



**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECAICAS
COMITÉ DE PROYECTO A DE GRADO
MODALIDAD _ PRÁCTICA EMPRTERESARIAL**

**SISTEMA PARA LA REALIZACIÓN DE FOTOGAMETRÍA UTILIZANDO
UAVS.**

Línea de investigación:
Diseño mecatrónico y robótica.

Integrante:
Jhon Henry Otero Parra

Código:
U00047521

Director:
M.Sc. Hernando González Acevedo

Asesor:
Ing. Nelson Jaimes

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	ELECTRO SOFTWARE	5
3.	MATERIAL DIDÁCTICO SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DE LOS UAVS.	6
3.1	UAV.....	6
3.2	CLASIFICACIÓN AUVS	7
3.3	ALA FIJA.....	7
3.3.1	Ejes de la aeronave.	7
3.3.2	Superficies de control primarias.	8
3.3.3	UAV Bramor.	10
3.4	MULTICOPTEROS	11
3.4.1	MD4-1000.....	12
4.	MATERIAL TÉCNICO PARA REALIZAR MANTENIMIENTO A LOS UAVS.	18
4.1	Manual de mantenimiento MD4-1000.....	18
4.2	Mantenimiento preventivo	19
4.3	Mantenimiento general motor	21
4.4	Montaje de las aspas	22
4.5	Reparación de una pieza de fibra de carbono rota	23
4.6	Baterías LiPo	26
4.6.1	Recomendaciones generales:	26
4.6.2	Carga de las baterías LiPo.	27
4.6.3	Cargadores de baterías LiPo.....	28
4.6.4	Sobre el proceso de carga:.....	28
4.6.5	Intensidad y voltaje de cargar.....	29
4.6.6	Almacenamiento y Transporte:.....	29
4.6.7	Cuidado de las Baterías:.....	30
4.6.8	Sobre temperatura de funcionamiento:	31
5.	LISTADO DE PROVEEDORES NACIONALES E INTERNACIONALES PARA UAVS.....	32
6.	FOTOGRAMETRÍA	36
6.1	Procedimiento de generación de ortofotomapa.	36
6.2	Productos de la fotogrametría.....	37
6.3	Calibración de la cámara	39
6.4	Altura de vuelo.....	40
6.5	Distancia entre tomas aéreas consecutivas:.....	42
6.6	Plan de vuelo, Superposición, tipo de terreno.....	43
6.7	Generación de ortofoto con EnsoMOSAIC.....	49
7.	MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DE ÁRBOLES	51
8.	CONCLUSIONES	54
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	55

Tabla de ilustraciones

Figura 1 Ejes del AUV	8
Figura 2 Superficie de control avión	9
Figura 3 superficie de control elevon	9
Figura 4 catapulta bramor auv	10
Figura 5 Bramor aterrizando	11
Figura 6 Estación base del bramor	11
Figura 7 Clases de multicopteros	12
Figura 8 MD4-1000	13
Figura 9 Modo de operación MD4-1000	14
Figura 10 Estación base MD4-1000	16
Figura 11 Visualización software Mdcocpkit	17
Figura 12 Microdron MD4-1000	18
Figura 13 Mantenimiento preventivo antes y después de cada vuelo	19
Figura 14 Mantenimiento preventivo cada 10 vuelos	20
Figura 15 Mantenimiento preventivo cada 40 vuelos	20
Figura 16 Motor del MD4-1000	21
Figura 17 Aspas del MD4-1000	22
Figura 18 Batería LiPo del MD4-1000	26
Figura 19 Medidor de carga de LiPo	30
Figura 20 Cálculo altura de vuelo	41
Figura 21 Alturas de vuelo con superficies no uniformes	41
Figura 22 Distancias entre tomas aéreas	42
Figura 23 Casos especiales de vuelos	43
Figura 24 Plan de vuelo ideal	44
Figura 25 Plan de vuelo con doble cuadrícula	45
Figura 26 Mapeo de corredor	46
Figura 27 Vuelos de una sola vía	47
Figura 28 Múltiples vuelos forma correcta	47
Figura 29 Múltiples vuelos forma incorrecta	48
Figura 30 Vuelos para reconstrucción de edificios	48
Figura 31 ortomosaico mesa de los santos	50
Figura 32 Sistema Laser-cámara	52
Figura 33 Funcionamiento sistema laser-cámara	52

1. INTRODUCCIÓN

El ingeniero mecatrónico esta en la capacidad de diagnosticar, diseñar, construir y ejecutar, mantener, administrar, investigar y emprender las posibles soluciones a necesidades que se presentan en la sociedad en diferentes áreas de trabajo es asi como el ingeniero mecatrónico encaja perfectamente en la industria para desempeñar diferentes labores.

La práctica empresarial es importante porque es una oportunidad para que el estudiante incorpore saberes, habilidades y actitudes vinculados a situaciones reales del mundo de laboral; aprenda a socializarte con personas con diferentes formaciones, experiencias laborales, etc. Además le aportan elementos que contribuyen a elegir su orientación profesional futura, así como amplían sus horizontes respecto de los posibles campos específicos de desempeño laboral.

Se realizó una práctica en la empresa Electro Software, dentro de las tareas a realizar estaba dar apoyo y soporte técnico para el mantenimiento y operación de los vehículos aéreos no tripulados (UAVs), investigar las últimas tecnologías disponibles en el mercado de los UAVs y de los software de fotogrametría para fortalecer el producto Helicam de Electro Software.

A continuación en cada capítulo del libro se va realizar una recopilación de la información recogida y descripción a detalle de las actividades desarrolladas:

- Material didáctico sobre el funcionamiento de los UAVs.
- Material técnico para realizar mantenimiento a los UAVs.
- Listado de proveedores nacionales e internacionales para UAVs.
- Material didáctico sobre el software de fotogrametría.
- Medición de árboles.

2. ELECTRO SOFTWARE

ELECTRO SOFTWARE es una compañía desarrolladora de software de inteligencia geográfica para la gestión de servicios distribuidos por red. Tiene una experiencia superior a 22 años de desarrollo y mejoramiento continuo, reconocidos por la Universidad Industrial de Santander UIS (1990); por el CIDET con el premio al Producto Software EnerGis a la innovación tecnológica (1995); por COLCIENCIAS con el premio al mismo Producto Software como una investigación tecnológica con alto contenido nacional (2005); por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo con dos premios INNOVA a la incorporación de tecnología (2012) y cuenta con procesos certificados de fabricación industrial de software bajo ISO 9001 (BVQi, 2004 e ICONTEC, 2007) y CMMI (2008) en el nivel 2.

ELECTRO SOFTWARE ha instalado soluciones para la gestión de redes a las que están vinculados más de cuatro millones de clientes en Colombia, Venezuela y la República Dominicana. Cuenta entre sus clientes a CODENSA, EMCALI, ESSA, Compañía Energética de Occidente, ELECTROLIMA, ELECTRICARIBE, OXY, San Andrés y Providencia, el Municipio de Bucaramanga, los Departamentos de Santander, La Guajira y Bolívar; operaciones de alumbrado público en 123 municipios en Colombia (11,16% del total) y 32 en el exterior; en la República Dominicana EDE ESTE y Consorcio Energético de Punta Cana Macao CEPM y CADAPE en Venezuela.

Misión

Crear soluciones software que se anticipen y superen las necesidades de nuestros clientes, para que realicen una Gestión eficiente en su línea de negocios, apoyados en la experiencia y conocimiento de nuestro equipo humano, en la innovación tecnológica y en la mejora continua de Electro Software.

Visión

Ser en el año 2015 la empresa colombiana desarrolladora y comercializadora de soluciones software con alto Posicionamiento en el mercado nacional e internacional, basando nuestras actividades en la promoción, sostenimiento, actualización y mantenimiento de las soluciones entregadas a nuestros clientes.

3. MATERIAL DIDÁCTICO SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DE LOS UAVS.

Los objetivos principales de esta actividad durante la práctica académica fueron:

- Conocer las características de los AUVs.
- Aprender el funcionamiento de los diferentes AUVs.

