabras Clave**—*Topografía, Fotogrametría, Procesamiento, Georreferencia, UAV's*

## I. INTRODUCCIÓN

La topografía también es conocida como geomática, se define como la rama de la ciencia y de la tecnología dedicada a determinar las posiciones relativas de puntos situados sobre la superficie de la tierra [5]. En [4], se estudió el tema fotogrametría y topografía mediante drones, desde la perspectiva de la arqueología, planteando una serie de ventajas respecto a los métodos tradicionales, entre estas resaltan la reducción de los costos y del tiempo en la ejecución de dichas tareas.

La fotogrametría emplea cámaras que se montan en los aviones o cuadricópteros para obtener imágenes de alta calidad, de tal manera que permita realizar el procesamiento de las imágenes; por lo cual, los levantamientos aéreos se han usado en todos los tipos de topografía especializada [5].

Tanto [2] como [3], abordan el uso y las tareas que pueden realizarse mediante la técnica de fotogrametría aplicada en la Ingeniería Civil; el primero, mediante el tema “Aplicaciones Topográficas de los Drones”, examina el tema desde el punto

de vista de la seguridad personal, debido a que con el uso de estos dispositivos, es posible realizar estudios topográficos sobre zonas peligrosas o de difícil acceso, y así obtener información que permita evitar el poner en riesgo a los operadores humanos; mientras que el segundo plantea la aplicación al control deformacional de estructuras y terrenos, mediante la técnica Structure From Motion, la cual permite generar ortofotos y modelos 3D sin necesidad de conocer posiciones y ángulos de incidencia. De igual manera, en dicha investigación se emplean sistemas RTK (Real Time Kinematics o cinemática en tiempo real) en los vehículos aéreos no tripulados, los cuales permiten obtener resultados con más precisión, también se mencionan las tecnologías aplicadas al control deformacional, las cuales están limitadas en zonas de difícil acceso y restringida visibilidad.

La topografía como ciencia no ha presentado cambios drásticos en los últimos años, sin embargo, las técnicas, los métodos y los instrumentos de medida con los cuales se efectúan este tipo de tareas sí se han visto ampliamente modificadas. De manera tradicional, los levantamientos topográficos se realizan con cinta métrica, con teodolitos y finalmente con la estación total, tal como se menciona en [1]; de igual manera el autor, aborda métodos recientes, como la fotogrametría a partir de un dron, las imágenes captadas con el vehículo aéreo no tripulado se comparan con los métodos tradicionales. Por consiguiente, aborda el error de medición, así como que los errores en los levantamientos topográficos son considerablemente menores cuando se implementa la fotogrametría con drones frente al uso de la cinta métrica, siendo la estación total el método más cercano a las medidas exactas.

[6]En su artículo desarrollaron un (UAS) basado en un octacóptero para la observación marítima ambiental, dicho sistema aéreo no tripulado contiene características específicas basadas en sensores capaces de medir velocidad/dirección del viento, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, polvo fino, datos multispectrales y RGB. Para la realización de dicha

actividad se desarrolló un sistema robusto que capaz de soportar ráfagas y vientos fuertes mediante el desarrollo de algoritmos de control de posiciones, considerando la ubicación solar. En contraste con los trabajos mencionados, [6] realizan la observación marítima ambiental por medio de tecnologías y sensores que no incluyen el uso de cámaras.

