

# Levantamientos Topográficos con Drones

O. Del Río-Santana<sup>1</sup>, T. Espinoza-Fraire<sup>\*2</sup>, A. Sáenz-Esqueda<sup>3</sup>, F. Cortés-Martínez<sup>4</sup>.

**Resumen**—En este trabajo se lleva a cabo un levantamiento topográfico con tres métodos y comparados entre sí, para conocer que metodología o equipo tecnológico muestra un mejor desempeño, el desempeño es medido de acuerdo al error obtenido en las mediciones del levantamiento topográfico. Los métodos a utilizar para el levantamiento topográfico son: con cinta métrica, estación total y Drone.

**Palabras claves**— cinta métrica, drone, estación total, topografía.

**Abstract**— In this work a topographic survey is carried out with three methods and compared to each other, to know which methodology or technological equipment shows a better performance, the performance is measured according to the error obtained in the measurements of the topographic survey. The methods to be used for the topographic survey are: with tape measure, total station and Drone.

**Keywords**—tape measure, drone, total station, topographic.

## I. INTRODUCCIÓN

La topografía es parte fundamental en la ingeniería civil. La teoría de la topografía se basa esencialmente en la geometría plana, geometría del espacio, trigonometría y matemáticas en general [1]. Algunos autores mencionan que la topografía es "La ciencia y el arte de realizar las mediciones necesarias para determinar la posición relativa de puntos sobre, en, o debajo de la superficie terrestre, así como para situar puntos en una posición concreta" [2].

La topografía se divide básicamente en planimetría y altimetría. La planimetría se define como la topografía dedicada al estudio de los procedimientos y los métodos que se ponen en marcha para lograr representar a escala los detalles de un terreno sobre la superficie plana. Lo que hace la planimetría es prescindir del relieve y la altitud para lograr una representación en dirección horizontal [3].

La altimetría se define como la topografía especializada en la medición de la altura. Considerando que la topografía es la disciplina que se encarga de la descripción detallada de las superficies.

También conocida como hipsometría, la altimetría abarca diferentes procesos, metodologías y técnicas para la determinación y representación de la altura de un punto, teniendo en cuenta un cierto plano de referencia. De esta

manera la altimetría posibilita la representación del relieve [4].

Cabe mencionar que en este trabajo de investigación se realizará en el plano, esto es, considerando la definición de la topografía basada en planimetría.

El concepto de Topografía no ha variado con el tiempo. Lo que sí se ha visto ampliamente modificado son las técnicas, los instrumentos de medida y los métodos a aplicar.

Este trabajo, es el avance tecnológico que abre el camino para realizar levantamientos topográficos de una forma diferente a la realizada en el pasado, en la cual se realizaban levantamientos topográficos primero en mediciones por cinta métrica, después con los avances tecnológicos apareció el teodolito y finalmente apareció la estación total. En este trabajo se presenta un levantamiento topográfico con fotogrametría con Drones, específicamente se utiliza el Drone Phantom 4 pro y el software Pix4D. Las mediciones obtenidas con la fotogrametría a partir del Drone, se compararán con los métodos tradicionales mencionados en la parte de arriba de este documento, con dicha comparación se desea conocer la precisión con la cual el Drone alcanza las medidas más cercanas a las reales del terreno a medir.

Cabe mencionar que para realizar dichos experimentos se optó por la medición de una geometría conocida, esto es, las mediciones presentadas en este trabajo son realizadas sobre un campo de fútbol ubicado dentro de las instalaciones del núcleo Universitario de la Universidad Juárez del Estado de Durango en Gómez Palacio, Durango, México.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Costo beneficio de uso de Drones en topografía

Los estudios fotogramétricos a partir de drones han representado un extraordinario apoyo, debido a que en una medida de tiempo y costos es relativamente inferior a un levantamiento topográfico, generando de esta forma, productos geoespaciales de gran precisión y contenido.