3.1 UAV

Un vehículo aéreo no tripulado, (UAV por siglas en inglés) también conocido como VANT, es una aeronave que vuela sin tripulación humana a bordo. Son usados mayoritariamente en aplicaciones militares. Para distinguir los UAV de los misiles, un UAV se define como un vehículo sin tripulación reutilizable, capaz de mantener un nivel de vuelo controlado y sostenido.

En las últimas décadas, se ha observado un crecimiento elevado en el desarrollo y construcción de UAV, en gran medida a la miniaturización de los componentes que lo integran, por ejemplo: sensores, antenas, cámaras fotográficas, microcontroladores, microprocesadores, actuadores mecánicos, etc.

Las principales aplicaciones de los AUVs son:

- Fotografos oblicua
- Periodismo
- TV
- Policía
- Ejército
- Bomberos
- Las empresas de seguridad
- Protección del medio ambiente
- Agricultura de precisión
- Inspección de líneas eléctricas
- Arqueología.
- Urbanismo.
- Cartografía de amplias extensiones.
- Control de vertidos marinos.
- Medio ambiente.
- Agricultura de precisión.

- Búsqueda y rescate.
- Vigilancia ante inundaciones.

3.2 CLASIFICACIÓN AUVS

- Por peso:
 - Light (micro) < 2kg (ejemplo gatewing)
 - Small 3-15 kg (ejemplo Idetec)
 - Mediano <150 kg (ejemplo Geocopter)
- Por tipo de motor:
 - Eléctrico
 - Combustión (pistón, turbina)
- Por diseño:
 - Ala fija.
 - Multicoptero.
- Duración vuelo:
 - Muy corto < 45 min
 - Corto < 1.5 hora
 - Mediano 2-6 horas

3.3 ALA FIJA

Los AUVS de ala fija son modelos a escala de los aviones, estas se encuentran en estado de equilibrio si la suma de todas las fuerzas y momentos en su centro de gravedad es igual a cero. Esto significa, que no existen momentos de cabeceo, alabeo y guiñeo.

3.3.1 Ejes de la aeronave. Como se observa en la figura 1 existen tres ejes de referencia perpendiculares entre sí y que se cortan en el centro de gravedad. El eje longitudinal tiene su origen en el centro de gravedad de la aeronave y está situado en el plano de simetría y hacia la nariz de la aeronave, alrededor de este eje se produce el movimiento de alabeo (roll).

El eje lateral tiene su origen en el centro de gravedad y es perpendicular al plano de simetría de la aeronave, siendo su sentido positivo hacia la derecha, alrededor de este eje se produce el movimiento de cabeceo (pitch).

El eje vertical tiene su origen en el centro de gravedad al igual que los anteriores ejes, está situado en el plano de simetría de la aeronave y su sentido positivo es hacia abajo, alrededor de este eje se produce un movimiento de guiñeo (yaw).

Alrededor de estos ejes se generan tres momentos posibles, el momento positivo alrededor del eje longitudinal, produce un movimiento de balance, el momento positivo alrededor del eje vertical, produce un movimiento de guiñeo positivo haciendo girar el avión hacia la derecha; y el momento positivo alrededor del eje lateral, produce un movimiento de cabeceo que tendería a elevar la nariz del avión [1].

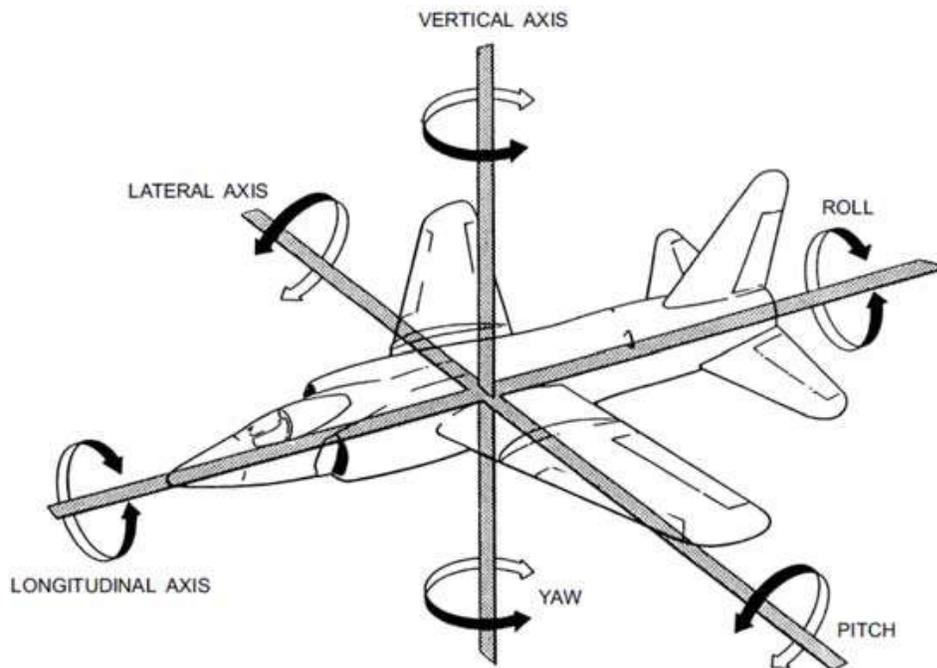


Figura 1 Ejes del AUV

3.3.2 Superficies de control primarias.

Son aquellas con las que el piloto consigue el equilibrio de la aeronave. En la figura 2 se puede ver como las superficies de control están ubicadas en una aeronave, básicamente son tres:

- Timón de profundidad (Elevators): Controla el movimiento longitudinal de cabeceo alrededor del eje transversal.
- Alerones: Controlan el movimiento de alabeo alrededor del eje longitudinal.

- Timón de dirección (Rudder): Controla el movimiento de guiñeo alrededor del eje vertical.

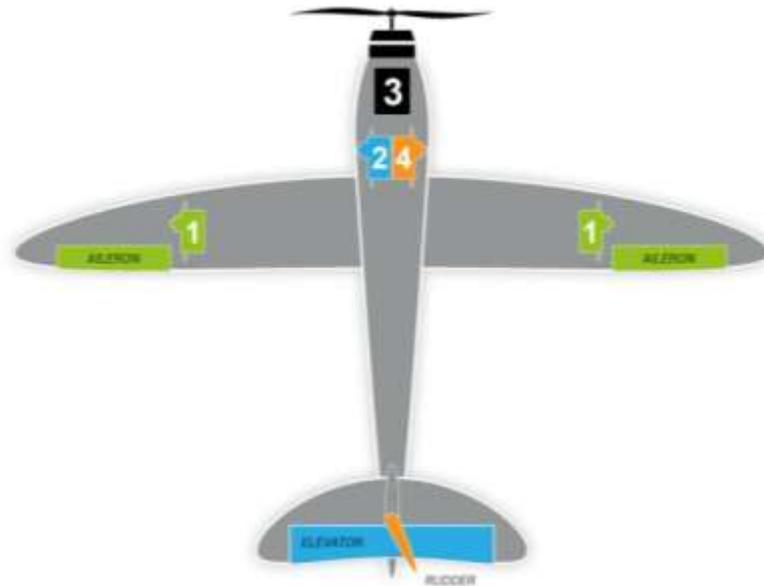


Figura 2 Superficie de control avión

La figura 3 muestra otra configuración de las aeronaves de ala fija llamadas elevon. Los elevon son superficies de control del avión que combinan las funciones del Elevator (utilizado para el control del cabeceo) y el alerón (utilizado para control de balanceo), de ahí el nombre.



Figura 3 superficie de control elevon

3.3.3 UAV Bramor.

Es un vehículo aéreo no tripulado de ala fija con un sistema de propulsión eléctrico y un novedoso sistema de aterrizaje, que permite finalizar el vuelo en áreas de reducido tamaño gracias a la incorporación de un paracaídas. Bramor tiene una autonomía de 2 horas de vuelo y alcanza velocidades de 104 km/h que lo convierten en una herramienta perfecta para abarcar zonas amplias y distantes.

- Capacidad 600 g.
- Velocidad de crucero 62 km/h.
- Velocidad máxima 104 km/h.
- Radio de vuelo 40 km.
- Altura máxima 2000 m.
- Peso 3,2 kg.
- Envergadura alas 230 cm.