El concepto de dron va más allá de las aeronaves no tripuladas utilizadas con fines de entretenimiento. Existen diversos tipos de vehículos no tripulados controlados de manera remota, en los que se integran nuevas tecnologías y conocimientos, beneficiando de manera significativa la actividad humana en distintas áreas. En la actualidad, el uso de vehículos no tripulados ha representado grandes beneficios para mejorar las actividades humanas, entre las múltiples aplicaciones pueden encontrarse desde el ámbito acuático hasta el aeroespacial; por ejemplo, en el diseño de los submarinos empleados en la exploración de las profundidades oceánicas y el uso de dispositivos utilizados en la exploración de la superficie del planeta Marte. Por otro lado, los vehículos aéreos no tripulados han ganado una amplia popularidad, a tal grado que ahora entre sus aplicaciones se incluyen los estudios de Ingeniería Civil, arquitectura e ingeniería ambiental. Es por ello que el presente proyecto tiene como propósito describir la construcción de un vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricóptero para su aplicación en el levantamiento topográfico mejorando la eficiencia en términos de tiempo y costos, en comparación con los métodos tradicionales. Al utilizar un dron cambia totalmente la forma de trabajo, de tal manera que, no es necesario saber con exactitud los parámetros que se necesitan medir, sino simplemente la zona que se desea capturar, para realizar la actividad se pueden emplear sistemas de información geográfica como Google Earth, para así marcar la zona deseada, aplicando como punto principal la fotogrametría, la cual permitirá recopilar las fotografías suficientes para realizar el levantamiento y un modelo 3D del área capturada. Una vez obtenidos los datos requeridos, se realiza su procesamiento mediante el software especializado de fotogrametría, del cual se pueden obtener datos como; distancia, volumen, superficie, además de que se pueden exportar dichos resultados a otro software CAD.

## II. OBJETIVO

Construir un vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricóptero con la capacidad de realizar la identificación visual de superficies de manera autónoma y precisa, para lograr optimizar los levantamientos topográficos mediante el uso de la fotogrametría, mediante un software con una precisión (cm/pixel) que permita la elaboración de modelos 3D, empleando fotografías georreferenciadas tomando puntos en común y permitiendo obtener medidas como son áreas, volúmenes, y demás.

## III. METODOLOGÍA

En este proyecto de investigación se muestra la construcción de un vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricóptero, con el objetivo de realizar tareas de identificación visual en superficies, para así poder analizar, estudiar y segmentar gráficos topográficos. Por lo tanto, es necesario que el vehículo aéreo no tripulado (UAV por sus siglas en inglés) implementado cuente con una serie de características de funcionamiento y componentes que le

permitan realizar las actividades propuestas. Por consiguiente, a continuación, se presenta una lista con los principales elementos seleccionados para la construcción de la plataforma experimental de este trabajo, los cuales se encuentran en función de las actividades y/o tareas a realizar:

1. Chasis F450 genérico, común en el mercado de fácil acceso y precio accesible.
2. Hélices de polímero 0945 9" pulgadas de extremo a extremo y 45° de ángulo de inclinación" lo que permite una mayor propulsión y empuje.
3. Motores sin escobillas de 4 ejes F-450 F-550, modelo 2212 de 980 Kv.
4. Controladores electrónicos de velocidad o variadores de velocidad ESC (Electronic Speed Controller) a 20A tipo opto-aislado (sin circuito eliminador de batería), su función principal es evitar el sobre calentamiento en casos de carga máxima.
5. Central emisora Radio Master Zorro de 2.4 GHz con 16 canales, con interfaz OpenTx, con un alcance aproximado de 1000 metros, con receptor de telemetría ELRS modelo EP1 y EP2 a 2.4 GHz.
6. Batería LiPo (Litio polimérico) de 14.8 V, 4 celdas, 1550 mAh.
7. Radiolink-Control de vuelo Mini PIX amortiguación de vibración mecánico y por Software.
8. TS100 GPS, para obtener las coordenadas de posición en tareas de seguimiento de trayectorias y en modos de vuelo, incluyendo modos a prueba de fallo.
9. Cámara digital modelo GoPro Hero 10 Black, video en 5.3K, fotografías de hasta 23MP, Cámara lenta 8X a 2.7K.
10. Módulo de telemetría, 3DR Radio de 915 MHz, compatible con Pixhawk, el cual permite la transmisión de datos de aire a tierra.
11. Soportes para dron Impresos en 3D en material PLA.

