



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

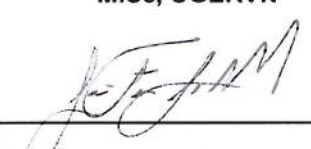
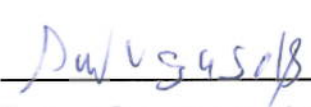
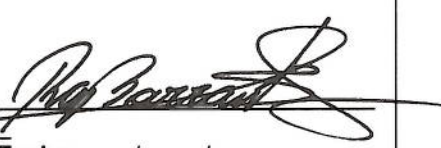
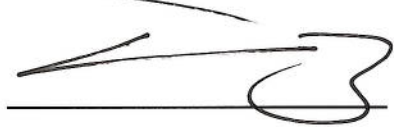
Proyecto piloto BID - LanammeUCR

LM-PI-UGERVN-18-2018

Cálculo de Volúmenes usando VANT y comparación con métodos convencionales

San José, Costa Rica

Noviembre, 2018

| | | | |
|--|--|--|--|
| 1. Propuesta LM-PI-UGERVN-18-2018 | | 2. Copia No. 1 | |
| 3. Título Cálculo de volúmenes usando VANT y comparación con métodos convencionales | | 4. Fecha Noviembre, 2018 | |
| 7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440 | | | |
| 8. Notas complementarias | | | |
| 9. Resumen En los últimos años, la tecnología de los drones, conocidos a nivel mundial como Vehículos Aéreos no Tripulados VANT, ha avanzado a pasos agigantados hasta convertirse en una herramienta al alcance de personas para el desarrollo de diversas actividades, especialmente aquellas de carácter fotogramétrico. Levantamientos topográficos, toma de imágenes y videos de zonas de difícil acceso, evaluación del estado de infraestructuras, creación de modelos de elevación y cálculo de volúmenes, son sólo algunas de las múltiples aplicaciones que se pueden llevar a cabo con los VANT, con la ventaja de la rapidez con la que los productos son obtenidos. Esta propuesta de trabajo, establece la metodología del cálculo de volúmenes de material en proyectos viales usando los VANT, comparándola en cada momento con los métodos convencionales topográficos, estableciendo los errores asociados, costos y eficiencia en la obtención de productos. Se pretende además establecer una propuesta de especificaciones en el uso de esta tecnología, para el cálculo de este parámetro en proyectos viales. | | | |
| 10. Palabras clave VANT, topografía, volúmenes, eficiencia, costos | | 11. Nivel de seguridad: Alto | |
| 12. Núm. de páginas 8 | | | |
| 13. Diseño y elaboración: Ing. José Francisco Garro M., M.Sc, UGERVN  Fecha: / / | | Geog. Paul Vega Salas, M.Sc UGERVN  Fecha: 13/05/2019 | |
| 14. Revisión técnica: Ing. Roy Barrantes Jiménez, M.Sc, Coordinador UGERVN  Fecha: / / | | 15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loria S., Ph.D. Coordinador General PITRA  Fecha: / / | |



1. Justificación

En la actualidad, los Vehículos Aéreos no Tripulados VANT se han convertido en una herramienta muy versátil en diversas ramas de la ingeniería, debido a su capacidad de operar de manera remota y confiable en lugares de difícil acceso. Además, gracias a la rápida evolución tecnológica que experimentan, sus características han ido mejorando a la vez que los costos de adquirirlos y operarlos han disminuido al punto de estar al alcance de instituciones con bajos presupuestos, así como de usuarios particulares.

Un aspecto particular de los VANT es la posibilidad de realizar levantamientos topográficos de manera rápida. Las imágenes de alta resolución se pueden convertir en Modelos de Elevación Digital gracias a las técnicas de fotogrametría, utilizando para ello programas especializados de cómputo. Sin embargo, dichas imágenes provienen de una plataforma aerotransportada que es afectada por efectos climáticos locales como ráfagas de viento y diferenciales de temperatura en el aire; además de que la cámara fotográfica y los sensores internos del VANT como GPS, altímetro, sensores inerciales *IMUs* y otros usados para la ubicación correcta de las imágenes en el espacio, no poseen la precisión de equipos fotogramétricos profesionales: todo lo anterior contribuye a que los modelos obtenidos posean un error intrínseco. Existen técnicas de control y de post proceso que permiten mejorar dichos modelos, pero para establecer una medición cuantitativa de su error, es necesario comparar con otros modelos de métodos ya establecidos, como topografía de precisión y/o escáner LIDAR terrestre.

Este proyecto pretende establecer la precisión de los modelos volumétricos obtenidos con distintos VANT, que van desde modelos básicos, hasta aquellos con sensores internos avanzados, variando parámetros tales como altura de vuelo, orientación de la cámara y uso de control en tierra. De la misma manera, el (los) sitio (s) escogido (s) para realizar el cálculo volumétrico serán a su vez levantados con técnicas topográficas convencionales; así como el escáner LIDAR terrestre con que cuenta el LanammeUCR. Este último equipo presenta la ventaja que para distancias cortas (menos de 50 metros), es capaz de obtener modelos con pocos milímetros de error: la nube de puntos generada ayudará a establecer el error entre los modelos obtenidos.

