

Aplicación de los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs) en la Ingeniería Civil

*Ing/Agrim Víctor M. Romero González
Maestría de Ingeniería en Ingeniería Civil
Dr. Christian Villalta
Departamento Ing. Civil, Ing. Amb. y Agrimensura
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Resumen — *El objetivo general de este proyecto es presentar la implementación y aplicación de los vehículos aéreos no tripulados (UAVs, por sus siglas en inglés) en tres categorías de la ingeniería civil: Inspección Visual de Pavimentos, Estudio Preliminar para Proyectos de Construcción de Obras en Ingeniería Civil, y la Mensura y Topografía de un parque recreativo, un vertedero, y la comparación de los resultados obtenidos empleando equipo convencional vs. Drone en un predio de terreno. Además, se presenta la metodología general y específica: pre-procesamiento, pre-vuelo, vuelo fotogramétrico y procesamiento de los datos para la obtención de los diferentes productos. Finalmente, se enuncian otras aplicaciones, ventajas, desventajas y recomendaciones generales y específicas en el uso y aplicación de esta tecnología de vanguardia.*

Términos clave — *Fotogrametría, Hidrología, PASER, Topografía, UAVs (Drones)*

INTRODUCCIÓN

La obtención de datos de campo para el monitoreo de obras en construcción, inspección y evaluación de la infraestructura civil por métodos convencionales (e.g., “total Station, GPS receivers, scanner) presentan un reto en varios renglones: en la seguridad del personal técnico de campo, accesibilidad del terreno, viabilidad económica de la obra y el tiempo requerido en la captura de datos para completar el proyecto.

En la actualidad, los vehículos aéreos no tripulados (UAVs), o drones, se han convertido en herramientas populares para profesionales e investigadores. En los últimos años se ha visto un aumento significativo en los usos de UAVs para

muchas aplicaciones en los campos de la ciencia y la ingeniería [1].

Las áreas de oportunidades para el empleo de esta herramienta son numerosas y enunciarlas excede los objetivos de proyecto. Sin embargo, se comenta algunas áreas con potencial de desarrollo en aplicaciones que son de uso frecuente en la ingeniería [2]: planificación urbana y ambiental, transportación, inspección, seguimiento y monitoreo de obras de construcción, caracterización de obras existentes de sistemas de infraestructuras civil, modelos 2D y 3D, DTM, DSM, cálculo de volumen, evaluación de daños, fotogrametría y/o teledetección.

Los UAVs amplían el campo de visualización al incorporar rango del espectro electromagnético más allá del óptico-visible (por ejemplo, multi-espectral, hiper-espectral, infrarrojo, pancromático, radar). De igual manera, mejora la calidad, cantidad, y resolución espacial y temporal de los datos.

No obstante, inherente a la tecnología de punta, requieren de un nivel de experiencia y/o destrezas para la manipulación de los datos, de equipo adecuado para el manejo de la información y está limitada por condiciones meteorológicas adversas.

Este documento se estructura estableciendo las metas y objetivos generales, enunciando los equipos y materiales utilizados, y metodología aplicada en la planificación de vuelo fotogramétrico con UAVs: (1) Aplicación de los UAVs; introducción, descripción del área de estudio, visualización y comunicación de los resultados; (2) finalmente, a modo de conclusión, se presentan las ventajas, desventajas, limitaciones, y recomendaciones generales y específicas en el uso y aplicación de los UAVs.

Metas y Objetivos

Las metas y objetivos del estudio son:

- Presentar, analizar e identificar las ventajas, desventajas, limitaciones, y recomendaciones en el uso de los UAVs y sus aplicaciones en diferentes categorías de la ingeniería civil.
- Generar información estandarizada para investigaciones posteriores de interés científico.
- Impulsar la utilización de esta tecnología de gran alcance para coayudar al avance de la ingeniería civil con la aplicación vuelos fotogramétricos con UAVs.