- **Sistema de despegue.** El UAV bramor utiliza una catapulta para el despegue, esta tiene una longitud de 2 m de largo. Su ángulo de lanzamiento es de 15°.



Figura 4 catapulta bramor auv

- **Sistema de aterrizaje.** Bramor utiliza un novedoso sistema que combina el paracaídas con medios electrónicos de medición, proporcionando un aterrizaje preciso y sin riesgos. Cuando se decida donde y cuando aterrizar, el Bramor hace una maniobra de aproximación calculando la desviación provocada por las condiciones meteorológicas que haya podido experimentar el UAV. De ese modo, se calcula el way point, punto al que se dirigirá para abrir el paracaídas,

logrando, así, aterrizar en el lugar indicado. Por tanto, no resultan necesarias superficies acondicionadas ni de gran tamaño a la vez que, al no experimentar impactos, la instrumentación de abordo no sufre daño alguno.



Figura 5 Bramor aterrizando

- **Estación base.** Construida sobre la base de una Peli Case 1450, la estación base, con sus reducidas dimensiones (40 x 33 X 18 cm), ofrece gran resistencia. Configurable en fábrica, puede trabajar con diferentes frecuencias (868 Mhz, 2.4 Ghz y 900 Mhz), cuenta con una autonomía de cuatro horas y su peso es de 4, 6 Kg [2].



Figura 6 Estación base del bramor

3.4 MULTICOPTEROS

Los multicopteros son aeronaves que tienen uno o más rotores en su estructura, su principal característica es que el despegue y el aterrizaje es vertical, esto hace posible el despegue de la aeronave en espacios muy reducidos. En la figura 7 podemos encontrar diferentes clases de multicopteros, los hay de tres, cuatro,

seis u ocho rotores; algunos utilizan dos rotores en un mismo brazo con el fin de aumentar su capacidad de carga.

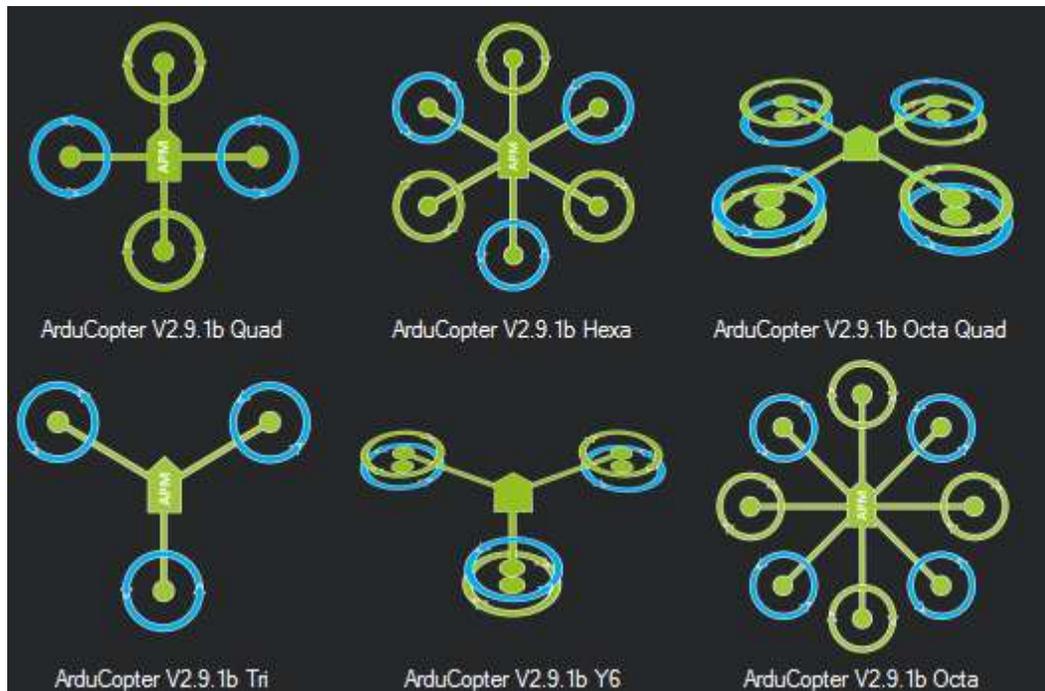


Figura 7 Clases de multicopteros

3.4.1 MD4-1000.

EL sistema MD4-1000 de microdrones como el mostrado en la figura 8, son plataformas voladoras automáticas con mando a distancia. Puede ser usado para tomar fotos, grabar videos, trabajos de inspección y realizar cualquier otra observación. Puede tomar fotografías profesionales de alta calidad y videos desde el aire gracias a un cuerpo de CFRP extremadamente ligero resistente a la torsión y un sistema electrónico avanzado. La tecnología usada en la aeronave solo es encontrada en aviones tripulados como: GPS, sistemas de navegación inercial, autopiloto y registros de datos del vuelo.



Figura 8 MD4-1000

Las principales características son:

- Tiempo de vuelo hasta 88 minutos (con una carga de 800g el promedio de tiempo de vuelo es 45 minutos).
- Resistente a la lluvia y polvo.
- Temperatura de trabajo -20 a 50 °c.
- Velocidad de crucero 15 m/s.
- Velocidad de elevación 7 m/s.
- Carga útil 1200g.
- Techo de vuelo 1000 metros.
- Soporta vientos de 13 m/s (47 km/h).
- Dimensiones 1030 mm desde el centro de rotor a otro rotor, altura 500 mm.
- Batería 22.2V, 6S2P 12.2Ah or 6S3P 18.3Ah LiPo.
- Radio de vuelo min. 500 m con RC hasta 40 km con waypoint.
- El fuselaje / marco está hecho completamente de plástico reforzado con fibra de carbono.
- Propulsión: 4 motores brushless sin engranajes (bajo ruido), total pico de empuje aproximadamente 118N.

➤ **Modo de operación del MD4-1000.** El MD4-1000 es un avión cuadro-rotor. Como se muestra en la figura 9 dos rotores giran en sentido horario y los otros dos en sentido anti horario.

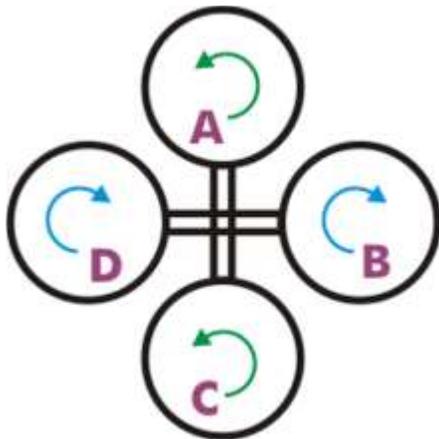


Figura 9 Modo de operación MD4-1000

El control de la aeronave se produce con la variación de las velocidades de cada rotor, por ejemplo:

- Para ascender o descender hay que aumentar o disminuir el empuje de todos los motores de manera uniforme.
- Para ir adelante o atrás hay que modificar el empuje de los motores A y C.
- Para moverse a la derecha o izquierda hay que modificar el empuje de los motores B y D.
- Para girar sobre el mismo eje hay que modificar el empuje de los motores A y C o B y D.

Cualquier posición se puede lograr con una combinación de estos comandos básicos. Este concepto de cuatro rotores, donde pares giran en direcciones opuestas, significa que los pares se cancelan cuando los rotores están a la misma velocidad.

El Microdrone y sus motores están libres de mantenimiento. Sólo las baterías se desgastan. Los rotores de adelante y atrás giran a la izquierda, los dos rotores secundarios a la derecha. Al subir los cuatro motores están bajo la misma carga, al descender el poder de todos ellos se reduce. Si se mueve el avión hacia adelante, la velocidad del rotor de atrás se incrementa y la velocidad del rotor delantero se reduce en la misma cantidad. Si mueve la aeronave hacia la izquierda, el motor derecho acelera y el de la izquierda disminuye en la misma cantidad.

