



uais

RA XIMHAI

Volumen 13 Número 3 Edición Especial
Julio-Diciembre 2017
65-77

SISTEMA DE GEOREFERENCIADO DE IMÁGENES CON DRONES

GEOREFERENCED IMAGE SYSTEM WITH DRONES

Héctor A. Pérez-Sánchez¹; Edward U. Benítez-Rendón¹ y Miriam Díaz-Rodríguez²

¹Estudiante de Maestría en Sistemas Computacionales. Instituto Tecnológico Superior de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Zapopan Camino Arenero 1101, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México. ²Profesor de tiempo completo Titular A. Departamento de Investigación y posgrados Instituto Tecnológico Superior de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Zapopan Camino Arenero 1101, El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco, México.

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como propósito general el desarrollo de un sistema que permita la generación de rutas de vuelo para un dron, la adquisición de información geolocalizada (GPS) durante el recorrido y la toma de fotografía de puntos de interés para la creación de imágenes georreferenciadas, mismas que serán utilizadas para la generación de los archivos KML (del inglés, Keyhole Markup Language) para la representación de datos geográficos en tres dimensiones para ser visualizadas sobre la herramienta de Google Earth.

Palabras clave: Drone; Georreferenciación; KML; Google Earth.

SUMMARY

This paper has as general purpose develop and implementation of a system that allows the generation of flight routes for a drone, the acquisition of geographic location information (GPS) during the flight and taking photographs of points of interest for creating georeferenced images, same that will be used to generate KML files (Keyhole Markup Language) for the representation of geographical data in three dimensions to be displayed on the Google Earth tool.

Key words: Drone; georeferenced; KML; Google Earth.

INTRODUCCIÓN

Los vehículos aéreos no tripulados (UAVs, del inglés Unmanned Aerial Vehicle) conocidos, también como drones, han logrado en un par de años tomar gran popularidad en el mercado, en particular los vehículos multirrotores. Estos vehículos están caracterizados por poseer varios rotores, tienen la capacidad de realizar despegues y aterrizajes de manera vertical al igual que los helicópteros. Las característica que los posiciona en el mercado de los UAVs, son las capacidades superiores de maniobrabilidad y estabilidad que poseen frente a los aviones y helicópteros.

Uno de los multirrotores más populares en la actualidad es el cuadricóptero o quadrotor, denominado así porque cuenta con cuatro motores de propulsión. El quadrotor es un sistema no lineal, subactuado, sujeto a perturbaciones externas y a incertidumbre de parámetros (Villanueva G., 2015).

Entre las aplicaciones con drones se encuentran las siguientes:

- Vigilancia: algunos gobiernos de México realizan vigilancia con elementos de la policía apoyados por drones (Agencias | El Universal, 2013) (Agencias | El Universal, 2014a).

- Supervisión y monitoreo de terrenos: en los terrenos de difícil acceso o irregular, los UAV se desplazan con gran facilidad, como los son en campos de agricultura, barracas, etc. (Agencias | El Universal, 2014b) (Inteligencia DYNAMICS S.L., 2012).
- Inspección de infraestructura: inspección de obras desde el aire, estimación de impacto visual de grandes obras y supervisión de redes eléctricas (Inteligencia DYNAMICS S.L., 2012) (Hemav, 2013).
- Búsqueda y rescate: el reducido tamaño de estos UAV, permiten tenerlos siempre disponibles en estaciones de montaña, reduciendo considerablemente el tiempo de búsqueda (Arellano M., 2014).
- Detección de incendios: el vehículo no tripulado puede supervisar una amplia zona boscosa desde el aire, sin riesgo de vidas humanas y reduciendo los costes comparado con los activos humanos necesarios para desarrollar la misma tarea.
- Filmación: actualmente la industria del entretenimiento aprovecha estas ventajas en la etapa de filmación, para esto equipa a los vehículos multirrotores con cámaras de altas resoluciones para obtener fotografías y videos aéreos de alta calidad, materiales que han despertado interés en diferentes áreas de investigación debido a las diversas aplicaciones de monitoreo que se pueden desarrollar.