Como se mencionó anteriormente, el UAV debe ser ligero, y contar con la capacidad de transportar una cámara de alta definición; además, requiere estabilidad en vuelo estacionario para mejorar la calidad de captura de la cámara y obtener de esta manera una visualización correcta de las superficies que se desean analizar. Esto brinda la capacidad de ejecutar tareas de levantamientos topográficos mediante la aplicación de fotogrametría con precisión. Adicionalmente, el vehículo aéreo no tripulado debe ser capaz de seguir trayectorias para definir correctamente los puntos en los que se realiza la captura de imágenes, respetando en todo momento mediante el uso del software los parámetros dados, como son la altura y la velocidad, empleando el módulo de telemetría para controlar este tipo de parámetros.

La selección de los componentes se realiza teniendo en cuenta la relación peso-potencia; esta característica impacta en la selección del marco, los motores, las hélices y la cámara. La cámara debe ser ligera, compacta y capaz de capturar fotografías de alta definición.

El proceso de ensamblaje de un cuadricóptero se inicia instalando los componentes electrónicos, como la placa de alimentación, que se conecta en la parte inferior de la

estructura del dron, posibilitando la alimentación de ciertos elementos, tales como el controlador de vuelo y los controladores electrónicos de velocidad (conocidos como ESC por sus siglas en inglés). Luego de soldar y ensamblar los elementos antes mencionados se procede a finalizar el ensamble del marco del dron uniendo los brazos con la placa superior del dispositivo, brindando estabilidad y soporte estructural. La combinación de estos elementos esencialmente da forma y robustez al marco del dron, creando la plataforma básica sobre la cual se montarán y conectarán los demás componentes.

Como controlador de vuelo, se utiliza un MiniPix con FMU V2 de la marca Radiolink. Se instalan posteriormente los motores sin escobillas de 980 kv, particularmente seleccionados debido a su compatibilidad con el modelo genérico de marco de dron F450; dichos motores desempeñan un importante papel en el manejo y la propulsión del cuadricóptero y los cuales se conectan cuidadosamente a los controladores electrónicos de velocidad (ESC) Hobbywing Xrotor de 20A, permitiendo un control preciso del cuadricóptero durante el vuelo. La conexión se realiza con precisión a través de la placa inferior del dron, asegurando una alimentación efectiva y confiable de los motores. De igual manera, se instala y solda un módulo regulador de voltaje UBEC de 5A de la marca Hobbywing. El UBEC, junto con los controladores electrónicos de velocidad (ESC), se conectan al controlador de vuelo Mini Pix para establecer una comunicación entre este y los motores, obteniendo un suministro de voltaje constante a un nivel de 5 volts, con la corriente eléctrica necesaria. Garantizando el control estable y seguro del dron, manteniendo una tensión constante para el correcto funcionamiento de todos los componentes del sistema. Posterior a la integración de todos los elementos, que incluyen componentes físicos, electrónicos, sensores y actuadores, se procede a instalar el sistema de posicionamiento global (GPS).

Continuando, se procede a montar y conectar el receptor, el cual se configura y vincula con la central emisora. Para avanzar con la configuración y calibración, se emplea el software Mission Planner, que facilita la modificación de los parámetros y diversas propiedades necesarias en el dron para su vuelo, así como la programación del firmware en el controlador de vuelo. Se realiza la calibración precisa del GPS, se afinan los ESC y se ajustan cuidadosamente los canales de la central emisora, garantizando el alcance de sus valores máximos y mínimos de manera exacta. La interfaz principal del software Mission Planner es intuitiva, lo que permite su fácil acceso y manipulación.

En la figura 1, se puede apreciar la interfaz del software en uso y como mediante las diversas ventanas es posible realizar la configuración de las propiedades y parámetros de los componentes principales de la plataforma experimental.

