

AFI

AEROFOTOGRAMETRÍA INTELIGENTE



ING. PAVEL DÁVALOS GONZALES

Pavel Dávalos Gonzales

AEROFOTOGRAMETRÍA INTELIGENTE

Índice

CAPITULO I: La Aero Fotogrametría Inteligente (AFI)

- 1.1 Definición
- 1.2 Tipos
- 1.3 Flujo de trabajo de la AFI

CAPITULO II: Los Vehículos Aéreos No Tripulados – VANT (Drones)

- 2.1 Definición
- 2.2 Tipos de VANT
- 2.3 Principales partes de un VANT

CAPITULO III: Conceptos Fundamentales

- 3.1 De la cámara fotográfica
- 3.2 Valor GSD
- 3.3 Traslape o solape
- 3.4 Georeferenciación

CAPITULO IV: Planificación y ejecución del Vuelo AFI

- 4.1 Pasos para la planificación del vuelo
- 4.2 Condiciones atmosféricas
- 4.3 Principales parámetros del vuelo

CAPITULO V: Productos obtenidos con la AFI

5.1 Nube de puntos densa

5.2 Ortofotomosaico

5.3 Modelo Digital del Terreno y la Superficie MDT – MDS

5.4 Modelo 3D

CAPITULO VI: Aplicaciones de la AFI

6.1 En la Ingeniería Civil

6.2 En la Topografía

6.3 En la Geología

6.4 En Arqueología

La Fotogrametría es, *“el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”.*

Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS)

PROLOGO

En años recientes la Aerofotogrametría ha evolucionado otra vez, como lo ha hecho anteriormente por ejemplo con la aparición de los primeros aeroplanos o con el invento de la computadora. Hoy sube un escalón más en esta carrera evolutiva con el uso de “tecnologías inteligentes”, como son principalmente los algoritmos que usan los programas de procesamiento, Vehículos Aéreos No Tripulados (Drones), uso de Smartphone y/o Tablet. Lo que ha permitido automatizar el flujo de trabajo fotogramétrico de manera increíble. Mejorando drásticamente el aprovechamiento de horas máquina y horas hombre. Dando así inicio a un nuevo ciclo posterior a la Fotogrametría Digital, al que bien se le podría denominar como Aerofotogrametría Inteligente AFI.

En mi experiencia como Docente, Consultor e Investigador en Aerofotogrametría con Drones, me ha permitido ver que hay requerimiento de información, las personas quieren aprender sobre el tema ya que representa una gran oportunidad de su aplicación en diferentes campos como: Ingeniería Civil, Topografía, Geología, Arqueología, etc. Es por ello que esta obra, busca ser un aporte que brinda a los lectores los conocimientos útiles sobre la nueva forma de hacer Aerofotogrametría. Esperando que pueda ayudar al estudiante, a entender mejor los fundamentos de esta técnica y lo motive a seguir aprendiendo e investigando, pues la Aerofotogrametría se encuentra en plena evolución.

El presente texto es fruto de la recopilación de anotaciones y artículos escritos por el autor, durante el tiempo como docente del curso de “Fotogrametría y Teledetección” en el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción del Ministerio de Vivienda en Perú, y redactor de la web “ICGeo” en temas de Aerofotogrametría con Drones. El mismo que presento con humildad y con una profunda gratitud, para todas las personas que inspiran mi trabajo y deja abierta la crítica y apreciación constructiva.

CAPÍTULO I

AEROFOTOGRAMETRÍA INTELIGENTE – AFI

1.1 DEFINICIÓN

La Fotogrametría es una técnica bastante antigua, que nació casi al mismo tiempo que lo hizo la fotografía, halla por los años 1826.

Es decir es una técnica que va pronto a cumplir los doscientos años de avance y desarrollo. Así mismo durante todo este tiempo, la técnica ha ido evolución por intermedio de diferentes ciclos. Entre las que se encuentran los Ciclos de la Fotogrametría Plana, Analógica, Analítica y Digital. Sin embargo, a partir de inicios de la segunda década del tercer milenio la Fotogrametría ha evolucionado nuevamente.

Como es propio de cada nuevo ciclo, este también está directamente relacionada al desarrollo de nueva tecnología, como así se le ha denominado en la actualidad “Tecnología Inteligente”, basada en la información recopilada del usuario y que este alimenta en el sistema. Lo que permite realizar procesos, altamente automatizados tanto durante la planificación de vuelo, ejecución y procesamiento de información. Algunas de las tecnologías usadas, se describen a continuación:

- ❖ **El Internet:** es la red de redes que hace posible el flujo de la información sin límites de espacio o tiempo a lo largo y ancho del planeta. es usado como herramienta fundamental para la transmisión de datos, planificación de vuelo, control, actualización de controladores, etc.
- ❖ **Los Vehículos Aéreos No Tripulados - VANT (Drones):** son la estrella de este ciclo, pues permiten la realización de vuelos a baja altitud con la capacidad de llevar excelentes sensores (cámaras fotográficas u otro), así como de ser programados para cumplir misiones automatizadas de manera inteligente y autónoma.
- ❖ **Los Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite (GNSS):** aunque no es muy bien conocido, los sistemas GNSS en los últimos años han

atravesado por una acelerada carrera de desarrollo. Proyectos como Galileo, GLONASS, BEIDOU, se encuentran completados en sus constelaciones en la actualidad y sumado al GPS norteamericano, se cuenta hoy con un gran enjambre de satélites de posicionamiento en el espacio, lo que permite al Drone realizar vuelos precisos, despegar, cumplir la misión y aterrizar en el lugar indicado, todo ello con una precisión de un reloj Suizo.

- ❖ **Dispositivos Inteligente:** el desarrollo de la "tecnología inteligente" como son las Tablets, Smartphone, SmartTV, entre otros. Permiten a la Fotogrametría, una interconexión total y transferencia de datos, así mismo le permite contar con una interfaz de visualización para hacer un seguimiento al VANT.



Figura 01: Drone Mavic Air y control, Smartphone y Tablet

El ciclo de la Aerofotogrametría Inteligente, tiene características únicas que la distinguen y nos indican claramente ante nuevos tiempos en el desarrollo de esta técnica. A continuación se indican algunas características:

- ❖ El uso de las Tecnologías Inteligente o Inteligencia Artificial
- ❖ En este nuevo ciclo, la Fotogrametría se ha puesto a disposición de las grandes masas. A diferencia de sus ciclos precedentes, este ciclo

está caracterizado por la accesibilidad de costo a la tecnología por un gran número de personas y profesionales.

- ❖ La rapidez para la generación de productos
- ❖ La calidad de la Información y su precisión

Sin embargo en la actualidad, este ciclo apenas se encuentra en sus inicios y se espera un importante avance en las próximas décadas.

1.2 TIPOS

La Aero Fotogrametría Inteligente puede ser subdividida en dos grupos, AFI Fotográfico y AFI Lidar. Pues bien, ello basados en el concepto de Fotogrametría dado por la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) el cual dice “La Fotogrametría es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”. Este concepto amplía las fronteras de la Fotogrametría, más allá del uso de las fotografías como medio de medición y cálculo, abarcando en la actualidad el uso de otros sensores activos o pasivos para la captura de información.

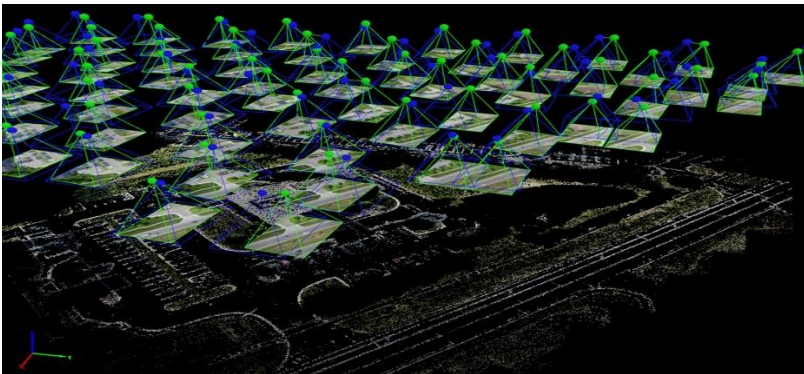


Figura 02: AFI Fotográfico (ubicación de fotografías tomadas)

AFI Fotográfico: Va montado en el VANT una cámara fotográfica, como sensor de captura de información. La misma que debe tener las características y condiciones para ser utilizada en la Fotogrametría.

AFI Lidar: Va montado en el VANT el Lidar (Light Detection and Ranging), que utiliza luz de láser para obtener información espacial de superficies y objetos, pudiendo realizar mediciones exactas en X,Y,Z. En el cual no entraremos a describir en la presenta obra, más que en este párrafo, ya que es un tema que merece ser abordado de forma más amplia.