En resumen, los UAV son idóneos para aplicaciones donde sea necesario el sensado de parámetros y adquisición de datos, especialmente en lugares de difícil acceso y sin poner en peligro ninguna vida humana. Las diferentes problemáticas y aplicaciones como lo son contaminación, deforestación y situaciones de alto riesgo (incendios, inundaciones, desastres naturales) para las personas en diferentes sectores de la sociedad, motiva a utilizar las ventajas que proporcionan los vehículos multirrotores, para utilizarlos como una solución tecnológica que se integren a otros sistemas que permitan mejorar la logística de un proceso, tiempos, costos e inclusive evitar la pérdida de vidas humanas.

Los UAVs de tipo multirrotor son sistemas versátiles para monitoreo e inspección, razón por la cual se ha decidido elegir a este tipo de vehículo para el desarrollo de aplicaciones como soluciones tecnológicas complementarias de sistemas que ayuden a solución de problemas complejos de la sociedad.

Este trabajo presenta la investigación aplicada de UAVs, debido a las ventajas que presenta el prototipo es una aeronave de despegue vertical dadas sus ventajas de maniobrabilidad, control de movimiento y costo (Bouabdallah *et al.*, 2004). El multirrotor en conjunto con sensores y diferentes tipos de cámaras (imágenes RGB, IR, térmicas, multiespectrales e hiperespectrales) permiten realizar sistemas aéreos que se puedan adecuar para resolver problemas específicos. El multirrotor presenta un sistema aéreo autónomo que en base a una ruta de vuelo y la especificación de la toma de fotografías, permite el registro de los datos geográficos de tomas para su posterior análisis y procesamiento.

Vehículos aéreos no tripulados y fotografía aérea

La fotografía aérea proporciona otra perspectiva de análisis para diferentes campos de investigación como la cartografía, arqueología, agricultura, silvicultura, acuicultura, ganadería, entre otros. Integrar diferentes tipos de cámaras permite obtener información para crear sistemas que ayuden en las diferentes áreas. Una de las tendencias de las fotografías aéreas es que se utilizan como medio de información, las cuales son procesadas para obtener información útil para diversos análisis. Una parte fundamental es tener la información referente a las capturas para facilitar su análisis.

El interés en vehículos inteligentes está creciendo como resultado de su gran campo de aplicaciones. Los UAV son cada vez más plataformas populares, debido a sus numerosas aplicaciones en supervivencia,

inspección, búsqueda y rescate, entre otras tareas. Estas aplicaciones pueden ser implementadas en el sector privado tanto como en el sector público. Debido al crecimiento exponencial de dichos vehículos, han sido clasificadas, dentro de las cuales podemos resaltar 4 tipos de ellos de acuerdo al tema de estudio.

- Aeroplanos: la principal ventaja es la facilidad de control y guiado, así como su alta fiabilidad ante condiciones extremas o difíciles. Su desventaja radica en su falta de maniobrabilidad en espacios reducidos, *Figura 1-a*.
- Dirigibles: destacan por su estabilidad en el aire y su gran autonomía. En contra tienen una reducida capacidad de carga en relación con su volumen. Su principal problema es la poca maniobrabilidad. Son adecuados para tareas de interiores, siempre que sean interiores de dimensiones grandes como por ejemplo un estadio o salas de conciertos, *Figura 1-b*.
- Helicópteros: tienen ventajas distintas sobre aeroplanos como el despegue y aterrizaje vertical en espacios limitados, tienen también la habilidad de mejorar su maniobrabilidad, y ofrecen una gran controlabilidad y agilidad. Sin embargo, la dinámica de estos rotores es significativamente más complejas que un avión de ala fija (Luque V., 2010), *Figura 1-c*. Los vehículos más utilizados en condiciones de poco alcance (menos de diez kilómetros) son los helicópteros, ya que mantienen una relación entre su capacidad de carga y volumen excelente, su desventaja se presenta en la dificultad de control.
- Multirrotores: las características que destacan sobre los otros vehículos son: tanto su dinámica como capacidad de vuelo lo hacen el mejor en maniobrabilidad con respecto a los 3 vehículos anteriores. La capacidad de vuelo en interiores lo diferencia del resto, consiguiendo así una de las características más importantes a la hora de elegir un UAV u otro, *Figura 1-d*.



