

Control y seguimiento de obras con drones.

Elaborado por: Ing. Yasser Luis Espinoza Rivera.

Revisado: Ing. Álvaro González Masís, Ing. Luis Alejandro Ramírez.

Resumen

Palabras claves: Fotogrametría, ortofoto

Objetivo

Emplear drones para la estimación de volúmenes y control de las obras incluidas en la contratación N°2021CE-000006-0006500001, Construcción de dique y vertedor, así como protección sobre la margen derecha del río Reventazón, ubicado en el cantón de Siquirres, provincia de Limón.

Marco teórico

En esta sección se incluyen una serie de definiciones para que lector disponga de las herramientas suficientes para analizar los resultados que se discutirán en el desarrollo de este artículo.

En la actualidad existen diferentes definiciones para los drones, sin embargo, la definición que más se ajusta al uso de los drones por parte del equipo de INDEP del Senara es la siguiente: *“Los drones son vehículos aéreos no tripulados (UAV), también conocidos como drones, son aviones controlados por pilotos en tierra o de forma autónoma siguiendo una misión preprogramada”* (Pinto, 2018).

En cuanto a la aplicación, los drones tienen uso militar y civiles. Los drones de uso civil por lo general se caracterizan por no poder estar en vuelo más de una hora o llevar mucho peso, por lo que la carga o equipamiento debe ser pequeño y su uso se limita a distancias cortas (BBC NEWS MUNDO, 2013).

Los drones para uso civil normalmente son utilizados en áreas de la minería, agricultura, industria fotográfica, seguridad, medios de comunicación, entre otros. En el caso del equipo de INDEP del Senara, a partir del 2019 se ha venido utilizando drones para las áreas de topografía, control y seguimiento de proyectos.

En el Senara, se destaca el uso de la fotogrametría para la generación modelos de elevación y ortofotos con resoluciones de menos de 5 cm por pixel, lo que ha permitido plantear nuevos proyectos y control de otros que se encuentran en ejecución. La fotogrametría es la técnica cuyo fin es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto (Instituto Geográfico Nacional de España, 2016).

El drone que ha utilizado el Senara para realizar los diferentes trabajos fotogramétricos es un Phantom 4, fabricado por la empresa Dà-Jiāng Innovations o DJI como normalmente se le conoce, este tipo de drone tiene la desventaja de no disponer de un sistema de posicionamiento global que permita registrar con mayor precisión las coordenadas de las capturas que realiza, sin embargo, esta condición no ha limitado al equipo de trabajo para obtener resultados de buena calidad y precisión.

Para los trabajos fotogramétricos que se han realizado en el Senara, ha sido necesario la colocación de *“Puntos de Control”* los cuales se definen como: *Marcas sobre el terreno, y visibles a las fotografías tomadas con el dron. Cuando se crean mapas y modelos 3D con el dron se hace a partir de fotogrametría, es decir, muchas fotos tomadas con un recorrido y posiciones muy concretas para que se vean los puntos y reconstruir el modelo digital. Los errores son corregidos gracias a las posiciones exactas de estos puntos que se deben poner en los laterales y centro para que el modelo no se mueva ni se levante como una sábana; y sus coordenadas son tomadas mediante equipos topográficos GPS”* (Balagué, 2019)

Metodología

La metodología utilizada en Senara para realizar procesos fotogramétricos consiste en identificar y delimitar el área de estudio, ubicación de puntos de control, se debe destacar que a partir de las experiencias obtenidas en diferentes proyectos ha sido posible determinar la cantidad de puntos necesarios en función del resultado esperado, por ejemplo si solo se requiere obtener una ortofoto como resultado final, solamente es necesario colocar cinco puntos de control, uno en cada vértices y en el centro del área a levantar, esta cantidad de puntos es suficiente para obtener precisiones entre los $\pm 0,01$ m a $\pm 0,05$ m en áreas superiores a las 25 ha, sin embargo si se desea realizar un proceso fotogramétrico para generar curvas de nivel, modelo de elevación de terreno y ortofoto se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Se deben densificar la red de puntos de control dentro del área que se va a estudiar.
2. Los vuelos se deben de realizar entre las 9 am a 10:30 am o entre las 3 pm y las 4:30 pm para evitar la distorsión que generan los cuerpos de agua o elementos que brillan con los rayos solares.
3. Preferiblemente disponer de una superficie de comparación.
4. Capacidad de los equipos con que se va a procesar la información.