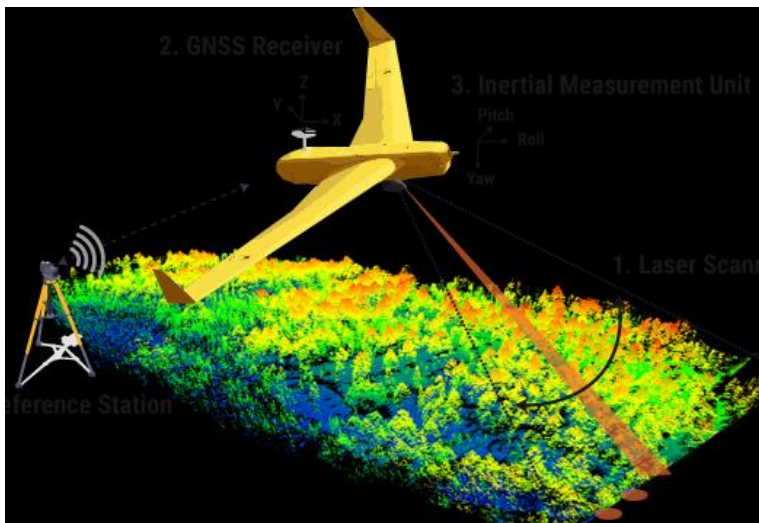


Figura 03: AFI Lidar (captura del láser Lidar)

1.3 FLUJO DE TRABAJO

La Aerofotogrametría Inteligente es una técnica que para ser desarrollada adecuadamente debe hacerse siguiendo una serie de pasos.

Lo primero que tendremos que hacer es, definir el propósito de nuestro levantamiento con AFI. Responderemos preguntas como: ¿es un

levantamiento final o una primera evaluación rápida? ¿qué grado de precisión desea el cliente?, no es lo mismo hacer un levantamiento con fines topográficos para la construcción de una infraestructura, que un levantamiento para la evaluación de la estabilidad de un talud en una vía, el primero requiere un mayor alto grado de precisión que el segundo.

Un siguiente paso será, definir los equipos que necesitaremos para tal misión. ¿Será más conveniente un VANT de ala fija o un multirrotor? ¿Vamos a requerir puntos de control terrestre con receptores GNSS? ¿Cuántas baterías serán necesarias?, esto también nos ayudará en la determinación del presupuesto y rentabilidad del trabajo.



Figura 04: Movilidad, cono de viento, receptor GNSS, dianas, equipo UAV (parte del equipo necesario para AFI)

Así mismo en este punto será necesario coordinar acciones necesarias con del equipo humano participante, fechas, disponibilidad, y escuchar opiniones de todos los involucrados. Así como definir los medios necesarios

para el trabajo, tales como la movilidad, comunicaciones, posibles hospedajes, permisos o autorizaciones de ser necesarias.

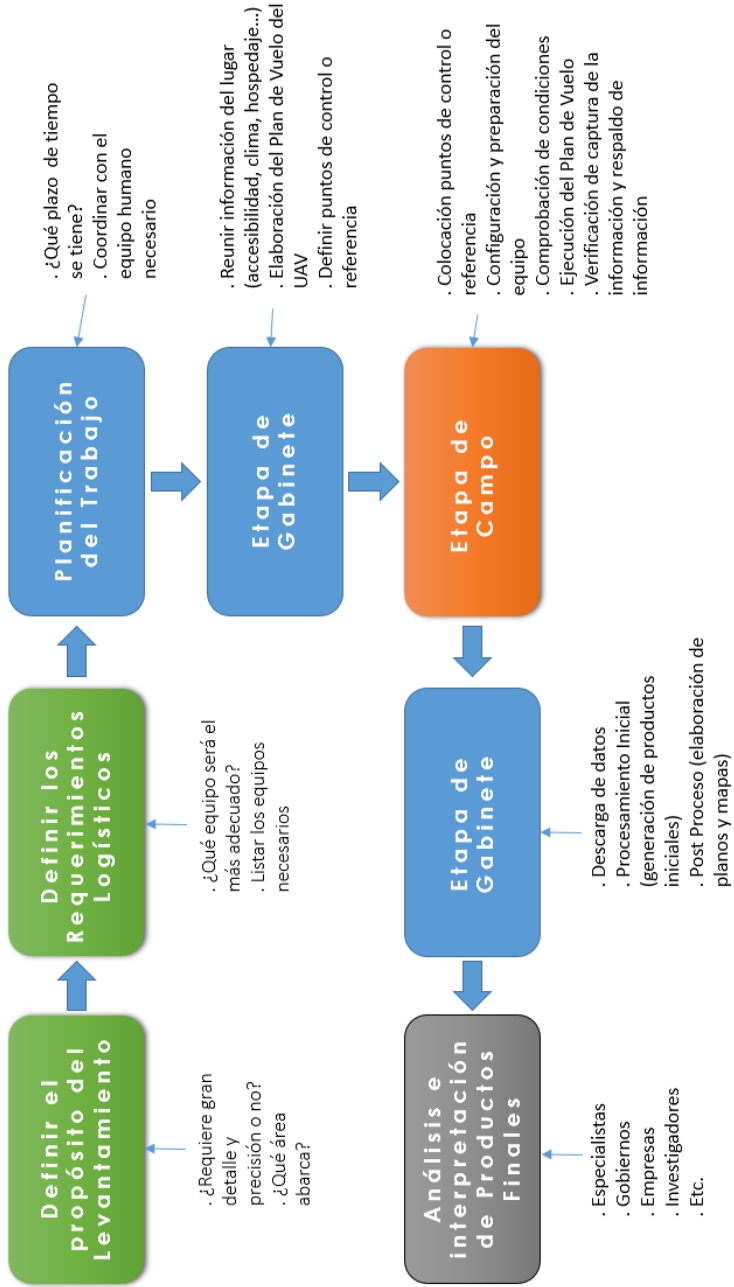
En la primera etapa de gabinete, reuniremos toda la información del lugar del trabajo, tales como el tiempo climático, accesibilidad, relieve para definir despegue y aterrizaje del VANT, posibles obstáculos para el vuelo, entre otros. La misma que pueden ser proporcionada por el cliente, o gestionado por nosotros por medio de diferentes fuentes directas como personas o bibliográficas, mapas digitales, internet, etc. Así mismo planificaremos el vuelo automatizado del VANT, mediante un software en una Computadora o una aplicación móvil para teléfonos inteligentes o tabletas.

Una vez que contemos con toda la información necesarias y hayamos planificado el trabajo. Procederemos a ejecutar la parte de trabajo en campo, el cual consistirá principalmente en la realización de nuestro plan de vuelo, la colocación de nuestro puntos GNSS de control terrestre de ser necesarios, así mismo en cuanto el VANT haya aterrizado procederemos a verificar y respaldar la información capturada (guardar las fotografías en una laptop o dispositivo de almacenamiento seguro).

La segunda etapa de gabinete la podríamos subdividir en dos, en la primera realizamos el procesamiento inicial, donde obtendremos los productos iniciales tales como: el Ortofotomosaico, modelo digital del terreno y/o superficie, nube de puntos, modelo del relieve. La segunda parte consistiría en la elaboración de los productos finales, o denominado también “el post proceso”, en donde nos encargaremos de la creación de planos, mapas, cálculos, etc.

Con lo cual estaríamos dando por concluido, nuestro levantamiento no sin antes recordar que debemos manejar de forma ordenada nuestra información, así como tratar adecuadamente los equipos y principalmente la seguridad de las personas que trabajan en el proyecto.

Flujo de Trabajo AFI



CAPÍTULO II

LOS VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS – VANT (DRONES)

2.1 DEFINICIÓN

En los últimos años hemos visto como estos aparatos voladores comúnmente llamados Drones, están siendo utilizados en diversos ámbitos y sectores de nuestra vida cotidiana.

También llamado UAV por sus siglas en inglés “Unmanned Aerial Vehicle” significa “Vehículo Aéreo no Tripulado” - VANT, el cual es pilotado a distancia mediante un radio control o programado mediante un software para que realice un vuelo planificado y seguro. También es conocido por UAS por sus siglas “Unmanned Aerial System” que significa “Sistema Aéreo no Tripulado”, o RPAS por sus siglas “Remotely Piloted Aircraft”.

2.2 TIPOS DE VANT

En la actualidad existe una diversidad de tipos de drones, se pueden clasificar según el tamaño, su función o utilidad, o su arquitectura. Para nuestro objeto de estudio consideraremos dos principales tipos: Multirotor y Ala Fija.

Ambos son poseen fortalezas y debilidades, que lo hacen más útiles en determinados trabajos que en otros. La pregunta debería ser, ¿Para este trabajo, que Drone me conviene usar?. Pasemos a ver en detalle como es cada tipo y en que se diferencian.

MULTIROTOR: Es un UAV que es propulsado por rotores y hélices (4 cuadrocopteros, 6 sextocopteros, 8 octocopteros... y así sucesivamente). El

cual tienes ciertas ventajas y desventajas que lo diferencian de un UAV de ala fija.



Figura 06: VANT tipo Multirotor modelo Yuneec H920-CG04

UAV MULTIROTOR	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">• Puede ingresar a zonas inaccesibles• Despegue y aterrizaje vertical y sencillo• Se puede mantener con vuelo suspendido	<ul style="list-style-type: none">• Vuelo de tiempo limitado de 25 a 35 minutos• Es ruidoso• No es aerodinámico• No es posible que vuele en lluvia o con vientos fuertes

UAV DE ALA FIJA: Los sistemas UAV de ala fija son más adecuados para trabajos en los que se pretendan cubrir áreas más extensas, dada su mayor autonomía derivada de su diseño aerodinámico que les proporciona mayor eficiencia y velocidad de vuelo. Este hecho les hace más indicado para trabajos de cartografía y teledetección. También poseen un una huella sonora menor, factor importante de cara a trabajos de vigilancia.