Figura 1. UAVs: a) Arriba-Izquierda: Aeroplano, b) Arriba-Derecha: Dirigible, c) Abajo-Izquierda: Helicóptero, d) Abajo-Derecha: Multirrotor.

Sistema de posicionamiento global (GPS) y sistema de información geográfica (GIS)

El sistema de posicionamiento global (GPS, del inglés Global Positioning System) es un sistema de radionavegación de los Estados Unidos de América, basado en el espacio, que proporciona servicios fiables de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo. A cualquier usuario con un receptor GPS, el sistema le proporcionará su localización y la hora exacta sin importar las condiciones atmosféricas, de día o de noche, en cualquier lugar del mundo y sin límite alguno de usuarios simultáneos (Luque V., 2010).

Un sistema de información geográfica (GIS, del inglés Geographic Information System) es un Sistema informático para captura, almacenamiento, consulta, análisis y visualización de datos geoespaciales (Chang, 2015). De acuerdo con la Online ESRI GIS Dictionary, el proceso de georreferenciación convierte las coordenadas de un ráster (conjunto de píxeles, en las cuales cada una contiene un valor que representa cierta información) a un sistema de coordenadas conocido en orden para ser vista, analizada con otros conjuntos de datos espaciales que quizá posea (Docan, 2015).

Desde sus comienzos el sistema GIS ha sido importante para la planeación de uso de tierra, evaluación de peligros naturales, análisis de hábitat de vida silvestre, vigilancia de la zona de ribera, la administración de bosques y planeación urbana (Chang, 2015).

La lista de campos de aplicación que han beneficiado el uso de GIS se ha expandido significativamente por los pasadas dos décadas, una rápida búsqueda sobre estas aplicaciones son: fuentes naturales, peligros naturales, hidrología superficial y subterránea, meteorología, análisis y monitoreo ambiental, riesgo de inundaciones, suelo, administración del ecosistema, hábitat de vida silvestre, agricultura, silvicultura, administración y análisis de paisajes, arqueología, transportación, salud, turismo, planeación de respuesta emergente, evaluación de contaminación, servicios públicos y operaciones militares (Chang, 2015).

En resumen por la ArcGIS Resources, la georreferenciación es el uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas. Todos los elementos de una capa de mapa tienen una ubicación geográfica y una extensión específicas que permiten situarlos en la superficie de la Tierra o cerca de ella. La capacidad de localizar de manera precisa las entidades geográficas es fundamental tanto en la representación cartográfica como en el Sistema GIS.

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

El sistema GIS comprende de 3 partes principales:

- Prototipo Multirrotor.
- Sistema Embebido para la adquisición de fotografías aéreas y posicionamiento global.
- Software para la generación de imágenes georreferenciadas y archivos KML.

El prototipo GIS es un hexacóptero, el cual fue adaptado de acuerdo a las necesidades para su implementación.

El sistema Multirrotor de la *Figura 2* tiene las características siguientes mostradas en el *Cuadro 1*. Las características plasmadas fueron hechas mediante pruebas realizadas a 2 metros de altura.

Los componentes necesarios que se integraron a la estructura del hexacóptero se muestran en el diagrama a bloques de la *Figura 3*.

Cuadro 1.- Características del hexacóptero

Características	
Configuración de vuelo	“X”
Diagonal de motor a motor	0.55 m
Diámetro del estator del motor	0.22 x 0.12 m
KV	920 rpm/Volt
Número de polos del motor	14
Tamaño de hélices	9 x 4.5 in
Alimentación	LiPo 4s 6200 mAh
Peso	2.3Kg
Autonomía de vuelo en sustentación	720

*Revolución constante de un motor por Volt

La comunicación del hexacóptero durante el vuelo se realiza por medio de 2 módulos de transmisión por radio frecuencia, un módulo Tx – Rx de telemetría (915MHz) permitiendo conocer en todo momento el estado del prototipo y el envío de instrucciones desde la estación central de vuelo, y un módulo Tx de video (5.8MHz) el cual permite visualizar desde la estación central de vuelo (ECV) la trayectoria del vuelo durante la adquisición de las imágenes.



Figura 2. Estructura del hexacóptero.