- **Despegue y aterrizaje.** Para poder despegar hay que asegurarse que la tapa del microdrone esté bien puesta y sus brazos estén asegurados, después de esto hay que esperar que el gps obtenga las señales de los satélites para que

pueda arrancar el equipo. Para el aterrizaje en modo manual lo único que hay que tener en cuenta es descender el equipo con precaución.

Precauciones:

- No dejar el microdrone en el suelo con sus motores en marcha. En caso contrario el microdrone ya estaría en el modo de vuelo y esto aumentaría el riesgo de un modelo de filtro defectuoso y maniobras de vuelo impredecibles.
- Despegue tan pronto como sea posible después de poner la batería.
- Si el microdrone está en el suelo en modo de vuelo, podría despegar de forma autónoma en cualquier momento.
- Nunca ponga en marcha el microdrone sin las palas del rotor. Las altas velocidades innecesariamente podrían dañar el motor o sus componentes electrónicos.

➤ **Modos de operación del MD4-1000.** La condición para los siguientes modos de operación es una muy buena señal de GPS con una resolución 2.5m, sino podría haber un efecto negativo en el vuelo. Los diferentes modos de vuelo pueden ser configurados en el mdCockpit.

- **Modo mantener posición con GPS.** Si suelta el control durante el vuelo el microdrone mantendrá la posición actual. El beneficio de este modo de vuelo es que el usuario se puede dedicar a sus propias tareas por ejemplo tomar fotos.

- **Modo DHP (Dynamic hold position).** En mantener posición con GPS se lleva a cabo cuando las palancas de control están sueltas. Cuando utilice las palancas de control de nuevo se sale del modo mantener posición con GPS y tiene que volar el microdrone por ti mismo.

En DHP no tiene que contrarrestar el viento. El usuario vuela el Microdrone cómodamente utilizando las palancas de control de acuerdo con las coordenadas GPS a las que se desea mover. De esta manera el Microdrone envía una nueva posición GPS para moverse y mantiene de forma automática hasta que se de otro comando a través de las palancas de control.

- **Modo INS.** En este modo el piloto del microdrone vuela sin ayuda del GPS. El operador tiene que dirigir el vehículo teniendo en cuenta el viento y debe reaccionar a toda influencia no deseada del viento. Esto requiere un alto grado de alerta y un manejo seguro del microdrone.

- **Función teach-in.** La razón principal de la función Teach-in es crear y calibrar su propio material de mapas de gran precisión para que pueda volar rutas de waypoint con seguridad.

- **Función waypoint.** Le permite volar automáticamente una ruta predeterminada. Para que esto funcione tiene que haber una ruta de waypoints válida en la tarjeta SD del Microdrone.

- **Función Homing.** En este modo de operación el microdrone vuela automáticamente a la primera posición en la que recibió una válida señal de GPS. Esta posición es normalmente la de despegue [3].

➤ **Estación base.** La estación base recibe el video y las señales de telemetría del microdrone. Las señales recibidas son preparadas para usar con un PC. Las tomas de audio 1 y Audio 2 reciben los datos de telemetría y el zócalo de vídeo recibe la señal de vídeo. La señal de vídeo se envía a un ordenador portátil mediante USB. La segunda conexión USB, proporciona al portátil la señal de telemetría. Usando el software adecuado (mdCockpit) la telemetría se puede procesar y mostrar en el PC en tiempo real.



Figura 10 Estación base MD4-1000

➤ **Software MdCockpit.** MdCockpit es un software muy potente de la estación base que realiza la función de controlador aéreo, decodificando toda la información recibida por el microdrone, en la figura 11 se muestra la interfaz donde aparecen los datos de posición GPS, velocidad, voltaje de la batería, potencia de los motores, entre muchas otras características. Las funciones del programa son:

- Decodificador de bajada, para descifrar todos los datos en tiempo real del Dron.
- Construcción de programas para generar way points.

- Grabación de la información de vuelo, almacenados en la tarjeta de memoria SD(caja negra).
- Filtro de estimación de Batería con consejos periódicos y advertencias.
- Detección de múltiples señales inválidas en el mismo canal.
- Monitorización de la calidad RC, GPS.
- Filtro de reconocimiento de viento, inclinación y sobrecarga de propulsión.
- Indicación de la última posición del GPS [4].



Figura 11 Visualización software Mdcocpkit

4. MATERIAL TÉCNICO PARA REALIZAR MANTENIMIENTO A LOS UAVS.

Los objetivos principales de esta actividad durante la práctica académica fueron:

- Mantener los UAVs en buenas condiciones para asegurar su buen funcionamiento.
- Asegurar el buen funcionamiento de las baterías y alargar su vida útil.
- Realizar un mantenimiento preventivo antes y después de cada vuelo.
- Cambiar las hélices del microdrone md4-1000 de manera adecuada.

4.1 Manual de mantenimiento MD4-1000

El Microdrone y sus motores están libres de mantenimiento. Sólo las baterías se desgastan. Esto no quiere decir que un mantenimiento preventivo no sea necesario para mantener el microdrone en un buen estado y realizar un buen trabajo [5].



Figura 12 Microdron MD4-1000

4.2 Mantenimiento preventivo

Es la programación de actividades de inspección del equipo, tanto funcionamiento como limpieza, que deben realizarse periódicamente, para detectar las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno.

➤ Antes y después de cada vuelo

1. Compruebe el estado de los soportes de la estructura, que estén ajustados y la nave se encuentre nivelada.
2. Consultar los ejes del motor no tienen juego libre, es decir, que el eje del motor este bien ajustado y que no presente ningún desgaste.
3. Consultar los motores se mueven libremente cuando se gira a mano.
4. Compruebe el estado de los conectores de la batería y pines de datos (nivel, libre circulación, limpias).
5. Compruebe el soporte de la cámara este seguro.
6. Cuando se encienda comprobar que no tenga algún ruido inusual ni vibraciones.
7. Es importantísimo que todo este bien conectado antes de enchufar la LiPo, cerciorarse varias veces. Las LiPos podrían explotar si son cortocircuitadas.
8. Verificar que las aspas no presentes alguna grieta o fisuras visibles para evitar daños.

En la figura 13 se observan los ocho pasos mencionados anteriormente.



Figura 13 Mantenimiento preventivo antes y después de cada vuelo

➤ Cada 10 vuelos

1. La inspección de los componentes de plástico para evitar la formación de grietas o daños.
2. Revisar el apriete de los tornillos del motor y los tornillos de sujeción.
3. Limpiar puntos de contacto de la batería.

En la figura 14 se observan los tres pasos mencionados anteriormente.



Figura 14 Mantenimiento preventivo cada 10 vuelos

➤ Cada 40 vuelos

1. Comprobar el estado de todos los cables, condición de todos los puntos de soldadura, condiciones de las placas de circuitos visibles y tendidos de cableado, partes internas en general está limpio y no hay elementos de escombros o flojos.
2. Limpieza de los motores con spray limpiador de contactos.

En la figura 15 se observan los dos pasos mencionados anteriormente



Figura 15 Mantenimiento preventivo cada 40 vuelos

4.3 Mantenimiento general motor

Los motores del microdrone MD4-1000 mostrados en la figura 16, fabricados por Plettenberg, proveedor de componentes en la industria militar, ofrecen alrededor de 96.000 horas de uso sin necesidad de realizar labores de mantenimiento correctivo.

En caso de algún accidente que afecte los motores hay que verificar su funcionamiento, esto se hace de una manera muy fácil, como el motor no tiene escobillas que lo frenen, basta con hacer girar el eje con los dedos y si gira suavemente y no hace chirridos en principio está todo bien. Si presenta algún problema en los rodamientos hay que limpiarlos. En caso de que esto no solucione el problema hay que contactarse con el proveedor.



Figura 16 Motor del MD4-1000

4.4 Montaje de las aspas

Las aspas están hechas de carbono, son robustas y, junto con los motores, son altamente eficientes.

El md4-1000 tiene dos rotores que giran a la izquierda (sentido anti horario / CCW) y dos que giran a la derecha (en sentido horario / CW).

Si algunas de las aspas esta rota o presenta un defecto hay que cambiarla, antes de esto hay que verificar hacia que lado gira el rotor.