UAV ALA FIJA	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">• Cubre áreas extensas• Tiene estabilidad en el vuelo por su aerodinámica• Es silencioso• Realiza el trabajo en menos tiempo• Puede volar a mayor altura• Mayor tiempo de vuelo 45 a 60 minutos en promedio• Estructura simple	<ul style="list-style-type: none">• Necesita una zona plana y para despegar y aterrizar• Se necesita ocasionalmente un riel lanzador• Su despegue es asistido por una persona de forma manual• No pueden mantener un vuelo estático suspendido• Difícilmente pueden entrar en lugares cerrados



Figura 07: VANT tipo Ala Fija modelo Parrot Disco

2.3 PRINCIPALES PARTES DE UN VANT

Marco (o frames): Es el esqueleto del VAN, es la estructura que le da la forma y en donde todas las otras partes se instalan y aseguran. Como se observa existen diferentes diseños y materiales, según los diferentes tipos de drones.

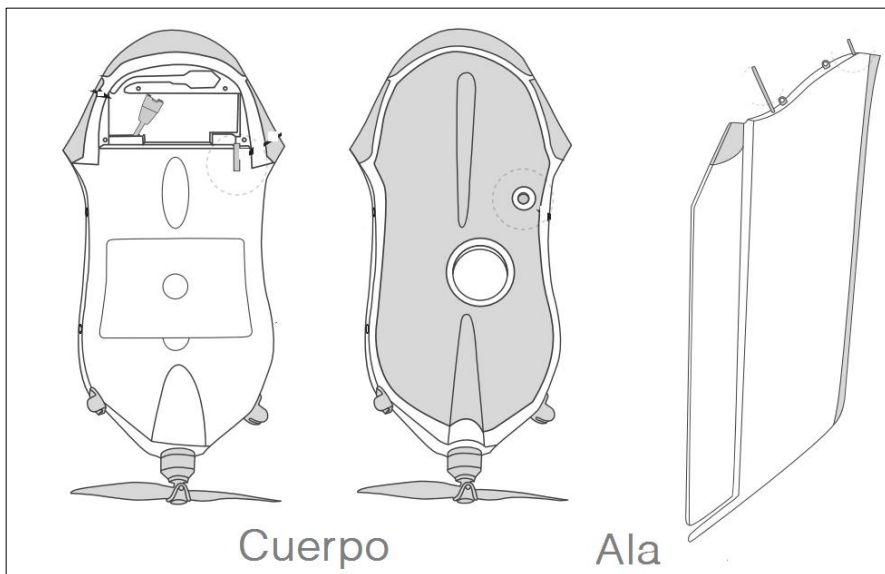


Figura 08: Cuerpo de VANT tipo Ala Fija



Figura 09: Estructura de VANT Multirotor

Motores, Hélices y ESCs: Son los componentes fundamentales para mantener al VANT en el aire. Los ESC (Electronic Speed Control) o Controladores de Velocidad Electrónicos regulan la potencia eléctrica para lograr controlar el giro de los motores con agilidad y eficiencia. Este giro está conectado a las hélices cuya rotación a alta velocidad genera la sustentación del aparato en el aire.



Figura 10: Motor en funcionamiento VANT Mavic Air

Controlador de Vuelo: Este componente es el cerebro de la máquina. Éste censa y controla todo lo que sucede con el multirotor, y es a donde prácticamente todos los componentes van conectados.



Figura 11: Controladora de vuelo Pixhawk

Radio Receptor: Es el responsable de recibir la señal de radio enviada desde el Control Remoto, el cual ha interpretado el movimiento realizado por el usuario y lo ha transformado en onda radial. La señal de radio es recibida

por el Radio Receptor del VANT y transformada en datos que se envían al Controlador de Vuelo para que ejecute la instrucción, normalmente con cambios coordinados en la velocidad de los motores (cuando se trate de una instrucción de movimiento).



Figura 12: Radio receptor Phantom DJI

Baterías: Proporcionan la energía necesaria para hacer funcionar el equipo. Son componentes muy pesados por lo que es esencial que sean capaces de tener una buena relación peso/capacidad para maximizar la autonomía de vuelo del VANT. Las más utilizadas son las baterías Li-Po (polímero de litio) debido a su densidad de energía, su bajo peso y su alta tasa de descarga.

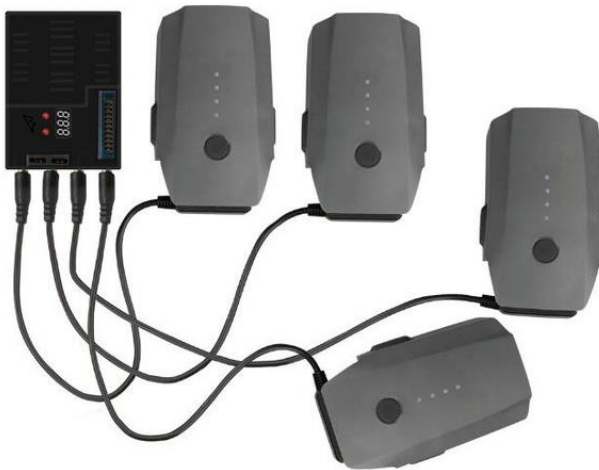


Figura 13: Baterías de VANT Mavic Pro en carga simultanea

GPS y Bújula, Acelerómetro y Barómetro: Componentes que conectados al Controlador de Vuelo le permiten a éste conocer la ubicación, altitud y velocidad exactas del VANT. A partir de esto, y dependiendo del programa que tenga el controlador, se podría automatizar el comportamiento del multirrotor para mantenerse estático en un mismo punto, volar en cierta dirección o velocidad relativa o volar hacia puntos predefinidos.

Cámara y Estabilizador: En la estructura del multirrotor se puede acoplar una cámara para aprovechar el vuelo y capturar fotos desde el aire. Dependiendo del tamaño del multirrotor la cámara podrá ser desde una pesada profesional hasta una liviana cámara de acción, como una GoPro Hero o Sony Action Cam. Normalmente se utiliza un estabilizador o Gimbal para evitar que los movimientos propios del vuelo del multirrotor afecten las tomas. Estos gimbal absorben la vibración de los motores y corrigen automáticamente la inclinación de la cámara para que siempre esté en el mismo ángulo respecto al suelo. Algunos gimbal también pueden ser conectados al Controlador de Vuelo y a través del control remoto el usuario puede cambiar el ángulo de inclinación de la cámara mientras el multirrotor está en el aire .



Figura 14: Cámara y estabilizador en VANT Phantom 4 Pro DJI

CAPITULO III

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

3.1 La cámara fotográfica

En la fotogrametría aérea tradicional se utilizan cámaras fotográficas de alto costo y especializadas las cuales van montadas en el avión. Sin embargo en la fotogrametría con Drones o UAVs, se utilizan cámaras “digitales convencionales” además se pueden utilizar cámaras infrarrojas, u otro tipo de sensores. Nosotros particularmente abordaremos la descripción de las cámaras digitales montadas en los drones de tipo RGB, encargadas de tomar fotografías del terreno y generar los respectivos productos mediante el uso apropiado del Software correspondiente.

En la siguiente imagen tenemos algunos ejemplos de cámaras que utilizan los UAVs profesionales en la actualidad.

RESOLUCION: La **resolución de una imagen** indica la cantidad de detalles que puede observarse en esta. Para saber cuál es la resolución de una cámara digital debemos conocer los píxeles de ancho x alto a los que es capaz de obtener una imagen. Así una cámara capaz de obtener una imagen de 1600 x 1200 píxeles tiene una resolución de $1600 \times 1200 = 1.920.000$ píxeles, es decir 1,92 megapíxeles. Por consiguiente a mayor número de píxeles por imagen mejor es su calidad.

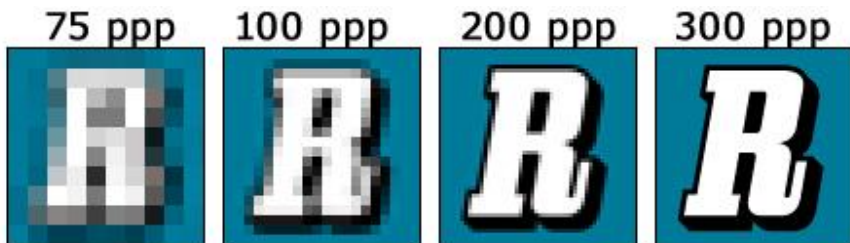


Figura 15: Representación de número de píxeles por imagen y calidad

DISTANCIA FOCAL (FOCAL LENGTH): Ó también conocido como longitud focal, es la distancia en mm (milímetros) del centro óptico de la lente (objetivo) de la cámara al punto focal del lente o espejo de la cámara.

Estas medidas hacen que un lente tenga mayor o menos amplitud de visión, valores cortos como por ejemplo 10mm o menos son los llamados lente “Ojo de pez” el cual tienen un amplio campo de visión y sirve muy bien si quieres hacer panorámicas. Valores mayores como 150mm o más harán de teleobjetivo, es decir tendrás un reducido campo de visión pero los objetos lejanos a fotografiar las veras más cerca.