REVISIÓN DE LITERATURA

Aplicaciones - UAVs en la Ingeniería Civil

Proyecto 1: Inspección Visual de Pavimentos

Evaluación y Clasificación de tramo de la Avenida Roosevelt con el Método PASER [3].

La inspección visual se basa en la evaluación funcional y estructural del pavimento que sufre un deterioro dependiendo del tipo de pavimento usado (rígido o flexible). Los principales factores de fallas en el pavimento lo son: drenaje de escorrentía pluvial, cambios térmicos y cargas repetitivas (tránsito). Existen varios métodos de inspección visual que permiten identificar y evaluar distintas fallas tales como Método “Visión Inspection de Zones et Itinéraires Á Risque” (VIZIR), Método de Evaluación y Administración de Pavimentos (PAVER) y Método “Pavement Surface Evaluation and Rating” (PASER).

El Método PASER es un método de inspección visual que evalúa e identifica los distintos tipos de defectos o deformaciones que ocurren en la superficie del pavimento. Además, sugiere sus posibles causas y ofrece recomendaciones según las fallas identificadas. Consta de un sistema de clasificación de 10 (excelente) – 1 (fallido) para las condiciones de pavimento. Existen 4 categorías mayores de defectos o deformaciones superficiales del pavimento asfáltico:

- Defectos superficiales (Surface defects)
- Deformaciones superficiales (Surface deformation)
- Agrietamiento (Cracking)
- Parchos y Baches (Patches and potholes)

Cabe señalar que la calificación PASER refleja las condiciones de la superficie del pavimento y no la condición estructural o de la vida de la superficie restante. La metodología que utiliza PASER es aplicable para varios tipos de pavimento (rígido y flexible). En el método de evaluación superficial PASER, la condición del pavimento se evalúa visualmente; no cuantifica los deterioros encontrados ni proporciona valor deductivo alguno para indicar la calificación de la condición del pavimento. Simplemente, sobre la base de criterios de ingeniería y experiencias, se puede indicar una calificación según su catálogo de fallas. El método no considera escalas intermedias que permitan mayor sensibilidad para calificar la superficie dañada.

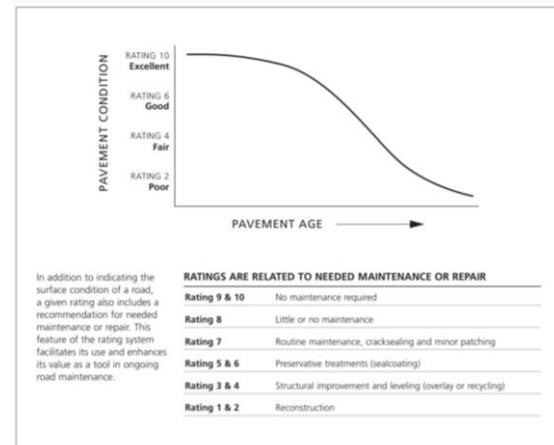


Figura 1

Gráfica representativa de la condición del pavimento vs. la edad del pavimento y tabla que relaciona la calificación obtenida por el método PASER y la reparación y/o mantenimiento requerido [3]

Área de Estudio

El área de interés seleccionada ubica en el tramo de la Carretera Estatal PR-23 (Ave. F. D. Roosevelt), desde la intersección con la Ave. Luis Muñoz Rivera hasta la intersección con la Calle Teniente Cesar Luis González en Hato Rey, en el

límite municipal de San Juan, Puerto Rico (Figura 2). El tramo bajo estudio tiene una extensión aproximada de 1,000 metros longitudinales y una sección típica de 30 metros, que incluye acera, franja de siembra, media isleta central y pavimento de rodaje. La superficie asfaltada, objeto de inspección, tiene un ancho de rodaje 8.50 metros, en ambas direcciones. Esta carretera es de alto flujo vehicular, lo que dificulta la adquisición de datos mediante métodos convencionales.