Los vehículos aéreos no tripulados, son una clara apuesta por el medio ambiente, pues no emite CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Además, mejora significativamente la seguridad de los trabajadores en campo, al evitar el ingreso a zonas de riesgo [5].

Un ejemplo sencillo, es que hace años poder examinar 100

<sup>1</sup> Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura, Departamento de Investigación, Universidad s/n,

Núcleo Universitario, Filadelfia, 35070, Filadelfia, C.P. 35070, Gómez Palacio, Durango, México

\* atespinoza@ujed.mx

hectáreas con la tecnología existente en el momento, podría llegar a ser un trabajo de días, incluso de semanas. Gracias a la tecnología existente, con un Drone se puede llegar a emplear alrededor de 40 minutos frente a trabajos que realizarlos con otras técnicas llevaría un tiempo estimado de 3 semanas.

#### B. Principales ventajas del uso de los Drones en topografía

El principal factor es la seguridad, el topógrafo no necesita transportar la estación a lugares potencialmente peligrosos, con lo que los riesgos de la existente en esta profesión se minimizan.

Permite obtener una mayor base de conocimiento del lugar y sus alrededores, ya que se llega a espacios inaccesibles para una persona como acantilados, claros rodeados de árboles etc.

Captura un mayor número de puntos para crear las planimetrías. El levantamiento topográfico de un dron, debido a sus cámaras de última generación aporta mucha más información gráfica que un levantamiento tradicional. Por otra parte, la información es mucho más completa en cuanto a color de las fotografías, lo que consigue una mayor resolución y realismo del terreno.

Reducción de costes, un estudio topográfico que hace años podía suponer importantes costes a una empresa, gracias a esta tecnología se han reducido hasta en un 70% [6].

#### C. Fotogrametría

La fotogrametría es la técnica cuyo objetivo es el determinar las dimensiones y posición de objetos en el espacio a partir de imágenes fotográficas, esto se consigue a través de la medida o medidas realizadas a partir de la intersección de dos o más fotografías, por medio de la fotogrametría podemos obtener modelos digitales de terreno que pueden ser utilizados para el diseño de vías, por ejemplo, en la Figura 2 se observa la manera en que se van tomando las fotografías [7].



Figura 1. Phantom 4 Pro.

#### D. Vuelo fotogramétrico

La misión del vuelo fotogramétrico tiene por objeto, el sobrevolar la zona a una altura y velocidad constante, describiendo una serie de trayectorias paralelas entre sí, mediante su control de deriva [8].

Dentro de una pasada, la cámara tomará exposiciones de tal modo que las fotografías cuenten con un traslape considerable para poder realizar la reconstrucción del terreno a medir, esto es, se tendrá un recubrimiento longitudinal prefijado entre fotogramas adyacentes entre dos pasadas o vuelos consecutivos, generalmente voladas en sentido inverso, existirá otro solape o recubrimiento transversal, previamente fijado, ver la Figura 2.



Figura 2. Levantamiento fotogramétrico.

#### E. Software

El software con el cuál se llevó a cabo el orto mosaico para el levantamiento topográfico es el Pix4D. Cabe mencionar que este mismo software tiene en su mismo programa un paquete llamado Pix4Dmapper Mesh, el cual nos permite crear modelos en el plano y en 3D con imágenes obtenidas desde un Drone o con otro vehículo aéreo no tripulado. Además, otras características de este software es que nos permite exportar videos, y modelos de malla con textura. También se puede generar productos como los videos de los recorridos por la nube de puntos densa y el orto mosaico, que sirven en gran medida como suplementos para presentar proyectos de una forma más didáctica [9].

### III. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados experimentales del levantamiento topográfico del campo de fútbol del núcleo Universitario de la UJED en Gómez Palacio, Durango.

Los resultados experimentales mostrados en este trabajo se realizaron mediante tres metodologías, la primera se llevó de la manera más tradicional o como se realizó a los inicios de la topografía, esto es, con cinta métrica, en la Figura 3 se presentan los resultados experimentales obtenidos con dicho método o procedimiento.