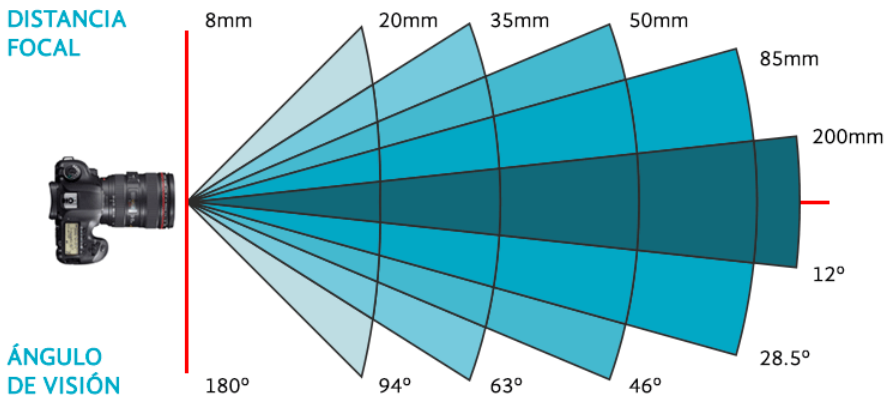


Figura 16: Relación distancia focal y ángulo de visión

VELOCIDAD DE OBTURACIÓN (SHUTTER SPEED): Es el tiempo que transcurre a partir de que entra la luz hasta que llega al sensor, el sensor es el chip en donde cae la luz que entra por la lente y es el encargado de la captura de la imagen. Nos convendrá una cámara con una buena velocidad de obturación para así capturar imágenes que estén borrosas mientras el dron se mantiene en movimiento.

Pero entonces ¿Que es el valor GSD (Ground Sample Distance)?, bueno hacia ello vamos. Como todos saben, la resolución, es directamente proporcional al número de pixeles que posee por cada fotografía. Por ejemplo, si la cámara es de 14 mega pixeles, quiere decir que tiene 14 millones de pixeles por cada imagen que tome. Podemos imaginarnos una hoja cuadriculada, donde cada cuadradito sería un píxel de la fotografía. Por consiguiente, el valor GSD es la distancia que representa en el terreno el valor de cada píxel. Por ejemplo, si el valor $GSD=2.5$ centímetros, quiere decir que cada píxel mide 2.5 centímetros del terreno.

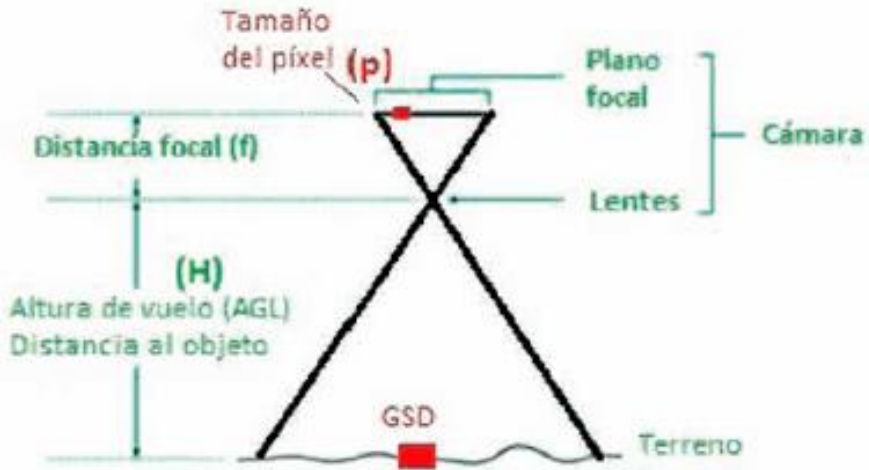


Figura 19: Relación entre GSD y altura de vuelo

El valor GSD, es un dato muy importante a la hora de planificar un vuelo fotogramétrico. Ya que tenemos que tener en cuenta que, si el valor es alto (>5 cm.) tendríamos una baja resolución y viceversa si el valor es bajo (<5 cm.).

3.3 Traslape o solape

El algoritmo de los programas informáticos utilizados para el procesamiento inicial de las fotografías tomadas por el VANT, es el encargado de realizar el emparejamiento de los puntos comunes entre las imágenes. Para que le software pueda realizar esta tarea, es necesario que entre las fotografías existan puntos característicos comunes, los cuales son correlacionados por y triangulados para determinar la posición de cada uno los miles o cientos de miles de puntos que conforman la nube de puntos, y así reconstruir el modelo 3D.



Figura 20: Proceso de reconstrucción del Modelo

Esta correlación y emparejamiento no sería posible, si las imágenes capturadas no tienen una superposición tanto frontal como lateral, también denominadas “Traslape Longitudinal” y “Traslape Transversal”. Es decir que las fotografías están sobre puestas una a otra en un determinado porcentaje. En cuanto mayor sea el traslape, se conseguirá una reconstrucción del modelo 3D más preciso, por lo que para terrenos ondulados o abruptos es recomendable considerar porcentajes de traslape mayores a los consideras en terrenos llanos.

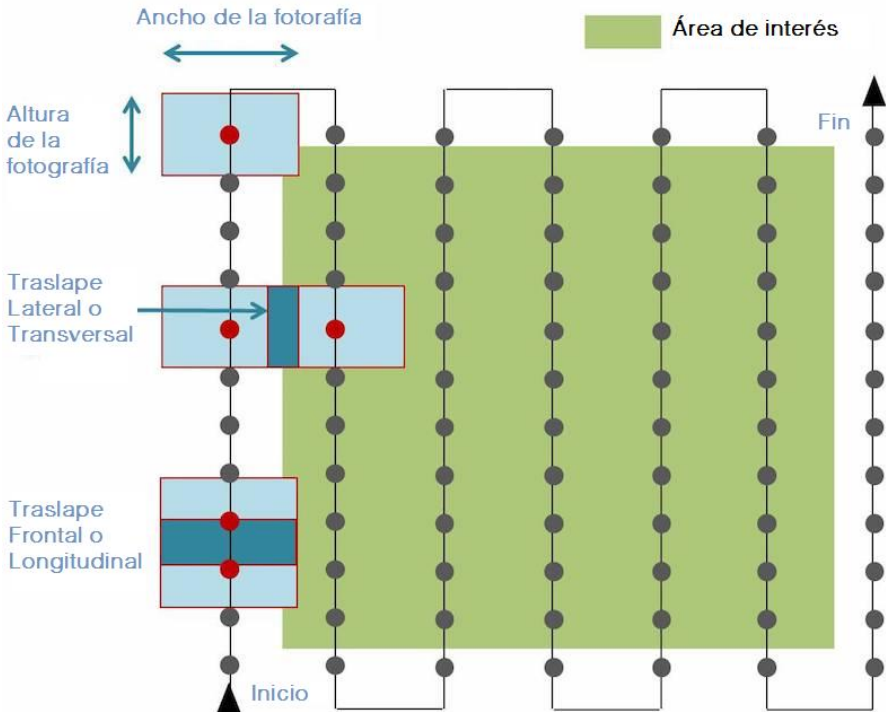


Figura 21: Formas de traslape

3.4 Georeferenciación

La Georeferenciación es el proceso mediante el cual vamos a darle a nuestro trabajo la ubicación espacial que le corresponde, vale decir vamos a ubicarlo en el lugar del globo terrestre en el que realmente estaría ubicado. Utilizando para ello los Sistemas de Posicionamiento Global por Satélite conocidos como GNSS, lo que nos va permitir darle posición, orientación y escala al modelo y a cada uno de los puntos de la nube de puntos.

La forma en que realicemos la Georeferenciación, dependerá del tipo de VANT que estemos utilizando. Ya que es necesario diferenciar que, no todos los drones cuentan con receptor GPS, y a su vez no todos los que cuentan con receptor GPS son de tipo GNSS, es decir que a pesar no tener receptor GPS no tienen las capacidades de recibir señal de las principales

constelaciones de satélites GLONASS, BEIDOU, GALILEO Y GPS y trabajar con código y fase de la señal portadora. Es por ello que podemos diferenciar dos formas de Georeferenciación, basados en el tipo de VANT que utilicemos:

VANT con receptor GNSS: Por lo general los equipos VANT “profesionales” dedicados a la Topografía, Agricultura de Precisión o cualquier otra actividad productiva; traen incorporado un receptor de tipo GNSS el cual puede ser vinculado directamente a una base en tierra en modo RTK, obteniendo así posición precisa requerida en cada punto donde tome las fotografías y a lo largo del vuelo. Puede vincularse también a una Red Virtual mediante Wifi o a una Estación de Rastreo Permanente. De esa manera se crea el modelo con una adecuada Georeferenciación. Además se podría optar de forma adicional la colocación de algunos puntos de control terrestre como comprobación.