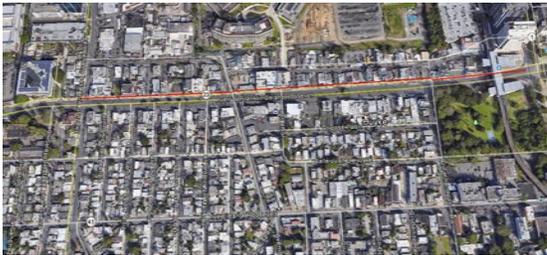


Figura 2

Tramo Ave. F.D. Roosevelt desde la Ave. Luis Muñoz Rivera hasta la Calle Cesar González [3]

El tramo fue subdividido en seis secciones de 325 metros lineales en promedio; tres secciones de este-oeste y tres secciones de oeste a este.

Secciones este-oeste

Sección 1: desde Ave. Muñoz Rivera hasta intersección Calle Fernando Primero

Sección 2: desde Calle Fernando Primero hasta intersección Ave. Arterial Hostos

Sección 3: desde Ave. Arterial Hostos hasta intersección Calle Teniente Cesar González

Secciones oeste-este

Sección 4: desde Calle Teniente Cesar González hasta intersección Ave. Arterial Hostos

Sección 5: desde Ave. Arterial Hostos hasta intersección Calle Fernando Primero

Sección 6: desde Calle Fernando Primero hasta intersección Ave. Muñoz Rivera

Proyecto 2: Estudio Preliminar para Proyectos de Construcción de Obras de Ingeniería Civil

Desarrollo Residencial Comunidad Sustentable y Resiliente, Barceloneta, Puerto Rico [4]

Los proyectos de construcción en obras de ingeniería precisan de estudios preliminares (por

ejemplo, topografía, layout, análisis hidrológico/hidráulico, diseño geométrico de las carreteras y el diseño del sistema de agua potable, sanitario y pluvial) para la obtención de información del terreno necesarios para poder definir los diseños y procedimientos a aplicar en el proyecto.



Figura 6

Fuentes antropogénicas que son resultados de actividades humanas que impiden la captura y/o análisis de datos

Con la información adecuada se reducen costos, el tiempo en completar la obra, riesgos de seguridad y daños estructurales, entre otros. Se resalta la importancia de la topografía por ser requisito indispensable en toda obra de construcción en proyectos de ingeniería civil, por ser parte de los productos que se obtienen de los UAVs y por ser objeto de esta investigación.

Topografía - Este estudio provee la representación gráfica de la configuración de la superficie del terreno, mediante curvas de nivel. Incluye, además, la localización de todos los caminos, cuerpos de agua, líneas hidráulicas, canales, estructuras y utilidades. Tiene como objetivo mostrar las características del terreno e información útil para la representación de una realidad 3D (x,y,z) en un plano 2D (x,y) y así definir espacios.

Área de Estudio

El proyecto “El Desarrollo Residencial Comunidad Sustentable y Resiliente” se encuentra localizado en la costa norte de Puerto Rico, dentro del límite municipal de Barceloneta (Figura 7), con

una extensión próxima a 16.45 cuerdas y un relieve especialmente llano.

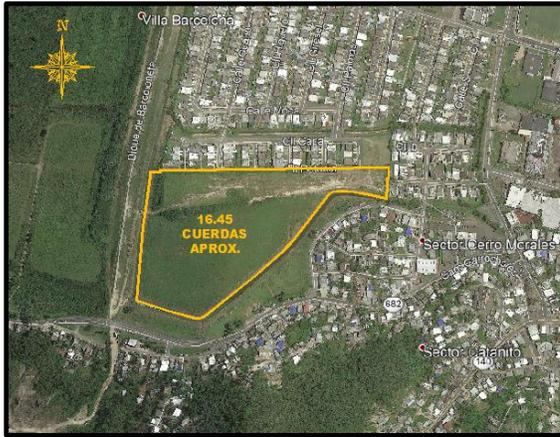


Figura 7
Imagen aérea del área de estudio [4]

Está limitada al norte por la comunidad Villa Barcelona; por la Carretera Estatal PR # 682 al sur; Sector Cerro Morales por el este; y Dique de Barceloneta por el oeste (Figura 7).