El otro levantamiento topográfico del mismo campo de fútbol se llevó a cabo utilizando la tecnología de la estación

total, los resultados experimentales obtenidos con dicha tecnología se muestran en la Figura 4. Finalmente, los resultados obtenidos con la tecnología basada en los vehículos aéreos no tripulados conocido como Drone, se muestran en la Figura 5.



Figura 3. Levantamiento topográfico con cinta.



Figura 4. Levantamiento topográfico con estación total.



Figura 5. Levantamiento topográfico con Drone.

TABLA I  
 ERROR DE MEDICIÓN EN EXPERIMENTOS [METROS]

Lado del campo	Cinta	Estación Total	Drone
(b)	0.35	0.85	0.17
(b')	0.90	0.95	0.23
(a)	0.75	0.26	0.44
(a')	0.18	0.16	0.15

Para poder realizar el análisis, se consideró las medidas con las que se solicitó la construcción o el trazado del campo de fútbol de la Universidad, estas medidas son un largo de 99 metros con un ancho de 64 metros. En la Tabla I, se muestran los errores de medición considerando como referencia real los valores mencionados anteriormente (99 m x 64 m).

Basados en los resultados obtenidos en la Tabla I, se puede apreciar que del lado (b) del campo de fútbol las medidas llevadas a cabo con la estación total presentar un error mayor de medición, para este lado (b) la medición con menor error es la llevada a cabo con el Drone.

Las mediciones llevadas a cabo sobre el lado marcado como (b'), se aprecia que al igual que el lado (b) la estación total muestra el error de medición mayor que las mediciones tomadas con cinta y con el Drone, de la misma forma que en (b) la medición sobre (b') se obtuvo un error de medición menor con el Drone, ver la Tabla I.

Para el lado (a) se presenta un error mayor de medición con cinta que con el Drone y la estación total, siendo esta última la que presenta menor error de medición para el lado (a), ver la Tabla I.

Finalmente, la medición llevada con los tres métodos (Cinta, estación total y Drone) sobre el lado (a), se obtuvo una medición de error menor con el Drone, y un error de medición mayor con cinta. En la Figura 6 se presenta el campo reconstruido con 103 imágenes o fotografías tomadas con el Drone a una altura de 50 m con un traslape entre fotografía del 80%.

En la misma Figura 6 se aprecian los puntos de ayuda o puntos de referencia sobre el campo para realizar las mediciones deseadas, de la misma forma se aprecian los puntos de fotografía.

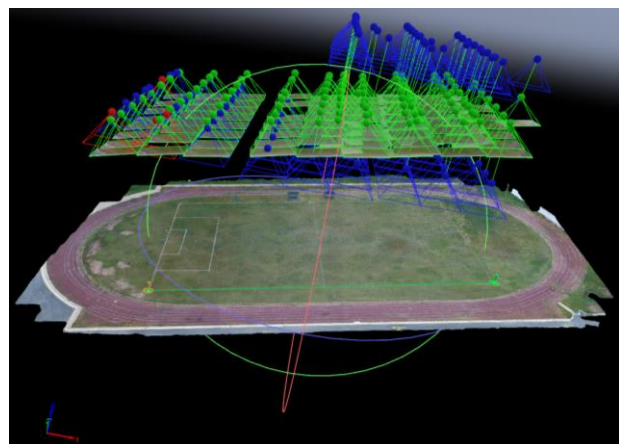


Figura 6. Orto mosaico del campo de fútbol con 103 imágenes.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se llevo a cabo la comparación de tres métodos para realizar un levantamiento topográfico, los métodos utilizados fueron con cinta, estación total y Drone. Se aprecio que con el método tradicional por cinta se lleva mucho tiempo y además es necesario la ayuda de al menos dos personas para realizar el levantamiento por cinta.