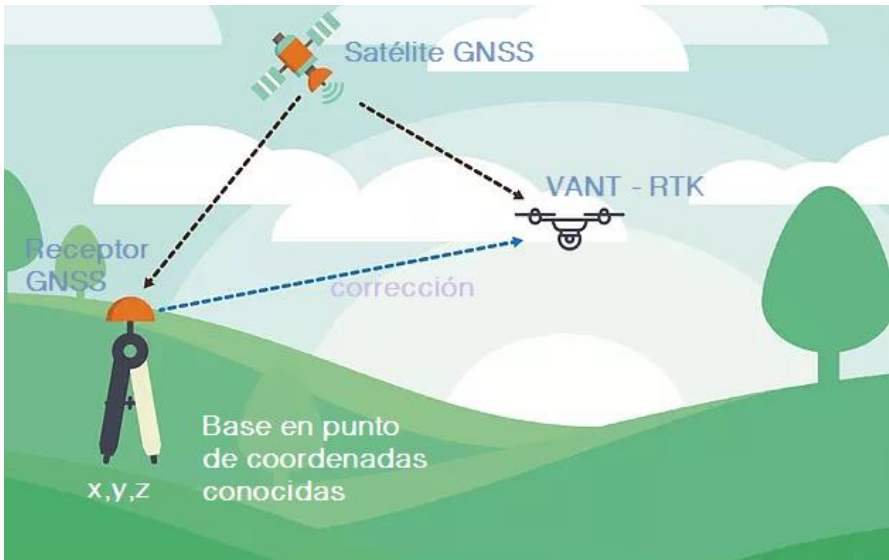


Figura 22: VANT modo RTK

VANT sin receptor GNSS: La mayoría de VANT “domésticos” tren incorporados receptores GPS convencionales es decir, son capaces de recibir señal procedente de GPS Estadounidense u otras constelaciones como Galileo pero únicamente señal de código o estándar sin tener ninguna corrección, por lo que la precisión que den serán del orden cercano a la decena de metros.

Para salvar esta carencia en el equipo, se opta por la colocación de Puntos de Control Terrestre (Ground Control Point “GCP”). Estos puntos son ubicados dentro del área de interés, de la forma en la que construyéramos una mesa con múltiples patas, las cuales deben estar distribuidas de manera equidistante en lo posible, evitando la aglomeración en un sector y la colocación exagerada de puntos. El número de puntos de control dependerá del tipo de relieve, para terrenos llanos u homogéneos será menor el número de puntos a un terreno abrupto o de relieve diverso, por lo que colocaremos de preferencia los “GCP” en lugares donde la topografía cambie.

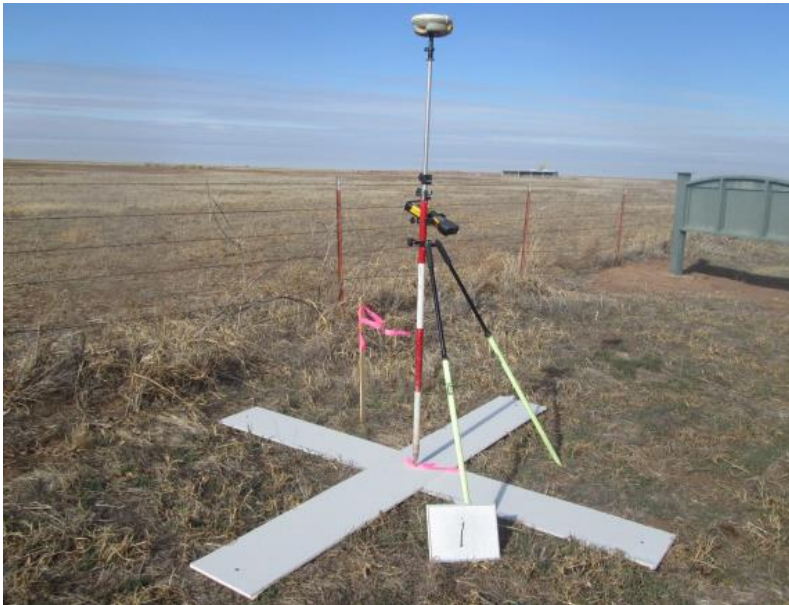


Figura 23: Colocación de punto de control terrestre GCP

La colocación de los puntos de control terrestre, son realizados con equipos GNSS en modo de posicionamiento Estático o RTK dependiendo de la precisión que deseamos alcanzar, los mismos que son demarcados con “dianas” en formas de “X” de una dimensión apreciable, para que el VANT a su paso sea capaz de capturarla. Por lo que esta actividad debe realizarse previamente al vuelo. Las coordenadas de estos puntos, luego serán introducidas como un dato en el programa de procesamiento para corregir la posición de las fotografías.

CAPITULO IV

PLANIFICACIÓN DEL VUELO

Cuando hablamos de planificación de vuelo Fotogramétrico con drones, estamos hablando del proceso en el cual nos disponemos a elaborar el plan de trabajo de campo. El mismo que inicia desde

4.1 Condiciones atmosféricas

La Luz: es la energía que capta el sensor de la cámara para la creación de la imagen digital. La toma debe ser con luz natural del sol, en el punto del día en el que se formen menor cantidad de sombras, por lo que una hora apropiada sería cercana al medio día. O considerar que la luz de sol, incida de manera directa sobre la superficie que deseamos levantar.

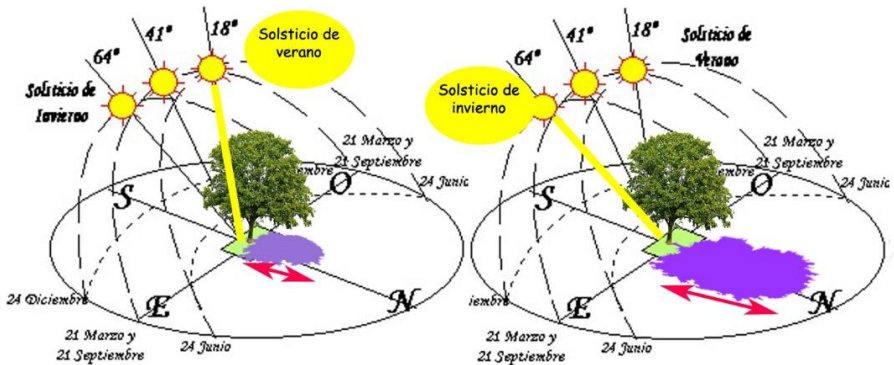


Figura 24: Sombra en relación a la posición del sol en el cielo

Viento: el viento es una masa de aire desplazándose siguiendo una dirección específica, que puede ser lateral, hacia arriba hacia abajo, forma de remolinos, etc. El mismo que es originado por la diferencias de presión y temperatura en los cuerpos de aire en las distintas zonas geográficas. Es común que en horas de la tarde, se presenten los vientos debido a que durante la mañana el aire a sido calentado y se ha vuelto más liviano

ascendiendo, dejando un espacio que luego ocupan otras masas de aire más frías, entonces a causa de este movimiento se generan los vientos.

Los VANT que mejor se comportan frente al viento, son los equipos de Ala Fija. Ya que poseen una aerodinámica que corta la corriente del viento correctamente, es por ello que a la hora de hacer la planificación de vuelo es conveniente hacerlo volar en la dirección del viento, para evitar que sea movido de su eje de vuelo principal.

Así mismo, volar bajo condiciones de viento superiores a los 30km/h se considera viento moderado y superiores a velocidades de 40 km/h se considera viento fuerte, ello implicará el mayor uso de energía debido a la resistencia del aire.

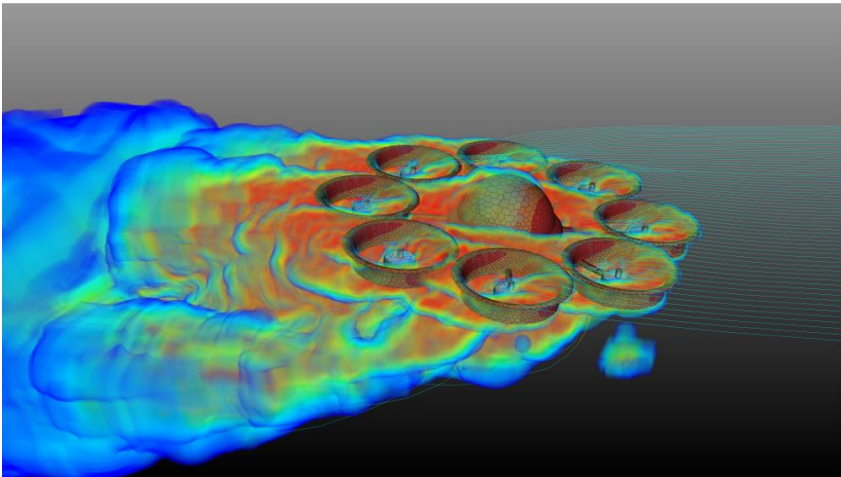


Figura 25: Simulación de fluidodinámica computacional del aire con vuelo de octocóptero.

Lluvia: en la actualidad son cada vez mayor el número de VANT que soportan mejor las condiciones de lluvia moderada, no es recomendable volar en ningún caso bajo condiciones de lluvia. Ya que es muy posible que a pesar que el equipo no ha sufrido ningún daño, las fotografías que tome no sean útiles pues seguramente las gotas de lluvia en el aire crean ruido o falsos puntos en el procesamiento. Así mismo se corre el riesgo que el lente de la

cámara, pueda empañarse o distorsionar las imágenes por alguna pequeña gota que tenga en su superficie.

4.2 Principales parámetros del vuelo

Área del proyecto: es el área de superficie terrestre que deseamos abarcar, más el área marginal incrementada para asegurar la calidad del área de interés. El área marginal suele considerarse entre diez y veinte metros adicionales en cada lado del polígono de interés.

El área del proyecto está delimitado, por intermedio de un polígono en la mayoría de casos irregular de múltiples vértices y lados. En lo posible se desea minimizar la cantidad de lados, y tender a realizar figuras simétricas deseablemente.