Tabla 3
Coordenada Geográfica Área de Estudio

Zona de Estudio	Lat. (N)	Long (O)
Esq. Superior Izq.	18°27'10"	66°32'54
Esq. Inferior Der.	18°27'05"	66°32'44

Proyecto 3: Mensura y Topografía

- Plano de Topografía Academia Barbara Ann Roessler [5].
- Topografía Vertedero de Guaynabo [6].
- Plan de Mensura y Topografía - Parque Recreativo El Cerezal [7].

La obtención de los datos de campo por métodos convencionales representa, en ocasiones, un reto y la exposición a situaciones de riesgos. Topografía accidentada, acceso, tránsito vehicular, personal especializado y el tiempo requerido para completar las tareas, son algunas de las constantes a considerar en obras de ingeniería civil. El empleo de la tecnología UAVs representa una alternativa viable que reduce los costos, redundando en beneficio y minimiza la exposición a accidentes.

Los trabajos de campo mensura y topografía típicamente se desarrollan en las siguientes fases: evaluación inicial, establecimiento de sistema de control horizontal referido al Sistema de Coordenadas Lambert, North American Datum (NAD-83), revisado por el "National Geodetic Survey", y el establecimiento de sistema de control vertical referido al nivel promedio de las mareas (MSL, por sus siglas en ingles). En el control horizontal se utiliza el sistema de triangulación de soporte, con trasversos originados en vértices de la triangulación y culminando en otro vértice de la triangulación de soporte. En el control vertical se utiliza el método de nivelación diferencial trayendo un nivel automático para la asignación de elevación. Posterior al vuelo fotogramétrico y la descarga de los datos, se da la conversión y transformación de estos en formato *.cvs para luego convertirlos a formato texto y su lectura en Carlson Survey. Luego, procede la creación de TINs y TMESH para la generación de los contornos de elevación. Finalmente, se realiza una traslación y rotación de ejes para la georreferenciación de los datos (x,y) al sistema de coordenadas seleccionados y traslación de los puntos de elevación elipsoidal al control vertical de referencia referido al nivel promedio de las mareas (MSL).

METODOLOGÍA

Equipos y Materiales

Para la realización de la presente investigación se utilizaron los siguientes equipos y materiales, disponibles en el Departamento de Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental y Agrimensura de la Universidad Politécnica de Puerto Rico.

- **Componente físico "Hardware"**
 - UAV – Phantom 4
- **Componentes Lógicos "Software"**
 - Auto Cad 2007
 - Carlson Field Survey 2010
 - Drone Deploy
 - Pix 4d
 - Microsoft Office Excel 2007

La metodología desarrollada en esta investigación parte de la definición de la problemática actual del proyecto, en cuanto a la aplicación de UAVs.

- I. Preprocesamiento
 - A. Selección de Área de Interés (AOI)
 1. Formatos: KML, Shape file, Google Earth (save place as), WGS-84
 - B. Drone Deploy
 1. Establecer altura de vuelo
 2. Solape Lateral o Recubrimiento Lateral
 3. Solape Frontal o Recubrimiento Longitudinal
 4. Selección archivo (AOI)
 5. Edición (AOI)
- II. Pre-Vuelo
 - A. Cotejo de Equipos Materiales (baterías, control remoto, chip de memoria, tableta o celular, aplicaciones)
 - B. Verificaciones obstrucciones, condiciones meteorológicas, elementos de peligro potencial, establecimiento de GCP.
- III. Vuelo fotogramétrico (UAV)
- IV. Procesamiento
 - A. Control de Calidad (Verificación de fotos, Selección de fotos)
 - B. Drone Deploy
 1. Sistema de coordenadas, unidades, 3D map
 - C. Opciones Procesamiento
 1. Procesamiento Inicial
 - i. full initial processing (key point detection)
 - ii. match photo pair (aerial grid corridor)
 - iii. calibration (automatic)
 2. Point Cloud and Mesh (densification) full initial processing (key point detection)
 - i. Minimum key point
 - ii. Export (LAS, x,y,z)