De la misma manera, se pretende realizar una comparación de tiempos de levantamiento y costos entre métodos, para establecer una escala de recursos utilizados vs tiempo para el levantamiento con VANT y el topográfico.



2. Objetivo Principal

Evaluar la precisión y exactitud de los modelos obtenidos con el VANT en el cálculo de volúmenes de material

3. Objetivos Específicos

- Comparar el tiempo para la obtención de un modelo volumétrico, entre topografía convencional y VANT
- Realizar una comparación de costos entre ambos métodos
- Definir el error intrínseco al comparar ambos métodos
- Identificar las limitaciones de la tecnología VANT en el uso de control de volúmenes en obras viales
- Definición de una metodología preliminar para la obtención de modelos volumétricos con equipos VANT en obras viales
- Definición de pautas y especificaciones para la obtención de modelos volumétricos con equipos VANT en obras viales

4. Actividades

4.1 Definición del sitio de trabajo: para que la comparación sea válida, es necesario seleccionar un sitio que brinde condiciones ideales para realizar el levantamiento con topografía de precisión, con VANT y con Lidar terrestre. El mismo debe estar desprovisto de vegetación completamente, dado que la misma es interpretada de distintas maneras por cada método de post procesamiento, induciendo a diferencias en la estimación de volúmenes. Además, el sitio debe ser de fácil acceso por todos los equipos, y de ser preferible, que posea líneas de vista libres de obstrucciones. Se proponen sitios tales como un talud de corte en la carretera nueva Sifón – Abundancia (la cual a la fecha de redacción de esta propuesta, se encuentra cerrada a los usuarios, y no se están realizando trabajos en la misma), un apilamiento importante de material en un sitio de extracción y almacenamiento (el proyecto en construcción de la ruta nacional 160 tramo Playa Naranjo – Paquera podría tener de estos sitios), u otros similares.

4.2 Definición de los puntos de control en sitio: con el sitio o sitios escogidos para realizar el estudio, se ubicarán los sitios que servirán como puntos de control en tierra. Mediante topografía de precisión o usando GPS con estación fija, se tomarán las coordenadas



(locales, o amarradas a un sistema geográfico según el caso) de dichos puntos. Esto servirá para 3 propósitos: definir para cada método de cálculo volumétrico, un nivel base sobre el cual realizar las estimaciones; segundo, estimar la mejora en dichas estimaciones cuando se introducen estos puntos de control en los modelos generados por el VANT. Tercero, servirán como puntos de amarre para la estación Lídár terrestre, en caso de necesitarse varios escaneos para cubrir el talud / apilamiento a evaluar. Se recomienda ubicar estos puntos fuera del talud / apilamiento a levantar.

4.3 Levantamiento del sitio con Lídár terrestre: utilizando el escáner Lídár terrestre del LanammeUCR, marca Leica, modelo C10, se realizará el levantamiento del sitio de tal manera que se pueda generar una nube de puntos completa. Se recomienda utilizar resolución media, distancias entre los objetivos de 50 metros o menos, y que el error máximo del modelo generado no supere los 3 mm. De usarse varios levantamientos para generar la nube de puntos completa, se deberán utilizar los sitios de control como objetivos de amarre (además de otros si se estiman necesarios). *Tiempo estimado del levantamiento*: 3 a 4 horas.

4.4 Levantamiento topográfico del sitio: si no existen conflictos con el levantamiento del Lídár, se podrán realizar al mismo tiempo. El topógrafo dispondrá de los recursos, equipo y metodología necesarios para completar el levantamiento que le permita crear un modelo para la estimación del volumen del sitio a levantar. *Tiempo estimado*: dependerá del topógrafo según el sitio a levantar, y este registro formará parte del análisis de rendimientos a realizar.

4.5 Levantamientos con VANT: debido a la cantidad de parámetros que afectan el desempeño del VANT, se proponen realizar varios vuelos con distintos equipos, de tal manera que las variables más importantes puedan ser estudiadas, y relacionadas con el posible error de estimación de los modelos creados. Estas variables corresponden con la altura de vuelo, y la calidad de los sensores internos (GPS, acelerómetros, altímetros, IMU, cámara fotográfica). Por tanto, se propone la siguiente metodología:

- a. En la UGERVN del LanammeUCR, existen 3 modelos distintos de VANT, cada uno con sensores que responden a su rango de precios, y que son el Phantom 3 Professional (considerado un VANT de nivel bajo), el Phantom 4 Professional V2 (nivel medio) y el Matrice 210 (nivel alto), todos de la marca DJI. Se deberán hacer levantamientos con cada uno, siguiendo los siguientes puntos:
- b. Tomar al menos 3 alturas de vuelo. Se proponen alturas sobre el sitio a levantar, de 40 metros, 70 metros y 100 metros.
- c. Por cada altura de vuelo y con cada equipo, se deberá programar un vuelo fotogramétrico automático que cumpla con al menos 80% de traslape de imágenes en cada dirección (paralela al vuelo, transversal al mismo), y con un tamaño de grilla que cubra completamente la zona de estudio, más al menos un 50% de distancia en cada dirección, de tal manera que todos los puntos de control sean cubiertos y levantados



- d. Por cada altura de vuelo y con cada equipo, se realizará un levantamiento fotogramétrico con fotografía vertical, y otro con fotografía vertical más oblicua.
- e. Cada levantamiento realizado, será post procesado en oficina, primero sólo con la información de los sensores internos, y después usando corrección con los puntos de control.