Como se muestra en la figura 17 cada aspa está fijada al motor del Microdrone con cuatro tornillos Allen (M3x16), para cambiarla solo hay que desatornillar el aspa dañada y cambiarla por una que sea del mismo sentido. El par de apriete de los tornillos es de 0,7 Nm [3].



Figura 17 Aspas del MD4-1000

4.5 Reparación de una pieza de fibra de carbono rota

1. Seguridad

La mayoría de los materiales utilizados pueden ser perjudiciales, resinas pueden ser un poco agresivas para los pulmones y la piel, asegúrese de que trabaja en un ambiente adecuado que esté bien ventilado y limpio. Use guantes para trabajar con las resinas y una máscara de respiración. La máscara no es sólo para el olor, también para los gases tóxicos que pueden acceder a sus pulmones. La máscara es también bueno para el pequeño polvo mientras lija. Una máscara de papel (como los médicos usan), es buena para el polvo, pero no es buena para los gases que salen de la resina.

2. Analizar la parte rota

Tómese su tiempo para ver cómo se rompió la parte y cual es el mejor enfoque para reparar la pieza.

3. Preparar del resto de la estructura

Tape cada cosa que podría rayarse o ser estéticamente dañado mientras se trabaja en ella. Esto le ahorrará algo de tiempo al final.

4. Limpiar la parte rota

Extraiga las piezas sueltas en la parte rota. Lo puede hacer esto mediante el uso de un cuchillo o algo afilado para sentir dónde se puede quitar algunas partes sueltas de fibra de carbono. Al tener una parte limpia y firme para reparar las capas de la reparación tendrá un enlace mejor con la parte rota.

5. Lijar la pieza

Lije la parte a reparar. Retire la capa superior (Capa transparente y resina) para llegar a la fibra de carbono. No sólo lije el centro, sino un poco a la izquierda y el derecho para tener una adhesión adecuada más adelante.

6. Limpiar la pieza que acaba de lijar

Use un poco de alcohol de limpieza para eliminar el polvo después de lijar.

7. Llenar la reparación con grafito mezclado con epoxi

Esta es una parte muy importante. Mezclar un poco de resina epoxi A + B (componente A y componente B) con un poco de polvo de grafito. El polvo de grafito está ahí para tener un mejor vínculo con el carbono, el carbono y el grafito son bastante similares.

8. Poner la mezcla en la reparación

Cubra toda la grieta, utilice lo suficiente y deje que se llene todos los huecos. No tenga miedo de que no esté luciendo lo suficientemente bien, todo va a ser lijado una vez curado, por lo que sólo tiene que dejar el hueco de la grieta llena.

9. Lijar

Deje secar la mezcla durante la noche y hacer un poco de lijado para suavizar todo.

10. Materiales de empaquetamiento del vacío

- Fibra de carbono.
- Peelply: es una tela de liberación. Esto hará posible la eliminación de todas las capas que estén en la parte superior de esta.
- Perforated film: tela con algunos pequeños agujeros donde el exceso de resina puede pasar.
- Breeder: tela para cuidar de un buen vacío y absorber el exceso de resina que viene a través de la perforated film y peelply
- Vacuumbag: Hoja de plástico especial que no se pegue con la resina epoxi.

11. Embolsado al vacío

- Mojar la fibra de carbono

Ponga la fibra de carbono en una hoja de plástico y verter un poco de resina epoxi en él. Oprima la fibra de carbono contra la tela hasta que está completamente saturado. Luego retírela del plástico y se envuelve alrededor de la parte que necesita reparación. Haga esto con toda la fibra de carbono

- Bomba de vacío

Se necesita una bomba de vacío para lograr un buen vacío, causando un poco de presión en la pieza y chupando el exceso de resina. No deje que la resina entre a la bomba o su bomba no funciona más!

- Cinta de alta adherencia

Esto puede ser fácilmente envuelto alrededor de la parte en ambos extremos de la reparación. Ponga Vacuumbag en la parte superior y asegura vacío total sin fugas.

12. Vacío

Una vez que todos los materiales que se pone en la pieza (en orden desde la parte inferior hasta que arriba) fibra de carbono -> Peelply -> Perforated Film -> Breeder -> Vacuumbag con cinta de alta adherencia.

Puede encender la bomba. Lo que ve es unos pequeños puntos de resina que pasan a través de la tela perforated film. Este es el exceso de resina de la tela de fibra de carbono saturado que está siendo absorbida por la tela breeder.

Compruebe si hay fugas, una vez que haya un vacío total dejó la bomba durante 15 minutos. Deje que se seque durante la noche.

13. Remover exceso de material

Una vez completamente curado puede eliminar el exceso de material, hágalo capa por capa.

14. Lijar la fibra de carbono sin problemas

Una vez que todo está hecho se puede lijar suavemente la fibra de carbono para crear una coincidencia sin problemas con el resto de la estructura.

15. Acabado capa de la resina epoxy

Hasta ahora la pieza es de color gris sin brillo (debido a la tela peelply también).

Mezclar un nuevo lote de resina epoxy para "pintura" en la parte superior de la misma.

Primero limpie la pieza reparada con un poco de acetona o alcohol de limpieza para eliminar el polvo del lijado. Mezcle una pequeña cantidad de epoxy y deje que las burbujas salgan de la resina. Dale un poco de tiempo. Pequeño consejo: Se calienta la resina para hacerlo menos viscoso y más fácil de cepillar sucesivamente. El aire atrapado saldrá más fácil, así.

16. Ultimo lijado

Una vez que la resina epoxy se ha secado, use un poco de papel de lija de nuevo para suavizar todo de nuevo.

17. Capa de laca transparente para recuperar su brillo

Agregar algunas capas. Esperar 15 minutos entre cada capa.

18. Pulido

Pulir la parte reparada para darle brillo [6].

4.6 Baterías LiPo

Son una variación de las baterías de iones de litio (Li-ion). Sus características son muy similares, pero permiten una mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior. Estas baterías tienen un tamaño más reducido respecto a las de otros componentes. En la figura 18 se muestra la batería del microdrone MD4-1000, es una batería de 6 celdas con un voltaje nominal de 22,2v.



Figura 18 Batería LiPo del MD4-1000

4.6.1 Recomendaciones generales:

- Emplear siempre cargadores específicos para baterías de Polímero de Litio (LiPo). En caso contrario puede provocar un incendio que derive en daños personales y/o materiales.
- Realizar cargas controladas. Siempre se debe vigilar el proceso para poder reaccionar ante cualquier problema que se pudiese plantear.
- Si en cualquier momento observa que una batería LiPo se hincha o derrama líquido, desconéctela y obsérvela durante 15 minutos en un lugar seguro. Esto podría causar la ignición de la batería debido a los componentes químicos que aloja en compañía del aire del exterior.
- El lugar para observar esto debe ser un área segura, alejado de cualquier material combustible.
- Nunca se deben tocar los terminales de la batería, esto provoca un cortocircuito que podría hacer que la batería se incendiase. Adicionalmente, tenga mucho

cuidado de que el cortocircuito tampoco sea provocado al conectar los terminales a través de anillos o pulseras que lleve puestas al manipularlas, pues puede provocarse heridas graves en ese caso.

- Una batería que haya sufrido un golpe, cortocircuito u otro problema puede llegar a incendiarse incluso 10-15 minutos después de haberse producido este hecho.
- Si por cualquier razón tiene que cortar los terminales de la batería, hágalo uno por uno para no correr el riesgo de provocar un cortocircuito.
- Tenga mucho cuidado de no perforar ningún pack de baterías LiPo, puede provocar un incendio.
- Nunca almacene sus baterías en un vehículo, ni en cualquier lugar donde se puedan alcanzar temperaturas altas. Las temperaturas extremas pueden causar el incendio de la batería.
- Muy importante: cuando acabes de volar, desconecta ambos bornes de la batería del avión; así evitarás que se descargue poco a poco, ya que aunque el avión esté parado, por estar conectada al variador hay un pequeño consumo, que con el tiempo acaba descargando completamente la batería.
- No cargar la batería mientras esta en la aeronave, si algo falla causara daños en la nave.
- Nunca se debe colocar el paquete de baterías en el pasto mojado o ponerlo en el bolsillo junto a un llavero o algunas monedas.
- En caso de incendio, no debe tratar de apagar el fuego con agua. Esto daría lugar a una explosión. Si siente que el paquete de baterías se calienta demasiado, hay que dejarlo sobre una superficie sólida y manténgase alejado. Puede cubrirlo con arena si es posible.