- iii. 3D mesh cloud (medium, export)
- iv. Adv 7x7
3. DSM, Orthomosaic
 - i. Resolución
 - ii. DSM
 - iii. GRID DSM x,y,z
 - iv. Shape File

EXPOSICIÓN DE RESULTADOS

Proyecto 1: Inspección Visual de Pavimentos

Tabla 1
Resumen de Calificación por Sección y Calificación Promedio Total

Sección	Promedio
# 1	4.16
# 2	2.60
# 3	3.25
# 4	4.83
# 5	6.00
# 6	5.00
Rating	4.30

- Ventajas
 - Seguridad
 - Productos – DSM, DEM, Orto-foto mosaico, Nube de puntos, ACAD
 - Georreferenciación (WGS-84, NAD 83, SPCS)
 - Tiempo de obtención de datos y compatibilidad
 - Perspectiva área y ortogonal (Dimensionamiento) y Resolución Espectral

Tabla 2
Resultados de la inspección visual mediante Drone Phantom 4 de la Sección 2 de tramo, aplicando la Metodología PASER

Seccion 2			
Números de Fallas	Descripción	Dimensión	PASER
No 7	Hoyo	3.5'L - 2"W - 4"D	2 (MUY POBRE)
No 8	Grieta de Borde	3'L - 2"W - 1"D	5 (JUSTA)
No 9	Hoyo	φ15" - 3"D	2 (MUY POBRE)
No 10 (a)	Hoyo	φ12" - 2"D	3 (POBRE)
No 10 (b)	Hoyo	φ8" - 3"D	2 (MUY POBRE)
No 10 ©	Hoyo	φ9" - 3"D	2 (MUY POBRE)
			Avg 2.6 (Pobre)

- Desventajas
 - Productos – DSM
 - Costo inicial y actualizaciones (componentes lógicos y físicos)
 - Pérdida de datos
 - Adiestramientos



Figura 3

Perspectiva aérea desde un UAV de una Sección Ave. F.D. Roosevelt, San Juan, Puerto Rico, ilustrando la nitidez de las fotos obtenidas con el UAV- Phantom 4



Figura 4

Fallas 10 (a), 10 (b) y 10 (c), Sección 2, dirección este-oeste, Descripción – hoyos (potholes), Rating 2

- Limitaciones
 - Cubierta vegetal
 - Confusión
 - Pérdida de datos
 - Certificación
 - Condiciones meteorológicas



Figura 5

Imagen Aérea de porción de Sección 6, evidenciando como la cubierta vegetal limita en la captura de datos bajo esta

Proyecto 2: Estudio Preliminar para Proyectos de Construcción de Obras de Ingeniería Civil

Desarrollo Residencial Comunidad Sustentable y Resiliente, Barceloneta, Puerto Rico [4]

Estudio Preliminar - topografía, layout, análisis hidrológico/hidráulico, diseño geométrico de las carreteras y el diseño del sistema pluvial (Figuras 9-12).