Para el control y estimación de cantidades del proyecto se utilizó el siguiente proceso:

1. Para el diseño del plan de vuelo se delimitó un área de estudio para determinar la calidad de las obras realizadas en el periodo de facturación.
2. Se diseñó un plan de vuelo en el programa Pix4Dcapture del área a estudiar. El plan de vuelo se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Plan de vuelo para realizar proceso fotogramétrico para el control de obras de la contratación N° 2021CE-000006-6-0006500001,

3. En cuanto a las condiciones del vuelo se definió una altura de vuelo de 60 m y traslapes de 80% longitudinal y horizontal.
4. En cuanto a los puntos de control, se colocaron un total de 14 puntos para levantar un área de 28,10 ha aproximadamente y su distribución en el área de estudio se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Distribución de puntos de control en área de estudio.

5. El proceso fotogramétrico se realizó en el programa Agisoft, donde fue posible generar los modelos de superficie, terreno y ortofoto del área de estudio.
6. Superficie de comparación: se realizó un levantamiento topográfico con GPS de alta precisión de un sector del área en estudio para realizar una superficie y compararla con la resultante del proceso fotogramétrico.

Resultados

Al realizar el proceso fotogramétrico del levantamiento realizado para el control de las obras del proyecto “Construcción de dique y vertedor, así como protección sobre la margen derecha del río Reventazón, ubicado en el cantón de Siquirres, provincia de Limón”, se obtuvieron un modelo de superficie, modelo de elevación de terreno y ortofoto del área de estudio, de igual manera fue posible compara los resultados de los modelos de elevación de terreno contra la superficie generada con los puntos levantados con GPS de alta precisión.

Al agregar los puntos de control al proceso fotogramétrico fue posible determinar los errores relativos y el error absoluto del proceso. En la Figura 3 se muestra las coordenadas de los puntos de control, el error relativo de cada punto y el error absoluto del proceso fotogramétrico.

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)
PT1	553197.371000	1119363.262000	57.195000	0.005000	0.024953
PT2	553236.888000	1119344.966000	56.428000	0.005000	0.044071
PT3	553252.078000	1119328.014000	60.420000	0.005000	0.022473
PT4	553164.158000	1119222.779000	61.280000	0.005000	0.018994
PT5	553143.355000	1119226.341000	57.090000	0.005000	0.023170
PT6	553142.155000	1119268.870000	56.985000	0.005000	0.007326
PT7	553004.521000	1119114.228000	59.151000	0.005000	0.008179
PT8	553003.607000	1119081.615000	57.871000	0.005000	0.011497
PT9	552945.134000	1119004.004000	60.303000	0.005000	0.015736
PT10	552943.240000	1118915.616000	62.898000	0.005000	0.029945
PT11	552906.994000	1118921.674000	63.189000	0.005000	0.025475
PT12	552893.801000	1118868.882000	63.352000	0.005000	0.012428
PT13	552973.108000	1118905.250000	66.412000	0.005000	0.025610
PT14	553001.615000	1119034.435000	64.411000	0.005000	0.006027
Total Error					0.022136
Control points					

Figura 3. Errores relativos y error absoluto del proceso fotogramétrico.

De acuerdo con lo que se observa en la Figura 3, para el proceso fotogramétrico realizado se obtuvo un error absoluto de 0,022 m para las 28,10 ha levantadas, lo que se podría considerar como razonable, considerando las condiciones del sitio donde se realizó el levantamiento.

Con los puntos levantados con el GPS de precisión, se generó una superficie, con la particularidad de que es una interpolación lineal entre los puntos de las secciones, por lo que esta no refleja las singularidades del terreno presentes entre secciones. En la Figura 4 se muestra la superficie de comparación.



Figura 4. Ubicación de superficie de comparación levantada con GPS de precisión.

Para comparar las superficies se realizaron perfiles transversales de ambas secciones y un perfil longitudinal de ambas superficies.