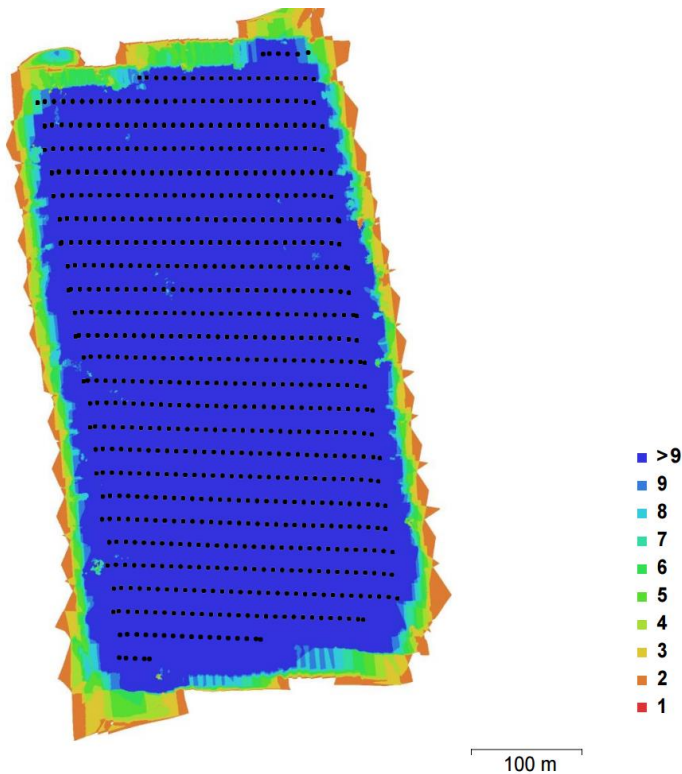


Figura 26: Solapamiento de fotografías (escala y grado), nótese los bordes.

Altura de Vuelo: es un factor determinante a la hora de planificar el vuelo del VANT, ya que su relación con el tiempo de vuelo y el valor GSD son inversamente proporcionales. Quiere decir que a mayor altitud de vuelo, la calidad y el tiempo de vuelo se reducirán y viceversa si la altitud de vuelo es menor, la calidad sería mejor y tiempo de vuelo mayor.

Es un factor que deberemos ajustar basados en nuestra duración de batería, la superficie que deseamos abarcar y la calidad de trabajo que deseamos obtener.

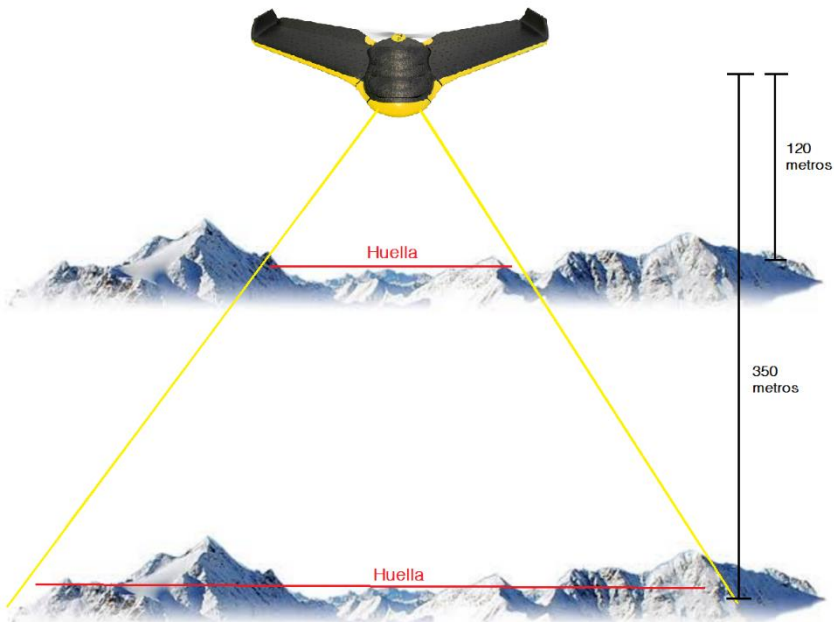


Figura 27: Altura de vuelo en relación a la huella fotográfica

Velocidad de Vuelo: sabemos que los VANT pueden alcanzar altas velocidades superiores a los 30 m/s, como son los drones de carreras. Sin embargo en AFI, el desarrollo de altas velocidades no es necesario, aunque si puede resultar más productivo a la hora de abarcar grandes áreas en corto tiempo, esto está limitado a la velocidad de obturación de las cámaras, las cuales permiten la toma de fotografías hasta cierta velocidad de

movimiento con respecto al objeto. En AFI podemos considerar una velocidad de 7 m/s como moderada y velocidades de vuelo entre 10 m/s - 15 m/s como alta. Debemos de considerar que estos valores dependerán del valor de la velocidad de obturación de la cámara que se esté utilizando.

Tamaño del sensor: el sensor es el corazón de la cámara fotográfica, es un elemento que se encuentra en el fondo del eje óptico de la cámara, el mismo que recibe la luz al momento de abrir el obturador, en ese instante se proyecta sobre el sensor la imagen la misma que es capturada. Cuanto más grande sea el tamaño del sensor, producirá fotografías de mayor calidad ya que cada píxeles tendrá un mayor tamaño individualmente, y por consiguiente una mejor resolución.











	Full frame	APS-C	4/3"	1/1.6"	1/3.2"
					
Tamaño sensor	36 x 24 mm	24 x 16 mm (aprox.)	17 x 13 mm (aprox.)	8.3 x 5.6 mm (aprox.)	4.5 x 3.4 mm (aprox.)
Área del sensor	8.6 cm ²	3.6 cm ²	2.25 cm ²	0.47 cm ²	0.15 cm ²
Representación del tamaño					

Figura 28: Tamaño del sensor de diferentes tipos de cámaras (theimageng.com)

Distancia Focal: nos indica la apertura que tendrán las fotografías, es decir el ángulo de visión que podrá abarcar cada toma. Mientras más corta sea la distancia focal, mayor será el ángulo de visión y por consiguiente mayor la “huella” de cada fotografía, es decir el área que abarca cada toma.

Valor GSD: Este valor es calculado por el programa o aplicación para la planificación del vuelo que estemos utilizando, en función de las variables de: resolución de la cámara y altura de vuelo. Deberemos de tomar en cuenta la calidad de trabajo que deseemos alcanzar, en cuanto mayor sea el valor GSD menor será el grado de detalle que podamos obtener y viceversa.

Duración del Vuelo: A la hora de planificar el vuelo Fotogramétrico con el VANT, deberemos de verificar que el tiempo estimado de vuelo para nuestra misión no sobre pase el 70% de la autonomía de vuelo para la capacidad de la batería. Lo que nos permite un margen considerable de tiempo para que el vehículo aéreo no tripulado pueda volver al punto “Home” de partida o aterrizar en el lugar especificado.

CAPITULO V

PRODUCTOS OBTENIDOS CON LA AFI

5.1 Nube de puntos densa

La “Nube de Puntos Densa”, es un conjunto de vértices tridimensionales, con coordenadas X,Y,Z y representan la superficie o relieve que hemos levantado. Es producto de la correlación de puntos comunes identificados en las fotografías, y que permiten la triangulación entre ellos para el cálculo y generación de superficies y líneas de contornos.



Figura 29: Nube de puntos densa

5.2 Ortofotomosaico

Cuando hablamos de "Ortofotomosaico" nos referimos, al producto obtenido luego de procesar las fotografías tomadas por un Vehículo Aéreo no Tripulado, en el caso de tratarse de Fotogrametría Aérea con Drones.

El Ortofotomosaico, es el resultado de la unión de las áreas de cada fotografía, donde la distorsión por lejanía al eje focal de la cámara, es

cercano a cero. Es decir es el mosaico de las áreas de cada foto donde el plano horizontal con el eje focal son ortogonales, de ahí el nombre de "Ortofoto-mosaico".

Esta selección de áreas sin distorsión, hace posible la generación de una imagen mas grande compuesta (ortofotomosaico), donde podemos realizar mediciones planimétricas tales como; áreas, perímetros y longitudes, utilizando para ello programas de CAD o SIG. Utilizado para la de elaboración de: Cartografía, Catastro, estudios Geológicos, etc. Y permite la visualización del terreno A Vista de Drone, aportando una perspectiva nueva al análisis del área del proyecto.



Figura 30: Sector de un Ortofotomosaico

5.3 Modelo Digital del Terreno y la Superficie MDT – MDS

El Modelo Digital de la Superficie o Terreno, es un archivo generado a partir del procesamiento inicial de un conjunto de fotografías aéreas tomadas por Drone. Este archivo contiene información espacial, en cada uno de los pixeles que conforman la imagen, principalmente coordenadas X,Y,Z. Se trata de un archivo tipo Raster, el cual es un formato versátil, manejado en programas SIG y CAD con facilidad.

A partir de este archivo, podemos generar otros sub productos tales como: curvas de nivel, mapas de pendientes, mapa de irregularidades del terreno, mapas de elevaciones, mapa de cauces y cursos de agua, mapas físicos del relieve, estudios de movimientos de masas de suelos, etc. Combinados con otros productos como el Ortofotomosaico.