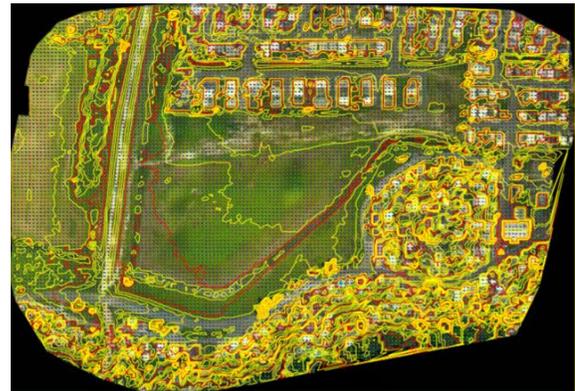


Figura 9

Topografía sin editar de la superficie del terreno del área de estudio. Proyecto Barceloneta, Puerto Rico



Figura 10
Topografía editada de la superficie del terreno, Proyecto Barceloneta, Puerto Rico

- Proyecto 3A: Academia Barbara Ann Roessler



Figura 13
Foto aérea – Academia Barbara A. Roessler, Drone Phantom 4



Figura 11
Distribución de los solares propuestos, diseño geométrico de carreteras y localización de puente propuesto

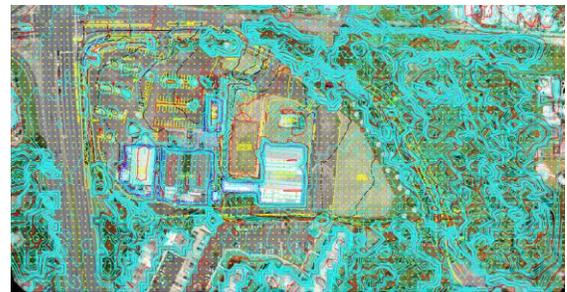


Figura 14
Topografía sin editar de la superficie del terreno del área de estudio. Proyecto Mensura y Topografía – Academia Barbara Ann Roessler obtenida del procesamiento de los datos del Drone Phantom 4.

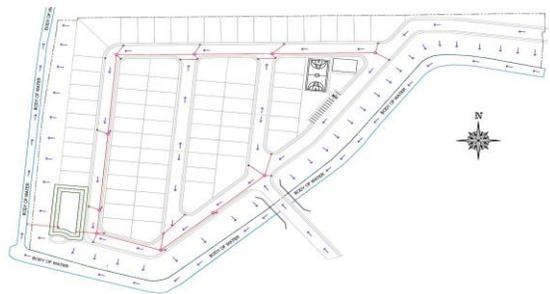


Figura 12
Distribución de los solares, diseño geométrico de carreteras, localización de puente propuesto y diseño de sistema pluvial

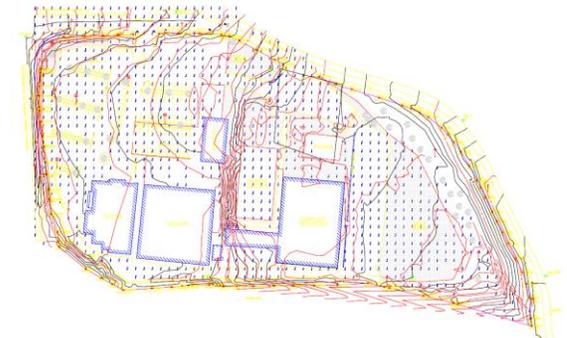


Figura 15
Topografía editada de la superficie del terreno, Proyecto Mensura y Topografía – Academia Barbara Ann Roessler superponiendo la topografía realizada por estudiantes del programa de agrimensura vs. la obtenida del procesamiento de los datos del Drone Phantom 4

Proyecto 3: Mensura y Topografía

- Plano de Topografía Academia Barbara Ann Roessler [5].
- Topografía Vertedero de Guaynabo [6].
- Plan de Mensura y Topografía - Parque Recreativo El Cerezal [7].