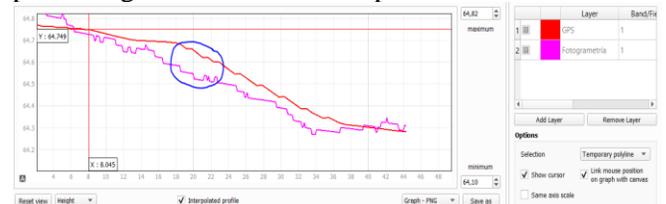


Figura 5. Perfil longitudinal de la corona del dique con la superficie generada con fotogrametría y con el levantamiento con GPS.

Al comparar las cotas de los perfiles longitudinales se obtuvo, que la máxima diferencia en elevación entra las superficies fue de 0,09 m, la cual se resalta en azul en la Figura 5.



Figura 6. Comparación de superficies transversalmente.

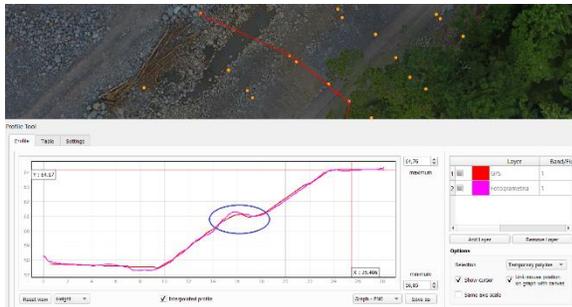


Figura 7. Comparación de superficies transversalmente.



Figura 8. Comparación de superficies transversalmente.

En las Figura 6, Figura 7 y Figura 8, se comparan las superficies, en color azul se resaltan las zonas donde se presentaron mayores diferencias entre las superficies, siendo 0,30 m en las Figuras 6 y 7, y de 0,50 m en la Figura 8, sin embargo, al revisar la ortofoto se determinó que para la sección que se muestra en la Figura 8, en el sitio donde se presentó la diferencia de 0,50 se encontraba un montículo de rocas al momento de realizar el vuelo con el dron y este no fue considerado al momento de realizar el levantamiento con GPS. En cuanto al resto de las secciones se obtuvo que, por lo general, las diferencias en elevación entre las superficies fueron inferiores a los $\pm 0,05$ m.

Es importante resaltar nuevamente, que el levantamiento con GPS, no refleja las singularidades presentes en el terreno entre las secciones, ya que es una interpolación lineal de los puntos tomados y la densificación de puntos no fue lo suficiente para lograr un mejor ajuste entre ambas superficies, sin embargo, si se analiza el error absoluto del proceso fotogramétrico, se puede indicar que la superficie resultante cumple con la precisión suficiente para realizar estimaciones de la obra.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos al realizar el proceso fotogramétrico y compararlos contra un levantamiento realizado con GPS de alta precisión, se determinó que es posible realizar levantamientos con dron para el control y seguimiento de las obras incluidas en la contratación N° 2021CE-000006-6-0006500001, ya que se demostró que es posible tener buenas precisiones para realizar la estimación de cantidades ejecutadas durante el proceso constructivo.

El uso de esta tecnología ha resultado de mucha utilidad para el SENARA en cuanto a la optimización de recursos, ya que el tiempo para realizar este tipo de levantamiento es inferior al que se requiere en caso de que se utilice un GPS de alta precisión o una estación total, adicionalmente se tiene un mejor detalle de la información.

Recomendaciones

En la medida de lo posible se debe de contar con una superficie de comparación para garantizar que el proceso fotogramétrico genere resultados con buenas precisiones adecuadas que permitan estimar las cantidades ejecutadas.

En caso de proyectos con mucha cobertura vegetal se debe valorar aplicar otro método de levantamiento, ya que las imágenes tomadas con dron no logran captar la superficie del suelo.

Bibliografía

Balagué, J. (07 de Febrero de 2019). *Terra Dron*. Obtenido de Terra Dron: https://terradron.cat/que_son_puntos_control_topograficos_fotogrametria_drones/

BBC NEWS/ MUNDO. (15 de Febrero de 2013). Obtenido de BBC NEWS/ MUNDO:

https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/02/130212_eeuu_drones_civil_comercial_regulacion_wbm

Instituto Geográfico Nacional de España. (2016). Obtenido de Instituto Geográfico Nacional de España: <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Fotogrametria.pdf>

Pinto, R. (2018). DRONES: LA TECNOLOGÍA, VENTAJAS Y SUS POSIBLES APLICACIONES. Santiago, Chile , Chile.