Realizar el levantamiento con estación total con lleva a tener la tecnología de dicha tecnología la cual debe de ser calibrada cada cierto tiempo y para el levantamiento con estación total es necesario al menos dos personas para llevarlo a cabo.

El levantamiento con el Drone tiene muchas ventajas con respecto al tiempo en que se lleva a cabo un levantamiento, otra ventaja es que es necesario sólo una persona para manipular y programar el Drone para el levantamiento topográfico, la desventaja de la tecnología con Drone es que es necesario de inicio una gran inversión económica para adquirir un Drone y un software que sea capaz de llevar a cabo las tareas que se asignan, que en este caso son de topografía.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo para la realización de este trabajo de investigación a la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango (FICA-UJED).

#### VI. APÉNDICES

A continuación, se enlistan las partes fundamentales con las que cuenta el Drone Phantom 4 pro de la compañía DJI.

1. GPS
2. Hélices
3. Motores
4. Indicadores LED delanteros
5. Estabilizador y cámara
6. Sistema de visión frontal
7. Batería de Vuelo Inteligente
8. Indicador de estado de la aeronave
9. Sistema de visión trasera
10. Sistema de detección por infrarrojos
11. Botón de vinculación e indicador de estado de vinculación/cámara
12. Puerto Micro USB
13. Ranura para tarjeta MicroSD de la cámara
14. Sistema de visión inferior

A continuación, se describen las partes fundamentales del radio control del Drone utilizado.

1. Antenas

2. Pantalla de visualización
3. Palanca de control
4. Botón de regreso al punto de origen (RTH)
5. LED de nivel de batería
6. LED de estado
7. Botón de encendido
8. LED de RTH
9. Altavoz de Salida de audio
10. Dial de configuración de la cámara
11. Botón de pausa durante vuelo inteligente
12. Botón del obturador
13. Botón de suspensión/reactivación
14. Micrófono
15. Conmutador de modo de vuelo
16. Botón de Grabación de video
17. Dial del estabilizador
18. Puerto Micro USB
19. Ranura para Tarjeta MicroSD
20. Puerto HDMI
21. Puerto USB
22. Botón C1
23. Botón C2
24. Puerto de alimentación

#### VII. REFERENCIAS

- [1] Montes de Oca, (1989). *Topografía*, Ed. Alfa omega, México
- [2] Buckner R., (1983). *Surveying Measurements and Their Analysis*, first edition. Ed. Reviews, New York, USA
- [3] Pérez J., Gardey A., (2011). *Definición de planimetría*. Obtenido de <https://definicion.de/planimetria/>
- [4] Pérez J., Merino M., (2015). *Definición de altimetría*. Obtenido de <https://definicion.de/altimetria/>
- [5] Corredor J. (2015). *Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico para una vía en rehabilitación del sector Tuluá Río frío, Reporte de proyecto*, Colombia
- [6] Vilches A., (2017). *Drones para la topografía, ventajas importantes para el sector*. Obtenido de <https://www.pilotando.es/drones-para-topografia/>
- [7] Sánchez S. (2006). *Introducción a la fotogrametría*. Curso inductivo Universidad Politécnica de Madrid, España
- [8] Osorio J. (2018). *El vuelo fotogramétrico*. Nota técnica Academia, USA
- [9] Terrasat. (2019), *Terrasat tecnología geoespacial*. Obtenido de <https://www.terrasat.com.mx/category/pix4d-mexico/>

## VIII. BIOGRAFÍA



**Omar del Río Santana.** Nació el 29 de noviembre de 1975 en la cd, de Gómez palacio Durango, México. Obtuvo el grado de ingeniero civil en la Universidad Juárez del Estado de Durango, en la ciudad de Gómez Palacio Durango, México en agosto del 2017. Actualmente cursa el 5to tetramestre de maestría en ingeniería civil con especialidad en planeación y construcción en la Facultad de Ingeniería