Figura 16
Topografía editada de la superficie del terreno, Proyecto Mensura y Topografía – Academia Barbara Ann Roessler

- Proyecto 3B: Vertedero de Guaynabo



Figura 17

Foto aérea – Vertedero de Guaynabo. Drone Phantom 4

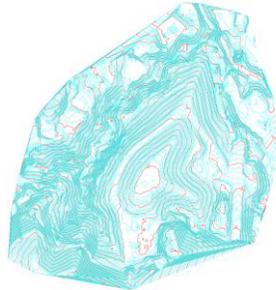


Figura 18
Topografía Vertedero de Guaynabo – Procesada en Pix4 D obtenida del Drone Phantom 4, aplicando un algoritmo de eliminación de objetos sobre el nivel del terreno

- Proyecto 3C: Parque Recreativo Urb. El Cerezal



Figura 19
Foto aérea – Parque Recreativo Urbanización El Cerezal. Imagen obtenida del Drone Phantom 4 insertada a la mensura y topografía realizada por estudiantes del programa de agrimensura.



Figura 20
Plano de mensura y topografía realizada por estudiantes del programa de agrimensura. Por motivos de seguridad se les requirió el trazado de las avenidas y carreteras de acceso a partir de ortofotomosaico obtenido del Drone Phantom 4 [7]

VENTAJAS, DESVENTAJAS Y RECOMENDACIONES

Ventajas

- Captación de imágenes con alta resolución a baja altitud (menos de 400’).
- Precisión fotogramétrica a través de dos alternativas: (1) técnica convencional de Ground Control Points (GCP) o (2) el uso de tecnología Real Time Kinematic (RTK).
- Baja emisión de ruido.
- Seguros y livianos, 2-4 libras – algunos fabricados con “foam”.
- Requieren mínimas destrezas de los operadores

- Vuelos autónomos y programados con absoluta precisión geoespacial (WayPoints Technology).
- Precisión absoluta X,Y/Z de hasta 3 cm (X,Y), 5 cm (Z) sin necesidad de utilizar puntos de control terrestre.
- Georreferenciación (WGS-84, NAD 83, SPCS)
- Tiempo de obtención de datos y compatibilidad
- Perspectiva área y ortogonal y Resolución Espectral
- La distribución de los datos geoespaciales puede ser óptica en estudios comparativos con información de diferente distribución espacial y temporal.
- Vuela alto
 - Altitud entre 300 y 400 pies (AGL). Mayor altitud le da a la cámara más área terrestre para cubrir en una sola imagen.
 - Mayores posibilidades de capturar las características únicas y también ayuda a la cartografía de áreas con imágenes homogéneas.

Desventajas

- La realización de procesos geo-informáticos aplicados a los datos generados mediante drones, requieren de un nivel de experiencia y/o destrezas para la manipulación de estos.
- El procesamiento de una importante cantidad de datos exige de equipo adecuado para el manejo de la información.
- El tiempo requerido para el registro, integración, almacenamiento y procesamiento de los datos generados mediante drones, puede ser uno extenso.
- Condiciones meteorológicas adversas pueden ser un impedimento al momento del vuelo fotogramétrico.
- El peso del vehículo aéreo no tripulado (Drone-Phantom 4) dificulta la estabilidad del aparato.
- Los UAVs que operan en el rango visible u óptico del espectro electromagnético no permiten la captura de información bajo la cubierta vegetal.
- La duración de las baterías (fuente de energía) del Drone varía entre 20-30 min. Esto reduce el tiempo disponible para la captura de datos.
- La operación de los UAVs para fines comerciales obliga a los usuarios a obtener una certificación de la Administración Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en inglés).
- Dado que la topografía se genera a partir de un modelo digital de la superficie, el cual considera las alturas de los árboles y edificios, presenta un reto en el proceso de edición de la topografía.
- Vuelo en un día nublado
 - Siempre es importante verificar el clima antes de volar.
 - Permite usar las nubes como un difusor de luz al filtrar la luz solar natural. Los difusores de luz proporcionan una iluminación suave y uniforme en su sujeto.
 - La luz filtrada puede reducir en gran medida las sombras, la visión borrosa y el brillo de las superficies reflectantes.
 - Intente volar entre las 10 AM y las 2 PM
 - Esto produce menos sombras en las fotografías.
 - También quiere evitar días parcialmente nublados y vientos fuertes, los cuales pueden dificultar la captura de imágenes de calidad para sus mapas.
- Aumentar el recubrimiento frontal y lateral
 - Aumentar la superposición de un vuelo es otra forma de crear puntos más pareados a través de imágenes individuales.
 - La superposición predeterminada se establece en 60/70 para encontrar un equilibrio entre la precisión y la gran cantidad de imágenes.
 - Superposición va a depender de las necesidades y requisitos del proyecto y los resultados deseados
- Actualización al último firmware de DJI
 - Antes de salir y volar cualquier misión, siempre es importante asegurarse de que el