Nota: para el transporte y el proceso de carga se puede usar una bolsa para batería LiPo para protegerse del riesgo de incendio causado por baterías dañadas o durante procesos incorrectos de carga.

4.6.2 Carga de las baterías LiPo.

La carga se compone de 3 fases claramente diferenciadas:

- Subida de intensidad y tensión. La batería empieza cargando a una intensidad mínima que va subiendo hasta la seleccionada. El voltaje de la batería también va subiendo. Esta fase es muy corta y en algunos cargadores no llega a ser visible.

- Subida de la tensión con intensidad constante. Ya se ha alcanzado la intensidad de carga seleccionada, la tensión va aumentando hasta los 4.22v por elemento. En el caso del ejemplo hasta 12.6v. Esta es la fase de carga de la batería, la que mas dura. La batería habrá cargado aproximadamente el 80% de su capacidad.
- Bajada de la intensidad con tensión constante. Una vez alcanzada la tensión máxima, la intensidad de carga empieza a bajar lentamente sin que en ningún momento se sobrepase la tensión máxima. Cuando la intensidad de carga baja al mínimo del cargador, normalmente 0.1A, el proceso de carga ha finalizado. Esta fase no es tan larga como la anterior y viene a completar el último 20% aprox. de la capacidad de la batería. Como va bajando la intensidad, la última parte es la que más lento carga [7].

4.6.3 Cargadores de baterías LiPo.

Los cargadores de las baterías Lipo, son específicos para las baterías Lipo. Las baterías Lipo, han de mantener la misma carga en todas sus celdas, lo que implica que necesitan balanceadores, dispositivos que hacen que la tensión sea la misma en todas las celdas. Esto implica que necesitaremos un balanceador para que la carga sea uniforme y alargar así la vida de las baterías.

4.6.4 Sobre el proceso de carga:

- Cargue las baterías en un área segura y aislada de cualquier material inflamable.
- Deje enfriar la batería a la temperatura ambiente antes de comenzar la carga.
- Nunca cargue baterías en serie, cargue cada pack individualmente. El hacerlo en serie puede provocar que el cargador no reconozca la batería adecuadamente y se configure con parámetros erróneos que pueden averiar las baterías, o hacerlas incendiar.
- No sobrecargue las baterías, puede provocarse un incendio.
- Tenga cuidado de seleccionar en el cargador siempre el nº de elementos que tiene la batería (2,3,4,...) según se indica en la calcomanía que lleva la batería. Seleccionar un nº incorrecto y comenzar la carga puede significar el incendio de la batería.
- Chequear el voltaje del pack antes de comenzar la carga. Nunca las ponga a cargar si el voltaje por elemento es menor de 3,3V. Por ejemplo en una batería

de 2 elementos (2S), el voltaje del pack debe ser superior a 6,6V para poder cargarlas, en uno de 3 elementos (3S), debe superar los 9,9V, etc.

- La corriente de carga que debe seleccionar en el cargador siempre debe ser menor que 1C. Es decir, si va a cargar un pack de 2000 mAh, siempre deberá configurar una corriente menor o igual de 2 A (2000 mA).
- El término C se utiliza también para definir la corriente de carga. Una corriente de 1C significa que la batería se cargará con la misma corriente que puede suministrar durante una hora.
- Los primeros ciclos de carga-descarga han de ser completos, haciendo que la descarga sea lo más rápida posible. Cuando tenemos una batería almacenada durante mucho tiempo (varios meses), seguiremos el mismo procedimiento para volver a utilizarla.
- Para realizar la primera descarga de la batería, realice vuelos de 6 minutos con minutos de descanso entre ellas para hacer un primer “rodaje” de la batería.
- Las baterías de litio no sufren efecto memoria, en cambio tienen lo que se denomina «memoria digital», causada por los medidores internos de carga de cada celda (uno de nivel máximo y otro de nivel mínimo). Para evitar esto, es recomendable realizar un ciclo de carga completo (descargar completamente la batería y cargarla a tope) cada unos 30 ciclos de carga no completos.

4.6.5 Intensidad y voltaje de cargar.

El estándar de carga es de 4.20 \pm 0.05v por elemento y 1C de corriente de carga. Cargando solo a 4.15v por elemento reduce un 5% el tiempo de uso en descarga, pero aumenta notoriamente la vida de la batería. También una carga a 0.5C al cabo de una hora se obtiene el 93% de la capacidad, mientras que a 1C es del 96%. Para cargas superiores a 1C es de esperar un acortamiento en la vida de la batería.

4.6.6 Almacenamiento y Transporte:

- Cuando se vayan a almacenar mucho tiempo, se recomienda dejarlas con carga intermedia (40% o 50%). Asimismo, se debe evitar mantenerlas con carga completa durante largos períodos.
- Guarde las baterías en lugares con temperaturas entre 4 y 27 °C para mantenerlas en perfecto estado.
- No exponga las baterías a la luz directa del sol durante periodos largos de tiempo.
- Cuando transporte las baterías, la temperatura debe mantenerse siempre entre -5 y 66°C.
- Mantener las baterías en un lugar con una temperatura mayor de 77°C durante más de 2 horas puede estropear la batería y/o causar un incendio.

4.6.7 Cuidado de las Baterías:

- Nunca descargue una batería por debajo de 3V por elemento, puede provocar un incendio y estropeará la batería. Para ello debe tener cuidado de no agotarla más de lo debido empleando dispositivos de corte por bajo voltaje o variadores especialmente diseñados para baterías LiPo.
- Para evitar una descarga excesiva de la LiPo, es interesante que la electrónica del avión cuente con un corte de potencia de seguridad, es decir, que cuando quede poca batería corte la potencia, pero nos deje el control sobre las superficies de control, para poder aterrizar; además, la electrónica puede permitirnos un "rearme" de la potencia, bajándola al mínimo y subiéndola de nuevo, para contar con un poco de potencia para aterrizar mejor; en este tipo de aviones, no se te ocurra seguir volando después del primer rearme, sólo aterriza.
- Cuando acabe de volar, desconecte ambos bornes de la batería del avión; así evitará que se descargue poco a poco, ya que aunque el avión esté parado, por estar conectada al variador hay un pequeño consumo, que con el tiempo acaba descargando completamente la batería.

Para el control de las baterías existen varios mecanismos de control. El primero es un medidor de carga de la LiPo como el que se muestra en la figura 19, este se conecta al puerto de carga de la LIPO, y nos dice qué tensión tiene la LIPO. Es muy útil para saber si la LIPO está completamente cargada, descargada, a mitad, cuánto tiempo aproximado de vuelo nos queda. Por ejemplo, para las LIPO de 3 celdas de 11.1 voltios, el fabricante recomienda que la carga por celda no baje nunca de 3 voltios, para no acortar la vida útil.

El segundo es un avisador visual (leds verde/rojo) y acústico de cuándo la batería está acabándose. Se coloca en el avión, y nos permite saber que está ocurriendo antes de que se nos corte la potencia.



Figura 19 Medidor de carga de LiPo

4.6.8 Sobre temperatura de funcionamiento:

- Durante la carga: de 0 a 45°C.
- Durante la descarga: de 0 a 60°C.
- Deje enfriar hasta la temperatura ambiente la batería LiPo antes de empezar la carga.
- Durante el manejo y la carga de baterías LiPo, nunca sobrepase los 71°C de temperatura [8].