El sistema diseñado realiza todo el proceso de adquisición de imágenes y seguimiento de trayectorias de manera autónoma. Debido a que el sistema es autónomo, se consideran todas las medidas de seguridad necesarias, las pruebas deben realizarse en espacio abierto y libre de personas, control remoto adicional para la toma inmediata del control de vuelo del hexacóptero, además de control total del hexacóptero por medio de la estación central de vuelo.

El funcionamiento interno del hexacóptero manera autónoma durante el recorrido para la adquisición de imágenes se muestra diagrama de flujo de la *Figura 4*.



Figura 3. Diagrama a bloques de hardware integrado a hexacóptero.

La primera fase del algoritmo es la verificación del sistema inalámbrico, la comunicación embebido-cámara, el cual permite la interacción del programa con la cámara, la inicialización del programa SIG, permite el contacto de las 3 partes que conforman el sistema: el multirrotor, el embebido y la cámara, permite conocer si todas las partes están listas para realizar los procesos, se desarrolla un archivo log el cual proveerá la información necesaria en todo momento del vuelo, durante el vuelo, el algoritmo verifica los parámetros que le fueron asignados para la toma de fotos, si estos se cumplen el programa almacenará la información en el archivo log el cual corre en todo momento, se realiza la captura necesaria, debido a las especificaciones de la cámara es necesario generar una latencia de 2 segundos entre foto.

Para el procesamiento de las tomas aéreas realizadas durante el vuelo, se realizan en tierra, es decir en la estación central de vuelo. Después de finalizar el recorrido realizado por el hexacóptero, se procede al procesamiento de la información adquirida por el sistema para la generación de los archivos. La *Figura 5* muestra la estación central de vuelo donde durante el vuelo se monitorea todos los movimientos y acciones que realiza el hexacóptero durante y después del vuelo para el procesamiento de la información obtenida durante el recorrido.

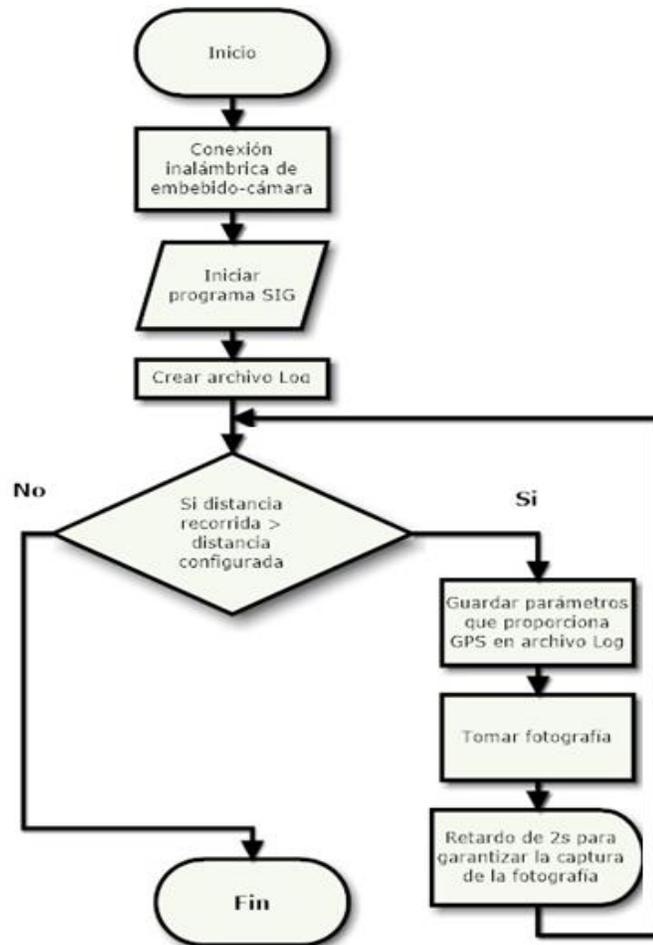


Figura 4. Diagrama de flujo de algoritmo para toma de fotos.