Ciencias y Arquitectura de la UJED. Integrante del cuerpo docente de ésta facultad, siendo miembro del personal del área de laboratorio de materiales de la facultad desde hace 5 años, en los cuales tiene en su haber trabajos realizados tanto para el municipio de Gómez Palacio y cd Lerdo Durango, México como en la industria privada, por nombrar algunos; supervisión y control de calidad de los materiales de la construcción del cuartel militar de San Pedro de las Colonias Coahuila, México supervisión y control de calidad de los materiales de una planta fotovoltaica localizada en el ejido Jauja Durango, México, control de calidad en minera Indé , en minera Velardeña y para el municipio obras de pavimentación y de líneas de conducción de agua y drenaje.



**Arturo Tadeo Espinoza Fraire.** Nació el 19 de abril de 1983 en Torreón, Coahuila, México. Obtuvo el grado de Ingeniería en Electrónica en la especialidad de Control Automático e Instrumentación en 2008 en el Instituto Superior de Lerdo, Durango, México. Obtuvo el grado de Maestría y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la especialidad de Mecatrónica y Control en el Instituto

Tecnológico de la Laguna en 2011 y 2015 respectivamente.

Trabajó en la empresa Ingeniería Mexicana de Sistemas del 2007 al 2008, realizó estancias de investigación en el laboratorio Franco-Mexicano en el CINVESTAV Zacatenco en el 2010 y una estancia de investigación en la Université de Technologie de Compègne en el 2011 en Francia. Desde el 2017 labora como Profesor Investigador en la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango en Gómez Palacio Durango, México.

El Dr. Arturo Tadeo Espinoza Fraire es parte del comité técnico internacional del International Conference on Unmanned Aircraft Systems y nivel C del sistema nacional de investigadores (SNI). Sus áreas de interés son: vehículos aéreos no tripulados, control lineal y no lineal, sistemas embebidos y aplicaciones con vehículos aéreos no tripulados.



**Sáenz Esqueda José Armando.** Nació en Gómez Palacio, Durango el 15 de julio de 1988. El historial académico es el siguiente: Ingeniero en Mecatrónica, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah, en el año 2010. Doctorado y Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Mecatrónica y Control, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah, en el año 2018 y 2013, respectivamente. Él actualmente

es profesor investigador de la Facultad en Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango, sus temas de interés son: Control no Lineal, Robótica Móvil, Visión Artificial. M.C. Sáenz miembro de la Asociación Mexicana de Robótica.



**Facundo Martínez Cortés.** Lugar y fecha de nacimiento: Ejido San Felipe, Dgo. 22 de octubre de 1958. Obtuvo la Licenciatura en Ingeniería Civil de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Juárez en el estado de Durango, México. Campus Gómez Palacio, en el año de 1983. La maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil con Especialidad y Construcción de Obras en el año 2000 en la Facultad de Ingeniería,

Ciencias y Arquitectura de la UJED campus Gómez palacio, estado de Durango, México. Doctorado en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Planeación y Construcción en la Facultad de Ingeniería Ciencias y Arquitectura de la UJED campus Gómez Palacio, estado de Durango, México en el año 2007.

Es profesor de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la UJED Campus Gómez Palacio en el estado de Durango desde el año 2000. Imparte cátedra en las unidades de aprendizaje: Alcantarillado sanitario, Abastecimiento de agua, Obras hidráulicas, Tratamiento de Aguas Residuales y Potabilización. Línea de investigación: Modelización matemática y desarrollo tecnológico.

El Dr. Cortés cuenta con el perfil del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) de la Secretaría de Educación pública hasta el año 2019. Cuenta con la acreditación como miembro del registro CONACyT como evaluador de programas de estímulos a la innovación científica desde el año 2013. Reconocimiento al Mérito docente 2016 por la Comunidad de Instituciones de Educación Superior de la Laguna (CIESLAG) Reconocimiento preseña "Ancla" 2000 como ciudadano distinguido por la presidencia municipal de Gómez Palacio, Dgo. México.