4.6.9 Fin de vida de las baterías LiPo.

Cuando la capacidad de la batería haya disminuido un 30%, deberá desecharla. Para ello descárguela a 3V por elemento, aísle sus terminales, envuélvala en plástico y entréguela en un Punto Limpio. Su vida útil es de unas 500 cargas completas (ciclos), es decir, dos cargas con la batería al 50% suman como una carga completa, aunque debido a la oxidación en el interior de las celdas, nunca duran más de 3 años. Esto es un punto a tener en cuenta a la hora de adquirir una nueva batería, y aunque no es habitual ver dicha fecha grabada en la misma si se puede tratar de comprarla directamente al fabricante o en tiendas con un buen volumen de ventas para evitar que lleve 2 años cogiendo polvo en la estantería.

5. LISTADO DE PROVEEDORES NACIONALES E INTERNACIONALES PARA UAVS.

Los objetivos principales de esta actividad durante la práctica académica fueron:

- Conocer las diferentes aplicaciones de los UAVs.
- Reconocer los principales países que desarrollan AUVs.
- Buscar empresas nacionales e internacionales que fabriquen y distribuyan AUVs.

Hay una amplia variedad de formas, tamaños, configuraciones y características en el diseño de los AUVs sus principales aplicaciones han sido militares pero también existen aplicaciones civiles como como son la fotografía aérea y periodística, televisión, policía, bomberos, servicios de seguridad, protección medioambiental, seguimiento de construcciones, observación, exploración, vigilancia, comunicación, etc.

Los dos principales países en estos momentos son Estados Unidos e Israel. Israel es quien ha exportado más aparatos mientras que Estados Unidos ha desarrollado los UAV más grandes y tecnológicamente más complejos. Siguiendo en la escala, existen productores menores como Francia, Reino Unido, China, Rusia, Alemania y Suecia. Aunque dado el boom que están teniendo los drones en muchos países están desarrollando sus propios AUVs.

- Lehmann aviation, empresa de Estados Unidos fundada en el 2001 por un equipo de pilotos e ingenieros, en sus productos se encuentran las series de aeronaves L-A y L-M, son aeronaves de ala fija cada una con características diferentes dependiendo del tipo de misión: corto alcance, largo alcance, inteligencia, reconocimiento, seguridad o mapeo de terrenos.
<http://www.lehmannaviation.com/>
- Gatewing empresa de Bélgica fundada en el 2008 fue adquirida por la multinacional Trimble para aumentar el portafolio de sus productos. En sus productos se encuentran las aeronaves UX5 y X100 de tipo de ala fija, se caracterizan por ser livianos y fáciles de armar, la duración de la batería es alrededor de 50 minutos.
<http://uas.trimble.com/trimble-uas>
- Elimco, empresa española de referencia internacional en sectores de actuación como: aeronáutico, energía, aeroportuario, ferroviario, industrial, seguridad y

defensa, naval, y sector público. Cuenta con tres UAVs de ala fija E100, E300, E500 se caracterizan por su largo alcanza de operación que va desde 5 km hasta 60 km y la duración de la batería hasta de tres horas. Tiene oficinas en varias partes del mundo incluyendo Colombia.

http://www.elimco.com/cp_UAV_12.html

- Visual aerea, empresa colombiana que ofrece servicios de video HD y fotografía aérea. Además tiene a la venta un cudricoptero y dos hexacopteros con capacidad de cargar cámaras ligeras y de retorno autónoma a casa.
<http://www.visualaerea.com/ventadeequipos.html>
- Cartogalicia, es el resultado de la unión de dos empresas con amplia trayectoria en el mercado de la topografía y cartografía en el noroeste de España (los servicios profesionales de topografía de Marcos López y Topcad Ingeniería), realizan servicios técnicos de productos cartográficos y comercialización y alquiler de equipos. Son distribuidores de la empresa Microdrones y la empresa C-astral.
<http://www.cartogalicia.com/cartouav/index.php?lang=es>
- Microdrones, empresa de Alemania fundada en octubre del 2005, tiene tres modelos de cuadricopteros el md4-200, md4-1000 y el md4-3000 muy comercializados en la industria debido a su gran precisión, fácil manejo y su fiabilidad. La empresa Electro Software cuenta con el modelo md4-1000.
<http://microdrones.com/index.php>
- C-astral, es una empresa multidisciplinar joven con sede en Ajdovscina, Eslovenia. La compañía está construida alrededor de los campos de los conocimientos y la experiencia práctica en el sector aeroespacial, de sistemas no tripulados, sistemas de energías renovables y las comunicaciones, con proyectos que se están desarrollando y probando en el campo en el Ártico y la Antártida, entre otros. Cuenta con los UAVs Bramos gEO y Bramor C4EYE ambos de ala fija. La empresa Electro Software cuenta con el modelo Bramor gEO.
<http://c-astral.com/>
- Aibotix, fue fundada en 2010 en Alemania por un equipo de empresarios con experiencia en el campo de procesamiento de imágenes, sensores y robótica. En agosto de 2011 Aibotix introdujo el X6 Aibot al mercado como una nueva generación de AUV multicoptero inteligente, autónomo y seguro, esta plataforma multi-rotor fue diseñado para satisfacer las necesidades de los

clientes en la inspección industrial, aéreo industrias de mapeo, el cine y la ciencia.

<http://www.aibotix.com/>

- Dissman ingeniería, empresa colombiana con 25 años de experiencia en el campo de la topografía, es distribuidor del AUV de la empresa mavinci en Colombia y presta el servicio de imágenes aéreas por satélite o por UAV.

<http://www.dissmaningenieria.com/index.html>

- Mavinci, Alemania se especializa en el desarrollo de tecnologías de sistemas aéreos no tripulados (UAS), diseñado específicamente para la asignación automática de las obras de construcción, tuberías, áreas de desastre, minas y canteras. Con sede en Leimen, Alemania, MAVinci tiene una aeronave de ala fija llamada sirius pro capaz de realizar ortofotos de hasta 2 cm de precisión sin usar puntos de control.

<http://www.mavinci.de/en/startseite>

- Sensefly, es una empresa Suiza con sede en Cheseaux-Lausanne. La empresa fue fundada a finales de 2009 como una división del laboratorio de Sistemas de Inteligencia, una organización de investigación líder en la robótica e inteligencia artificial. Desde el verano de 2012 senseFly es miembro del grupo de Parrot. Dentro de sus aeronaves se encuentran la swinglet CAM y la serie eBee.

<https://www.sensefly.com/home.html>

- Arcturus uav, fue fundada en 2003 con sede en Rohnert Park, California. En las aeronaves usan procesos patentados que utilizan Kevlar, fibra de vidrio y fibra de carbono, para soportar el castigo de los terrenos y condiciones de vuelo exigentes. Los AUVs son de ala fija aunque en el mes de marzo sacaron al mercado un nuevo sistema de despegue y aterrizaje vertical que los combinaron con sus modelos T-20 y T-16 volviendo las aeronaves híbridas.

<http://www.arcturus-uav.com/aircraft.html>

- 3drobotics, fundada en 2009 por Chris Anderson, fundador de DIYDrones.com, y Jordi Muñoz, 3D Robotics con sede en Berkeley, CA, 3DR opera instalaciones de ingeniería en San Diego y de manufactura en Tijuana, México. Dentro de sus productos se encuentra multicopteros, aeronaves de ala fija y controladores para realizar autopiloto en los AUVs.

<http://3drobotics.com/fixed-wing-aircraft/>

- Aeromao, empresa canadiense con amplia experiencia en el servicio de fotografía aérea y fotogrametría así como en el vuelo y operación de AUVs. Tienen tres modelos de AUVs de ala fija que están comercializando el Aeromapper UAV, Aeromapper TALON UAV y Aeromapper X5 con duración de vuelo desde 30 minutos hasta 1 hora.
http://aeromao.com/aeromapper_uav
- Datum ingenieria S.A, empresa colombiana con más de 30 años de experiencia en Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de Medición y Sensores Remotos para ofrecer servicios y soluciones Geomáticas. Son distribuidores de la empresa gatewing en Colombia.
<http://www.datuming.com/index.htm>
- Dji, empresa China es el líder mundial en el desarrollo y fabricación de alto rendimiento, fiable y fácil de usar de pequeños sistemas aéreos no tripulados (UAS), para uso comercial y recreativo. El principal producto son los UAVs Phantom pero tienen otras plataformas multicopteros que comercializan.
<http://www.dji.com/>

6. FOTOGRAMETRÍA

Los objetivos principales de esta actividad durante la práctica académica fueron:

- Aprender a planificar un plan de vuelo para obtener fotografías que sirvan para realizar ortofotos.
- Conocer el proceso que realiza el software de fotogrametría.
- Conocer las aplicaciones de la fotogrametría.