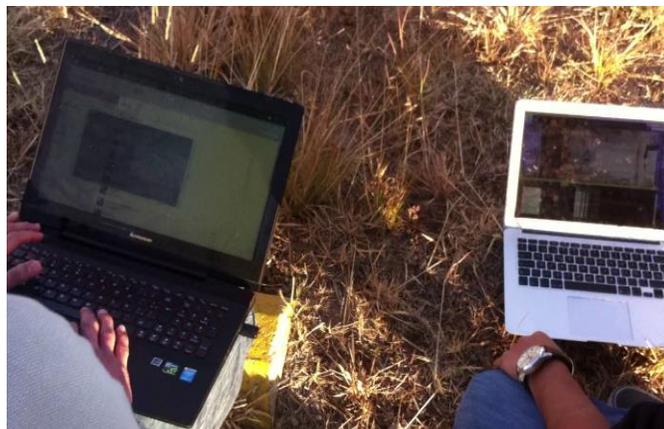


Figura 5. Adquisición y procesamiento de los datos generados por el sistema en la ECV.

Una vez adquirido los datos necesarios procedemos a abrir el software diseñado para implementar las funciones de georreferenciación y la generación de los archivos KML, las cuales fueron diseñadas para este proyecto, como se muestra en la Figura 6.

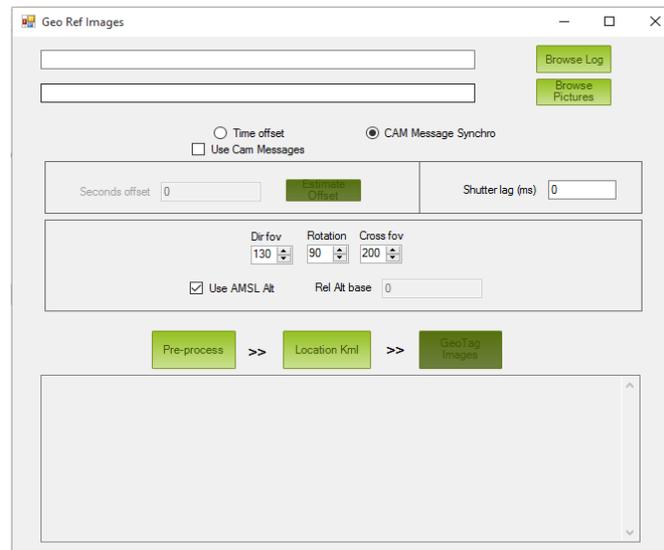


Figura 6. Programa para la generación de imágenes georeferenciadas y archivos KML.

Como resultado de las pruebas obtendremos imágenes las cuales contienen los datos del vuelo y los archivos KML mismos que pueden ser abiertos por la herramienta de Google Earth.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para probar el sistema se realizaron diversos vuelos de manera autónoma en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Zapopan, donde se recabaron los datos necesarios para la generación de las imágenes y archivos de la ruta especificada. La *Figura 7* muestra el desarrollo de las pruebas de campo.

Las medidas de seguridad durante las pruebas, son:

- La prueba se realizó en un espacio abierto.
- No se encontraban personas cercanas durante las pruebas.
- Vigilancia de los parámetros del hexacóptero por medio de telemetría.
- Vigilancia del sistema para la adquisición de datos y fotografía.



Figura 7. Vuelo autonomo y adquisicion de datos.

El resultado de un vuelo se encuentra registrado en la bitácora escrita el día 06 de febrero del 2016 que se muestra en el *Cuadro 2*.

Cuadro 2. Bitácora de vuelo	
Bitácora de vuelo	
<i>Hora</i>	Sábado 6 de febrero del 2016, a las 10:32:46
<i>Ubicación</i>	Instalaciones del Intituto Tecnológico Superior de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Zapopan (Edificio de investigación y posgrados).
<i>Ruta de vuelo</i>	GPS Lat: 20.7024716 Long: -103.4748616 Se abarca una zona con dimensiones de 30 x 20 m dejando 100 m lineales, contemplando los puntos 3,4,5,6 y 7 para la obtencion de las imagenes teniendo una distancia lineal aproximada de 80 m y una foto por cada 7 m.

La ruta trazada de vuelo para la prueba es mostrada en la imagen de la *Figura 8*. Para la generación del plan de vuelo se utiliza la herramienta Mission Planner el cual posee una arquitectura para el diseño y generación de misiones.