Figura 31: Modelo Digital de Superficie

¿Cuál es la diferencia entre MDS y MDT?

Ambos archivos son casi idénticos, en todo lo que ya se ha dicho anteriormente. En lo que se diferencia es que, cuando nos referimos al MDS (Modelo Digital de Superficie) el archivo se trata de todo lo que el Drone ha captado de la superficie y lo que sobre ella estaba, tales como viviendas, autos o vegetación, de toda la superficie y sus elementos. Y cuando nos referimos a MDT (Modelo Digital del Terreno), estamos hablando netamente información correspondiente a lo que debería ser la superficie del terreno. El MDT se procesa, clasificando la nube de puntos densa y exportando únicamente los puntos del terreno y despreciando lo que no es. Este proceso es automático en la mayoría de programas, y se puede ajustar los niveles de clasificado para resultados óptimos.

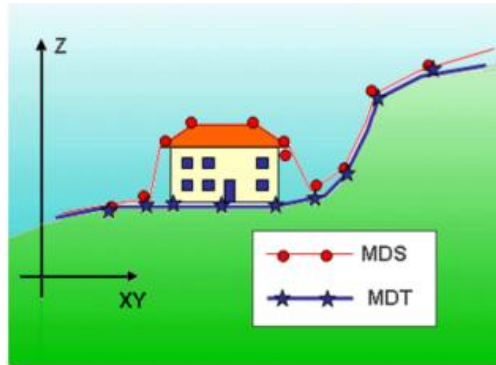


Figura 32: Diferencia entre MDS y MDT

5.4 Modelo 3D

Este archivo generado a partir de la recreación del modelo tridimensional, basado en la nube de puntos densa y el ortofotomosaico, es una representación digital realista de la superficie. El mismo que es editado con programas adicionales, para y combinados con Realidad Virtual para obtener modelos y maquetas digitales útiles para exposiciones, webs, enseñanza, etc.

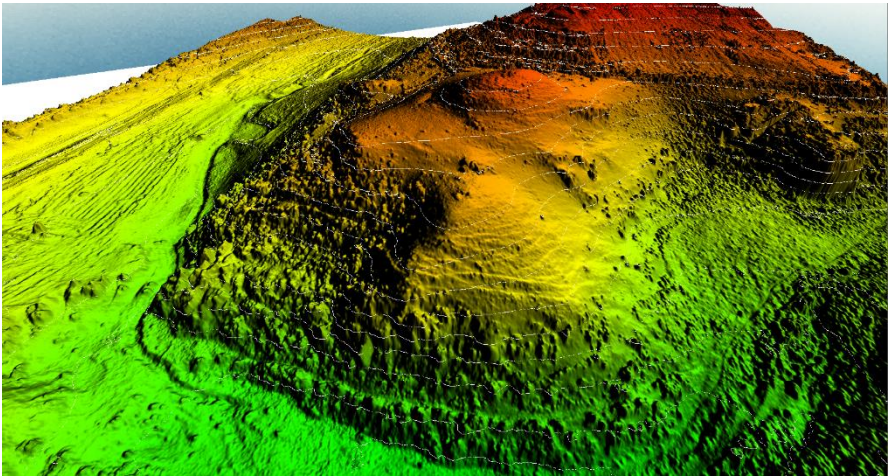


Figura 33: Modelo 3D de la superficie

CAPITULO VI: Aplicaciones de la AFI

6.5 En la Ingeniería Civil

Veamos a continuación, los usos que se les están dando a los drones en la Ingeniería Civil.

EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS: Utilizado en valuación de estructuras tales como, edificaciones, puentes, presas, taludes o muros de contención. Permitiendo el Drone, llegar a lugar que sería muy riesgoso para una persona, y así registrar mediante fotografías o video el estado de las estructuras.



Figura 34: Uso de Drone en evaluación de estructura de puente

LEVANTAMIENTO RÁPIDO DEL RELIEVE: Prácticamente es llegar al lugar de interés, sacar el Drone hacerlo volar, y luego de procesar obtener la topografía del relieve, el ortomosaico, y estar en la capacidad de elaborar planos y mapas sobre información confiable y real del terreno, todo en una sola mañana.

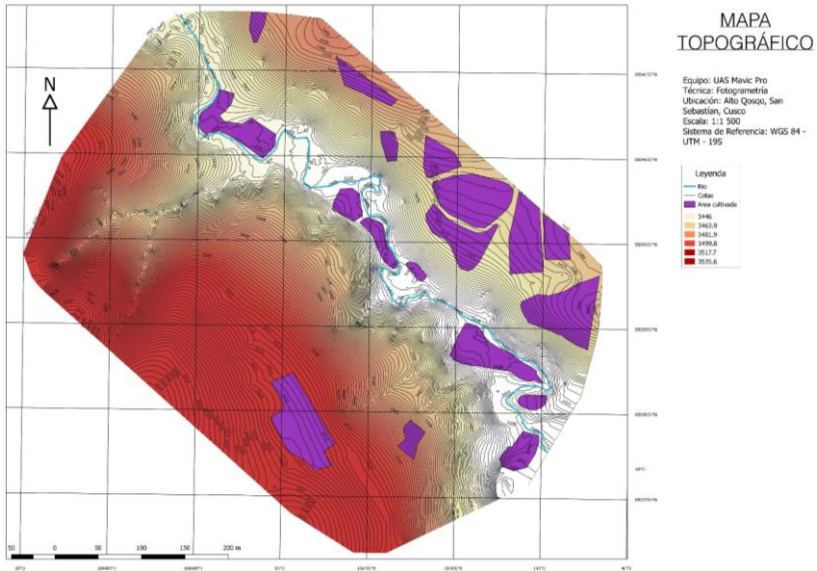


Figura 35: Mapa Topográfico y terrenos de cultivo, elaborado con Mavic Pro DJI en una mañana.

Perspectiva: Los Ingenieros Civiles, están usando los Drones para realizar fotografías de sus proyectos a vuelo de pájaro o mejor dicho a vista de Drone. Para que los incluyan en: expedientes técnicos, perfiles, seguimiento de valorizaciones, evaluaciones y opiniones técnicas, etc, mejorando drásticamente la presentación de sus proyectos.



Figura 36: Obras Civiles a vista de Drone, Cañón del Pato, Huaraz (Por: Walter Lozano, grupo DJI Drones Perú)

Cálculo de volúmenes: Cálculo de volúmenes de canteras, mediciones y parcelaciones, cálculo de longitudes y áreas de manera rápida y precisa, contando con el apoyo terrestre de puntos de control. Sin duda la Ingeniería Civil, es una de las profesiones en donde mejor se están aprovechando los Drones.

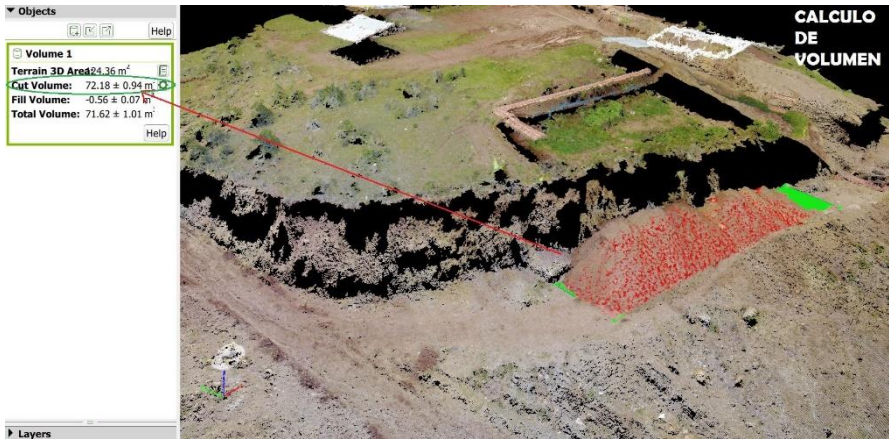


Figura 37: Cálculo de volumen de corte con Pix4D Mapper

6.6 En la Topografía

La Disciplina de la Topografía ha adoptado como una herramienta más a los VANTs, aunque en la actualidad el método AFI no ofrece una precisión milimétrica sino más bien centimétrica, utilizando para ello los puntos de apoyo GNSS necesarios y procesando en un software con un potente algoritmo. Aunque este pequeño margen de imprecisión, seguramente se irá reduciendo en los próximos años y se podrá alcanzar precisiones mas exactas.

La ventaja que ofrece el uso de AFI en la Topografía es principalmente en el ahorro de tiempo y costes de levantamiento. Pudiendo cubrir extensas áreas en poco tiempo, ahorrando recursos de personal y equipos. Aportando “Valor Agregado” al cliente, como son los productos: modelos

digitales tridimensionales, el Ortofotomosaico, DSM/DTM, aparte de las tradicionales líneas de contornos o “curvas de nivel”.