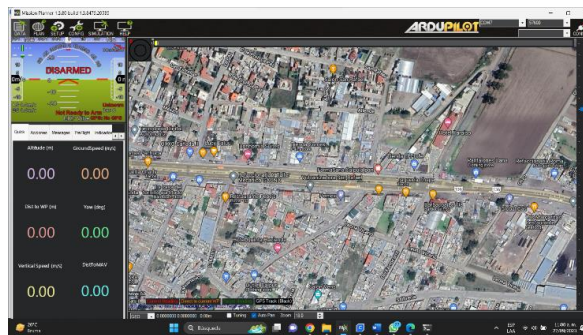


Fig. 1. Interfaz Principal del Software Mission Planner.

#### IV. RESULTADOS

En esta sección, se brinda una breve descripción de los resultados obtenidos durante la fase de construcción y las pruebas de vuelo, realizadas con la plataforma experimental. Dichas pruebas se llevaron a cabo utilizando el controlador de vuelo mini Pix programándose a través de Mission Planner, utilizando tanto el firmware original como su versión actualizada. Es importante mencionar que todas las pruebas de vuelo fueron satisfactorias, destacando la robustez en vuelo, lograda gracias a la correcta selección de los componentes, así como su construcción y puesta en marcha.



Fig. 2. Plataforma Experimental

De igual manera, se presentan los resultados obtenidos mediante la toma de fotografías y videos con la cámara implementada, visualizando aquellas tomas con gran resolución a una altura mayor a 30 metros.



Fig. 3. Fotografía Universidad La Salle Pachuca Campus La Concepción

En la figura 3, se muestra una fotografía panorámica de las instalaciones de la universidad La Salle Pachuca campus la Concepción, misma que fue tomada con el cuadricóptero construido para este trabajo de investigación. La altura aproximada a la cual se posicionó el cuadricóptero al momento de la captura de dicha fotografía fue de 60 metros, respecto al punto de despegue.



Fig. 4. Fotografía Universidad La Salle Pachuca Campus La Concepción (Cancha de basquetbol)

En la figura 4, se muestra una fotografía en vista superior de la cancha de basquetbol de las instalaciones de la universidad La Salle Pachuca campus la Concepción, misma que fue tomada con el cuadricóptero construido para este trabajo de investigación. La altura a la cual se posicionó el cuadricóptero al momento de la captura de dicha fotografía fue de 20 metros, respecto al punto de despegue. Dichos datos se obtuvieron a partir del módulo de telemetría junto con el software Mission Planner.

Cabe mencionar que resolución de las fotografías captadas con la cámara satisfacen las necesidades definidas por el software de fotogrametría PIX4D mapper.

La evidencia de estos resultados se puede apreciar en los videos a los cuales se puede acceder mediante los siguientes enlaces, mismos que permiten validar los objetivos propuestos para esta etapa del proyecto.

<https://youtu.be/J7xb5UthKw8>

[https://youtu.be/IE\\_u29t60DA](https://youtu.be/IE_u29t60DA)

<https://youtu.be/LtHwYk5syA>

Como se puede observar, se lograron los objetivos propuestos de vuelo y la implementación del uso de la cámara para iniciar tomas fotográficas enfocadas en actividades topográficas.

## V. CONCLUSIONES

La incorporación de vehículos aéreos no tripulados en la actualidad ha generado una gran cantidad de aplicaciones. Gracias a la continua innovación y desarrollo tecnológico, el uso de dichos dispositivos ha experimentado una creciente demanda, especialmente en el ámbito militar, debido a sus características y flexibilidad de software como de hardware. Esta adaptabilidad permite la configuración y modificación de aspectos como la cámara, sensores, entre otros componentes.

Al construir el Dron, resulta esencial considerar de manera específica los materiales, componentes y sistemas requeridos para alcanzar los objetivos establecidos. Desde la selección

correcta de motores y hélices para una propulsión adecuada, hasta el tipo de sistema de navegación y cámaras, cada etapa debe ser correctamente planificada y ejecutada.