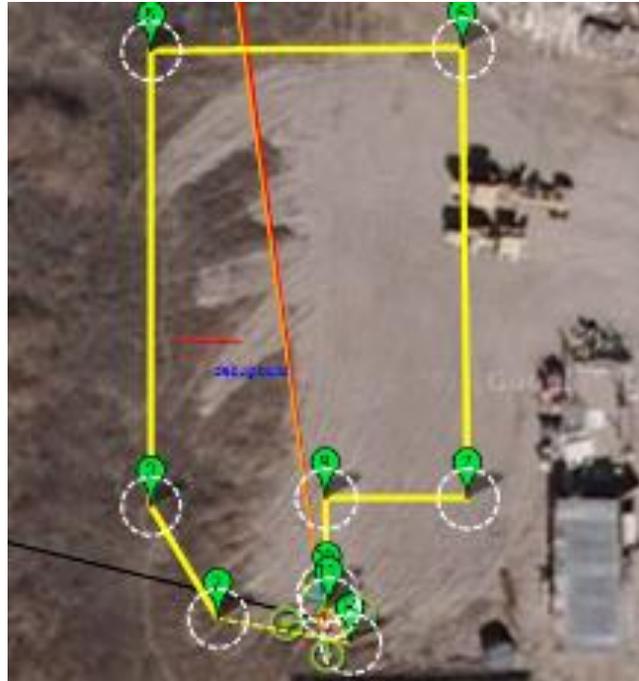


Figura 8. Ruta de vuelo.

Los resultados de la prueba se demuestran en las imágenes de la *Figura 9* y la *Figura 10* representando respectivamente, la imagen con los datos georeferenciados y los archivos KML los cuales pueden visualizarse en la herramienta Google Earth.

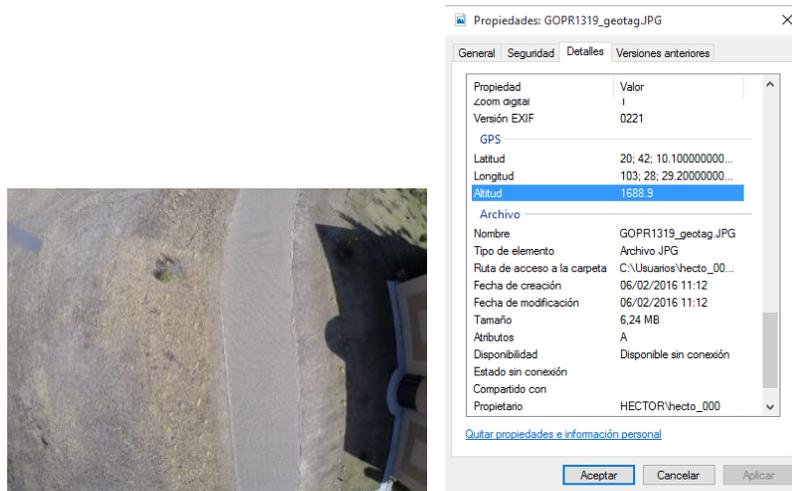


Figura 9. Imagen georeferenciada.



Figura 10. Imágenes georeferenciadas vistas desde la herramienta Google Earth.

La prueba realizada valida la funcionalidad del sistema, los datos obtenidos en las pruebas es información básica para realizar el sistema de georeferencia, algunas otras variables a considerar en un futuro son las posiciones angulares en las cuales fueron adquiridas en cada toma (ϕ, θ, ψ) roll, pitch, yaw respectivamente. El sistema actual está diseñado en módulos pero en un futuro se pretende realizar la integración total de las partes en un solo software. Debido a la seguridad tanto del sistema como prevenir daños a terceros en el desarrollo de las pruebas, el vehículo no tripulado realizó la trayectoria a una velocidad promedio de 5 m/s, pero para futuras pruebas se pretenderá aumentar esa velocidad conforme los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

En este trabajo se demostró que los UAVs en conjunto con nuevos avances tecnológicos son herramientas potenciales que permiten desarrollar aplicaciones impactantes en diferentes sectores de la sociedad. El sistema de georeferenciado de imágenes se desarrolló con el fin de ser una herramienta adaptable a diferentes tipos de vehículos aéreos (aviones, helicópteros, dirigibles) e incluso a vehículos terrestres, que permita junto a otras herramientas realizar una solución a problemáticas más complejas de la sociedad que puede abarcar desde aplicaciones para medir índices de deforestación, estadísticas de contaminación de áreas naturales, medición de impactos provocados por incendios forestales, entre otros.