hardware de su dron esté actualizado y de que tenga instalado el último firmware.

- Usa un dispositivo móvil recomendado cuando vueles
- La aplicación de vuelo Drone-Deploy funciona en dispositivos iOS y Android, algunos dispositivos proporcionarán un mejor rendimiento, experiencia y seguridad.

En general, se recomiendan dispositivos más nuevos para la mejor experiencia.

- Equipo empacado y en condiciones de trabajo
 - Tarjeta SD (mantenga algunas tarjetas)
 - Cable de conexión y Cable USB del control remoto
 - Dispositivo móvil
 - Estuche de transporte
 - Inspeccione el dron y accesorios para detectar cualquier tipo de grietas
 - Batería extra (o dos)
- Revisar siempre el espacio aéreo antes de volar con aplicaciones como AirMap y Flyte.
 - Cerciorarse de que está operando en un espacio aéreo legal y no hay restricciones ni avisos de vuelo para los aviadores (NOTAM).
 - Consultar el sitio web de la FAA para obtener las últimas actualizaciones del espacio aéreo.

Evaluación y Clasificación de tramo de la Avenida Roosevelt por Método PASER,” Universidad Politécnica de Puerto Rico, Hato Rey, PR, 2018.

- [4] C. Andújar, J. Carranza, Z. Dávila, and V. Romero, “Civil Engineering Senior Design Project CE 4920-WI-18- Proyecto Comunidad Sustentable y Resiliente,” Universidad Politécnica de Puerto Rico, Hato Rey, PR, 2018.
- [5] L. Berrios, L. Martínez, and S. Montañez, (2018). “Surveying Practice Surv 3308 Mensura y Topografía-Academia Barbara Ann Roessler,” Universidad Politécnica de Puerto Rico, Hato Rey, PR, 2018.
- [6] S. Montañez, P. Negrón, and Y. Valentín, “Senior Project II Surv 4109-SP-18-Topografía Vertedero Guaynabo,” Universidad Politécnica de Puerto Rico, Hato Rey, PR, 2018.
- [7] S. Montañez, P. Negrón, and Y. Valentín, (2018). “Senior Project II Surv 4109-SP-18-Mensura y Topografía-Parque Recreativo El Cerezal,” Universidad Politécnica de Puerto Rico, Hato Rey, PR, 2018.

REFERENCIAS

- [1] W. W. Greenwood, J. P. Lynch, and D. Zekkos, “Applications of UAVs in Civil Infrastructure,” *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 25, no. 2, June 2019. Available: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29IS.1943-555X.0000464>. [Accessed April 10, 2020].
- [2] P. Liu, A. Y. Chen, and Y. N. Huang, “A review of rotorcraft Unmanned Aerial Vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering,” *Smart Structures and Systems*, vol. 13, no. 6, pp. 1065-1094, 2014. Doi: 10.12989/sss.2014.13.6.1065. Available: https://www.researchgate.net/publication/263810544_A_review_of_rotorcraft_Unmanned_Aerial_Vehicle_UAV_developments_and_applications_in_civil_engineering. [Accessed April 11, 2020].
- [3] D. Blas, O. Castellón, and V. Romero, “Proyecto HWY Engineering CE 3320-SP18, Inspección Visual de Pavimentos-Avenida Roosevelt por el Método PASER