A medida que se exploran las diversas aplicaciones y ventajas de estos vehículos aéreos no tripulados, es evidente que se han convertido en herramientas indispensables para la obtención de datos precisos, la mejora y eficiencia de la seguridad en topografía mediante la fotogrametría. Por lo cual se han alcanzado finalmente los principales objetivos del trabajo, los cuales comprendieron la elaboración de la plataforma experimental (UAV), así como las pruebas de vuelo para validar la construcción, poniendo en práctica todos los aspectos y características mencionados para garantizar el correcto funcionamiento del UAV.

Cabe mencionar que a la plataforma experimental se le ha montado la cámara, misma que se encuentra funcional tomando foto y video de alta calidad. Dicho conjunto de fotografías será utilizado en la siguiente etapa para ser procesadas con técnicas de fotogrametría, permitiendo generar un modelo 3D acerca de la superficie sobre la cual se obtuvieron las imágenes.

En el mercado se pueden encontrar kits para la construcción de vehículos aéreos no tripulados de tipo cuadricóptero como el que se construye para el presente trabajo, dichos conjuntos de componentes pueden presentar costos muy accesibles, característica que los hace muy atractivos, sin embargo, su calidad y eficiencia no satisfacen las necesidades de este proyecto.

Puesto que los materiales de construcción de componentes como los motores sin escobillas son de muy baja calidad, estos no satisfacen los parámetros de empuje, velocidad, torsión y corriente, entre otros que se mencionan en sus hojas de características.

Otro ejemplo similar que se deriva de los componentes de estos kits económicos se observa en los controladores electrónicos de velocidad (ESC), que por su baja calidad no brindan las corrientes eléctricas demandadas por los motores sin escobillas, cuando hay cambio súbito en su velocidad de giro. Por otra parte, la baja calidad tanto del receptor como del transmisor de las señales de radio presentan el riesgo latente de la pérdida de la comunicación con la aeronave, situación que puede ocasionar accidentes de alto riesgo para la sociedad, estas mismas circunstancias podrán presentarse al utilizar un módulo de posicionamiento global (GPS) de baja calidad.

Para este proyecto se hizo una rigurosa selección de los elementos y componentes que conforman al multi-rotor, con el objetivo principal de salvaguardar tanto la integridad del operador, como la de terceros que pudieran ser afectados. Tiendas en línea que ofrecen componentes de buena calidad, incluso la posibilidad de adquirir el multi-rotor armado, pero esta alternativa duplica e incluso triplica el costo.

Como trabajo a futuro se contempla el uso de dicha plataforma experimental, así como de las imágenes capturadas a través de ella para ser procesadas mediante el software de fotogrametría PIX4D mapper.

## REFERENCIAS

- [1] Del Rio-Santana, O., Espinoza-Fraire, T., Saenz-Esqueda, A. y Cortés-Martínez, F. (2019). Levantamientos Topográficos con drones. Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo, Tec. Lerdo. Vol 1, p.p. 16-19.

- [2] Ferreira, M. R., & Aira, V. G. (2017). Aplicaciones topográficas de los drones. Obtenido de: [http://www. biblioteca.ca.gov.ar/greenstone/collect/otragr/index/assoc/HASH0159/314a3cb](http://www.biblioteca.ca.gov.ar/greenstone/collect/otragr/index/assoc/HASH0159/314a3cb), 8(11).
- [3] Gómez-Zurdo, R. S., Martín, D. G., González-Rodrigo, B., Sacristán, M. M., & Marín, R. M. (2021). Aplicación de la fotogrametría con drones al control deformacional de estructuras y terreno. *Informes de la Construcción*, 73(561), e379-e379.
- [4] Ochoa, G. A., & Delgado, G. J. (2013). La fotogrametría digital mediante drone como alternativa en el registro topográfico y 3D de sitios arqueológicos.
- [5] Wolf, P., & Ghilani, C. (2016). *Topografía*. Alpha Editorial.
- [6] S. Jung and W. Kim, "Development of an Unmanned Aerial System for Maritime Environmental Observation," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 132746-132765, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3115595.