Con los resultados satisfactorios obtenidos del funcionamiento del sistema de georeferenciado de imágenes, se propone realizar un sistema completo que contemple una herramienta para generar mapas ortogonales con las imágenes obtenidas y además se agregue un módulo de procesamiento de imágenes de acuerdo a los requerimientos de la problemática que se pretenda atacar.

LITERATURA CITADA

- Agencias | El Universal. (2013). *El Universal - Computación - Drones encargados de la seguridad en Puebla*. Available at: <http://archivo.eluniversal.com.mx/computacion-tecno/2013/drones-seguridad-puebla-80614.html> (Accessed: 8 July 2015).
- Agencias | El Universal. (2014a). *El Universal - DF - Piden utilizar 'drones' para reforzar vigilancia en el DF*. Available at: <http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2014/piden-utilizar-39drones-39-para-reforzar-vigilancia-en-el-df-1003545.html> (Accessed: 10 November 2015).
- Agencias | El Universal. (2014b). *El Universal - DF - Vigilarán barrancas y áreas verdes con drones*. Available at: <http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2014/impreso/vigilaran-barrancas-y-areas-verdes-con-drones-122247.html> (Accessed: 9 December 2015).
- Arellano M., C. A. (2014). *Navegación 3D de un sistema de vuelo autónomo de tipo quadrotor*. Tesis de Maestría. CINVESTAV del IPN Unidad Guadalajara.
- Bouabdallah, S., Murrieri, P., & Siegwart, R. (2004). Design and control of an indoor micro quadrotor. In *Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004 IEEE International Conference on* (Vol. 5, pp. 4393-4398). IEEE.
- Chang, K. (2015). *Introduction to geographic information systems*. 8th edn. Edited by McGraw-Hill Education. New York.
- Docan, D. C. (2015). *ArcGIS for Desktop Cookbook*. Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- Hemav. (2013). *Endesa usará drones para supervisar la red eléctrica | Hemav*. Available at: <http://blog.hemav.com/endesa-usara-drones-para-supervisar-la-red-electrica/> (Accessed: 7 June 2015).
- Inteligencia DYNAMICS S.L. (2012). *Aplicaciones y usos:: inteligencia DYNAMICS*. Available at: http://www.iuavs.com/pages/aplicaciones_y_usos (Accessed: 2 March 2015).
- Luque V., L. Fernando. (2010). *Design, Construction and Control of a Quadrotor Helicopter*. Tesis de maestría. CINVESTAV del IPN Unidad Guadalajara.
- Villanueva G., O. A. (2015). *Control de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para reconocimiento en interiores*. Tesis de maestría. CINVESTAV del IPN Unidad Guadalajara.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Zapopan por haber brindado el equipo y las instalaciones para realizar el artículo.

SÍNTESIS CURRICULAR

Héctor A. Pérez Sánchez

Recibió el grado de Ingeniero Electrónico en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Trabajó en el Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Guadalajara, México como Ingeniero de desarrollo en el área de Control Automático. Trabajó en Intel Corporation en

el área de desarrollo para dispositivos móviles. Su principal interés está enfocado en el desarrollo de software para aplicaciones con UAV's. Actualmente es estudiante de Maestría en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Zapopan. Correo Institucional: hector.perez.msc@itszapopan.edu.mx.

Edward U. Benítez Rendón

Recibido de ingeniero Electrónico en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Actualmente trabaja en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Guadalajara, México, como ingeniero de desarrollo en proyectos de investigación relacionados sistemas aéreos no tripulados con vehículos autónomos. Sus intereses incluyen desarrollo de aplicaciones y control de navegación para UAVs. Actualmente es estudiante de Maestría en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Zapopan. Correo Institucional: edward.benitez.msc@itszapopan.edu.mx.

Miriam Díaz Rodríguez

Ingeniera en computación por el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI) en 2007, obtuvo su grado de maestra en Ciencias en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) Unidad Guadalajara en 2010, donde realiza actualmente su doctorado. Es profesora titular en el Instituto Tecnológico Superior de Jalisco José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Zapopan, entre sus áreas de interés se encuentran sistemas de eventos discretos y teoría computacional. Correo Institucional: mdiaz@itszapopan.edu.mx.