Todo lo anterior, significa que se realizarán en total 18 vuelos (3 equipos, 3 alturas por equipo, y 2 métodos de obtención de imágenes por altura), y se obtendrán 36 modelos por sitio (sin corrección por puntos de control en el post proceso, con corrección). Se recomienda realizar los vuelos en condiciones adecuadas de clima, revisando y anotando cualquier irregularidad observada en cada vuelo (temperatura, luminosidad, condiciones del viento, entre otras); así como respetando en todo momento las normativas de seguridad impuestas por la DGAC. *Tiempo estimado de levantamiento:* el tiempo de cada uno de los vuelos será medido y calibrado en sitio, para ser incluido en el análisis de rendimientos a realizar.

4.6 Procesamiento de la información por método: cada levantamiento realizado con el VANT será procesado con la metodología y software respectivos, escogiendo parámetros que no disminuyan la calidad de la información base, y creando modelos digitales referenciados de elevación, con tamaños de celda iguales para cada modelo, y no mayor de los 20cm. De la misma manera, se crearán los modelos de elevación del sitio, con la información de la nube de puntos del Lidar terrestre, y del levantamiento topográfico, con el mismo tamaño de celda escogido. Todos estos modelos deberán ser compatibles con sistemas SIG, de ser posible, se crearán utilizando el formato TIFF o Grid. *Tiempo estimado de proceso:* 1 a 2 semanas.

4.7 Análisis de resultados: definidos un sistema de coordenadas, un nivel base y el área sobre la cual se realizará el estudio, se procederá a realizar los cálculos de volumen para cada modelo creado en el punto anterior. Tomando como base el modelo del Lidar, se determinarán los errores del modelo topográfico, y de los modelos con VANT. De ser posible, se establecerán tendencias que permitan dar recomendaciones sobre el uso del VANT en este tipo de proyectos. *Tiempo estimado de análisis, redacción y revisión del informe:* 4 semanas

5. Productos a obtener

- Informe con los análisis realizados
- Errores obtenidos para cada método
- Análisis de costos y tiempos
- Propuesta de especificaciones del uso de los VANT en proyectos viales



6. Recursos necesarios

- Escáner Lídár terrestre, objetivos de amarre
- Topógrafo y asistente de campo
- Estación total topográfica, prisma, bastones
- Operadores de VANT con licencia al día
- VANTs con sus respectivos seguros
- 4 Asistentes para el procesamiento de la información (2 ingeniería, 2 geografía)
- Computadora de alto rendimiento
- Vehículo

7. Contratos necesarios, recursos a financiar por el BID

- Labores de topografía convencional (topógrafo, asistente de campo, equipo de levantamiento)
- 4 Asistentes para el procesamiento de la información (2 ingeniería, 2 geografía)



8. Cronograma Preliminar

| Semana | Actividades |
|--------|--|
| 1 | - Creación de la propuesta, revisión |
| 2 | - Definición de los sitios a levantar - Gira de reconocimiento a los sitios |
| 3 | <p style="text-align: center;"><i>Sitio 1</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Definición y levantamiento de los puntos de control en sitio (1 día)- Levantamiento con Lidar terrestre (0,5 días)- Levantamientos con VANT (2 días)- Levantamiento topográfico (1 día) <p><i>Nota: los levantamientos se pueden realizar de manera paralela, siempre y cuando no se generen conflictos entre los mismos.</i></p> |
| 4 | <p style="text-align: center;"><i>Sitio 2</i></p> <ul style="list-style-type: none">- Definición y levantamiento de los puntos de control en sitio (1 día)- Levantamiento con Lidar terrestre (0,5 días)- Levantamientos con VANT (2 días)- Levantamiento topográfico (1 día) <p><i>Nota: los levantamientos se pueden realizar de manera paralela, siempre y cuando no se generen conflictos entre los mismos.</i></p> |
| 5 - 6 | <ul style="list-style-type: none">- Descarga y procesamiento de la información- Generación de modelos de volumen- Comparación de modelos de volumen- Definición del error intrínseco en cada modelo |
| 7 - 10 | <ul style="list-style-type: none">- Análisis de resultados- Comparación de costos y tiempos de levantamiento / proceso- Redacción del informe, revisión- Creación de propuesta de especificaciones del uso del VANT en la obtención de volúmenes de material en obras viales |