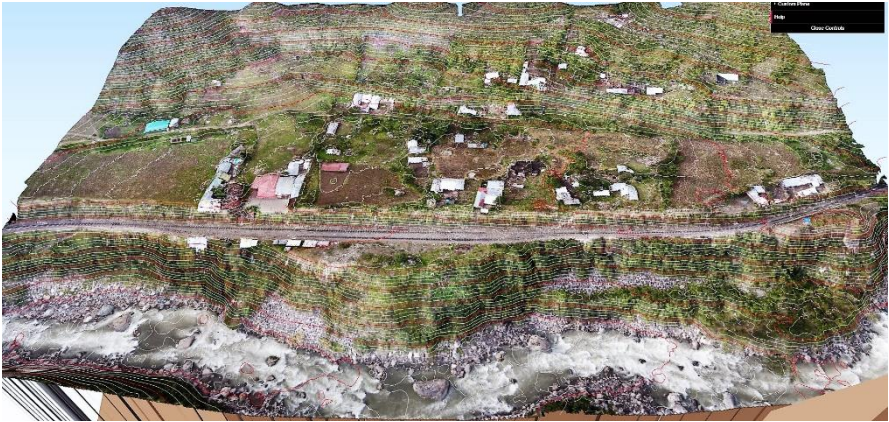


Figura 38: Modelo 3D y curvas de nivel topográficas

6.7 En la Geología

La Geología es una ciencia, la cual su principal tema de estudio se encuentra en el campo, en la exploración directa mediante el uso de herramientas y equipos como, brújula, picota, lápiz rayador, la lupa, cuaderno de apuntes, lápices de colores, largavistas, son algunos de los equipos o herramientas usan los Geólogos al momento de hacer una exploración en campo. A estos recursos, ahora viene a sumarse el uso de los vehículos aéreos no tripulados VANT, más conocidos como Drones.

En los Drones, pueden ir montados diferentes “sensores”, la cámara fotográfica en estos equipos, por ejemplo, es un tipo de sensor este caso para la captura de luz que se convierte en imagen (fotografía o video). Como por ejemplo: cámaras infrarrojas o para detección térmica, rayos lidar, sensores de captura de información atmosférica (sensor químico), sensores aeromagnéticos para trabajos de Geofísica, entre otros. Los cuales, ayudan en el trabajo del Geólogo en diferentes campos.



Figura 39: Drone haciendo el relevo de información de talud con difícil acceso para el Geólogo, para el estudio y mapeo correspondiente

Un campo muy interesante, por ejemplo, es en el Patrimonio Geológico y Minero de una región. Los Drones por intermedio de la Aerofotogrametría, permiten la creación de modelos 3D realistas y altamente manejables de muy buena calidad, haciendo réplicas digitales de estructuras geológicas interesantes como son así los Geositios, un lugar donde se observan elementos de geodiversidad, desde un punto de vista que puede ser científico, pedagógico, cultural, turístico u otro.

Así mismo es posible determinar la geometría de cuerpos, “afloramientos geológicos” o geoformas que nos interesan estudiar, calculando su área, volumen, y dimensiones que necesitamos conocer para realizar cálculos u observaciones, sin tener que realizar la medición de forma directa, sino más bien hacerlo desde un lugar más cómodo y seguro, obteniendo áreas, longitudes, volúmenes. Principalmente cuando hablamos de movimientos en masas o taludes inestables en vías terrestres, AFI se convierte en un aliado perfecto para caracterizar eventos que podrían significar un riesgo.

De igual forma en la Mecánica de Rocas, es posible por intermedio de AFI determinar el grado de fracturamiento de un macizo rocoso e identificar las familias de fallas o diaclasas presentes, medir la cantidad de fisuras por una longitud dada.



Figura 40: Modelo 3D de macizo rocoso generado a partir de aerofotogrametría con drones, medición de espaciamiento de diaclasas.

6.8 En Arqueología

Sabemos que los Drones están siendo utilizados como herramientas en diferentes campos profesiones, uno de ellos es la Arqueología, en donde se le ha encontrado grandes aplicaciones.

Se le utiliza por ejemplo, para realizar el seguimiento arqueológico de obras civiles como el propósito de planificar la actuación arqueológica o la incidencia de estas en los yacimientos arqueológicos, ya que el Drone nos permite una perspectiva única.

También se utiliza para la documentación cenital en excavaciones o trabajos arqueológicos con fotografías de con gran detalle y generación de panorámicas a través de los ortofotomosaicos, que permiten ver el yacimiento de forma integral.



Figura 41: Modelación de yacimiento arqueológico excavado

Así mismo también se es usado en la exploración y prospección de emplazamientos arqueológicos de grandes áreas para la localización de posibles hallazgos, y además esta técnica se combina con modelización 3D de los terrenos sobre los que se piensa hacer trabajos.

De igual forma se utilizan para la monitorización de yacimientos arqueológicos con el propósito de evitar posibles alteraciones de los mismos, como consecuencia de la actividad agrícola, vandalismo, avance de

vegetación, afectación por fenómenos naturales. Esto permite plantear y planificar soluciones que se adapten mejor a estos problemas.

Otro uso que se le da, es la modelización 3D del terreno previo a un trabajo arqueológico y durante toda la duración de la actuación, con el fin de comparar y calcular el movimiento de tierras realizado.

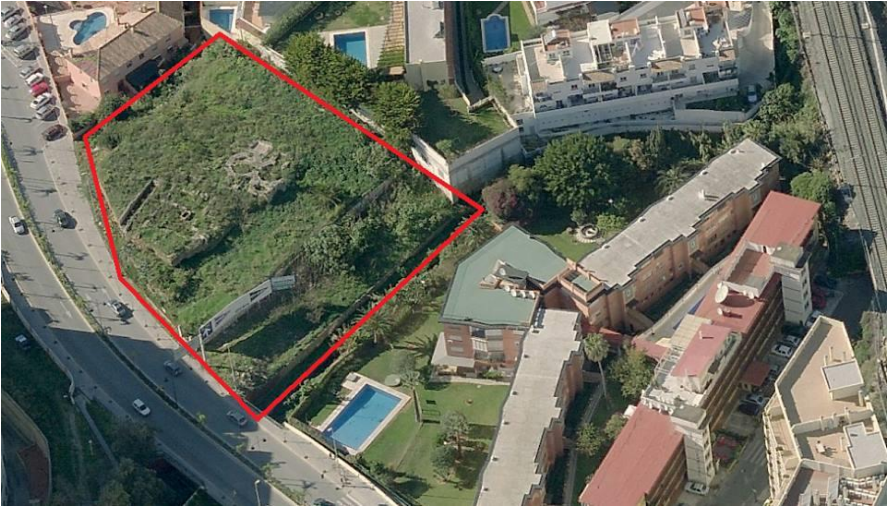


Figura 42: El yacimiento arqueológico denominado *Termas Romanas de Torreblanca del Sol*, en Fuengirola (Málaga)

Finalmente cabe indicar, que los usos que se le puede dar en este campo a la Aerofotogrametría con Drones y en general a los Drones, es diversa como para la documentación de la arquitectura de edificaciones arqueológicas permitiéndonos acceder a lugares difíciles o peligrosos, así como la posibilidad de utilizar estos datos también mediante SIG.

Referencias:

- XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, España – 5 – 7 junio de 2002. Desarrollo de Equipos de Fotogrametría: Explotación del dato digital.
- Fundamentos de Fotogrametría, Jacinto Santamaría Peña, Teófilo Sanz Méndez. Universidad de la Rioja.
- Introducción a la Fotogrametría y su evolución, Antonio E. Cheli.
- Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil, Elia Quirós Rosado
- Fundamentos de Fotogrametría para Imágenes de Contacto y Digitales, Oscar de Jesús Zapata Ocampo.
- Fotogrametría, Otero; A. Ezquerro; R. Rodríguez-Solano; L. Martín; I. Bachiller.
- Teledetección y Sistemas de tratamiento digital de imágenes, A. Arozarena Villar.
- Tesis: Principios Básicos de la Fotogrametría Actual, Ciro Israel Braulio Vite, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, Mexico D.F.
- Tutorial de Teledetección Espacial, Telecan, Francisco Eugenio González, Javier Marcello Ruiz, Ferran Marqués Acosta
- Web Tierra y Tecnología:
<https://www.icog.es/TyT/index.php/2017/02/la-tierra-a-vista-de-pajaro-uso-de-drones-uavs-para-el-estudio-y-difusion-de-la-geologia/>
- Web Ruta Geológica:
https://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=375&Itemid=1112
- Web Tecnogeo:
<http://www.tecnogeo.es/soluciones/fotogrametria-teledeteccion-y-sig/>
- Blog Jorge Suárez Carbajal:
<https://geomastur.wordpress.com/competencias/fotogrametria-y-teledeteccion/>

- Web Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Fotogrametría>
- Web Zima Robotics: <http://dronespain.pro/fotogrametria-con-drones/>
- Web Hélicéo: <http://www.heliceo.com/es/industrias/fotogrametria-por-drones/>
- Web Kit Drone: <http://kit-drone.com/como-hacer-fotogrametria-con-drones/>
- Web Topocal: <https://topocal.es/fotogrametria-cartografia-y-fotografia-aerea-con-drones>
- Web Servicio Periférico de I+D basado en Drones Universidad de Almería: <http://www2.ual.es/drones/servicios/topografia-y-fotogrametria/>
- Web Aerial Insights: <http://www.aerial-insights.co/blog/fotogrametria-con-drones/>
- Web Hispaviación: <http://www.hispaviacion.es/primer-dron-especializado-la-inspeccion-puentes-brazo-articulado-ha-realizado-primer-vuelo/>
-

AFI

AEROFOTOGRAMETRÍA INTELIGENTE

ING. PAVEL DÁVALOS GONZÁLES