Según la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) 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”.

La palabra fotogrametría deriva del vocablo "fotograma" (de "phos", "photós", luz, y "gramma", trazado, dibujo), como algo listo, disponible (una foto), y "metrón", medir. Por lo que resulta que el concepto de fotogrametría es: "medir sobre fotos".

La fotogrametría tiene una gran cantidad de aplicaciones y ámbitos de investigación, como la arquitectura, la escultura, la meteorología, la medicina, arqueología, etc.; y por supuesto, la topografía, en la que se utilizan fotografías aéreas [9].

6.1 Procedimiento de generación de ortofotomapa.

Un ortofotomapa es un documento cartográfico, que consiste en una ortofoto que ha sido rectificadas, de tal manera que mantiene una escala uniforme en toda la superficie de la imagen, y a la cual se ha incorporado elementos cartográficos de un mapa.

1. Toma de la aerofotografía: por medio de vehículos aéreos no tripulados se toman las fotografías aéreas.
2. Puntos de control: son objetos naturales o artificiales que pueden ser localizados precisamente en una o varias imágenes. Las coordenadas terrestres de estos objetos son medidas con un GPS antes de empezar el procesamiento de imágenes. Los puntos de control nos ayudan a darle mayor precisión. El número y localización de los puntos de control dependen de la precisión requerida.

3. Aerotriangulación: Método que permite establecer los parámetros de orientación georreferenciación de las aerofotografías, con base en relaciones geométricas de las mismas.
4. Restitución (puntos de amarre): son objetos naturales que pueden ser claramente identificados y localizados en al menos dos fotos superpuestas. Sus coordenadas en tierra son desconocidas. El propósito de los puntos de amarre es conectar imágenes separadas. Para cada par de imágenes debería haber entre 3 o 6 puntos de amarre. En áreas de solape de 3 o más imágenes, se recomienda usar puntos de amarre comunes.
5. Modelo Digital de Terreno: La forma tradicional de corregir la geometría de una imagen es mediante el uso de un modelo de suelo desnudo ó raso. Se puede definir un Modelo Digital de Terreno (MDT), como una representación digital continua del relieve en el espacio tridimensional
Los modelos digitales pueden generarse a partir de diferentes insumos, así:
 - Captura por restitución Fotogramétrica en tres dimensiones, mediante este proceso se restituyen elementos estructurales que son, líneas de forma, líneas de quiebre y líneas de perfiles del terreno
 - Aplicando técnicas de autocorrelación,
 - Combinando restitución y autocorrelación.
6. Ortorrectificación. Mediante este proceso se corrigen los errores por inclinación del eje de toma de la aerofotografía, las distorsiones debidas al relieve del terreno, la orrorrectificación se hace por unidades diferenciales las cuales se ensamblan para formar una imagen métrica del paisaje.
7. Balanceo Radiométrico. Esta corrección consiste en la homogenización del brillo y contraste de la imagen, eliminación de inconsistencias presentes en las imágenes que son causadas por efectos externos.
8. Mosaicado: Consiste en unir todas las ortofotos balanceadas radiométricamente mediante líneas de corte generadas de forma manual o automática [10].

6.2 Productos de la fotogrametría

➤ Ortofotos

Las ortofotos son fotografías aéreas que corregidas geométricamente de manera que la escala entre ellas sea uniforme. Ésta corrección consiste en asociar cada

píxel a una coordenada geográfica. Pueden ser utilizadas en un amplio rango de aplicaciones:

- Topografía y cartografía.
- Urbanismo.
- Obras públicas.
- Agricultura.
- Estudios forestales y ambientales.

➤ **Ortofotos nocturnas**

- Gestión del alumbrado de una población.
- Detección de puntos de luz.
- Estudio de la contaminación lumínica.

➤ **Modelos digitales de elevaciones**

Un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) es una representación 3D continuada del área de un terreno que ha sido geoméricamente corregida, en consecuencia puede ser utilizado para medir distancias y alturas.

Obteniendo en un mismo vuelo una ortofoto y un DEM, se obtiene un producto de alta calidad con un bajo coste que puede ser utilizado como soporte en cualquier estudio topográfico o cartográfico. Además, ampliando el procesamiento de las imágenes, se pueden obtener nubes de puntos i DSM que permiten la aplicación de esta técnica en múltiples campos:

- Topografía.
- Minería.
- Gestión forestal.
- Obras públicas.
- Geología.

➤ Termografías aéreas

Las cámaras térmicas detectan la radiación en el rango del espectro electromagnético que comprende entre los 8-14 μm y producen imágenes a partir de esta radiación. La cantidad de radiación emitida por un objeto es proporcional a su temperatura, este hecho hace que las termografías nos permitan ver variaciones de temperatura en un escenario independientemente de si tenemos iluminación en la zona.

- Detección de incendios.
- Estudios de eficiencia energética.
- Mantenimiento de infraestructuras.
- Gestión de residuos.
- Hidrología.
- Agricultura.

6.3 Calibración de la cámara

Una cámara tiene tanto parámetros intrínsecos como extrínsecos (internos y externos).

Los parámetros externos de la cámara son aquellos que definen la posición y la orientación del cuadro de referencia de la cámara con respecto al mundo real, es decir, dan la orientación externa de la cámara.

Los parámetros intrínsecos son aquellos que definen las propiedades inherentes de la cámara y de la óptica, es decir, aquellos involucrados en la transformación de puntos 3D en el sistema de referencia de la cámara a puntos 2D del plano imagen. Estos caracterizan las propiedades ópticas, geométricas y digitales de la visión de la cámara que son necesarias para unir las coordenadas en píxeles de un punto imagen con las coordenadas correspondientes en el marco de la cámara.

- Distancia focal: f . es la longitud de la lente al plano imagen.
- Desplazamiento del centro de la imagen: c_x y c_y . Centro de imagen o punto principal que intersecta el eje óptico de la cámara y el plano imagen.
- Coeficientes de distorsión radial: k_1 , k_2 , k_3 . Se presenta debido a que por la naturaleza de la lente o del proceso de adquisición de una imagen al captar objetos formados por líneas rectas, estas aparecen en la imagen como líneas

curvas, es decir, representa el desplazamiento radial dependiendo de la calidad del lente de la cámara usado y la distancia del punto en el espacio al centro de la imagen. La distorsión es un fenómeno no deseable y más aún en modelos geométricos.

- Coeficientes de distorsión tangencial: es debida a las imperfecciones en la construcción y posicionamiento del conjunto de lentes que produce un descentramiento de los centros de curvatura de la lente con respecto al eje óptico. Esta distorsión provoca un descentramiento que tiene componente radial y tangencial, siendo esta última perpendicular al vector de posición del punto en cuestión.
- Skew: coeficiente de oblicuidad entre el eje x y el eje y.

➤ **Software de calibración de cámaras:**

- Camera Calibration Toolbox for MATLAB
- Calibración cámara con Python y OpenCV
- DLR CalLab and CalDe - The DLR Camera Calibration Toolbox
- Agisoft Lens
- Camera calibration MosaicMill
- 3DF Lapyx
- PhotoModeler

6.4 Altura de vuelo

Las fotografías aéreas resultantes de un vuelo fotogramétrico no tienen una escala exacta, al ser el resultado de una perspectiva cónica y por el efecto ondulante del terreno. Así, cada punto dentro de una foto tiene su propia escala, dependiendo del lugar con respecto al centro de la foto y de la altura del terreno. No obstante, sí puede hablarse de una escala media de los fotogramas, que aunque no exacta es aproximada. Esta escala media mantiene una estrecha relación con los conceptos distancia focal y altura media del vuelo, con la ecuación 1:

$$\frac{1}{E} = \frac{c}{H}$$

Ecuación 1 Altura de vuelo

Donde:

c= Distancia focal.

H = Altura media del vuelo.
 E = Denominador de escala

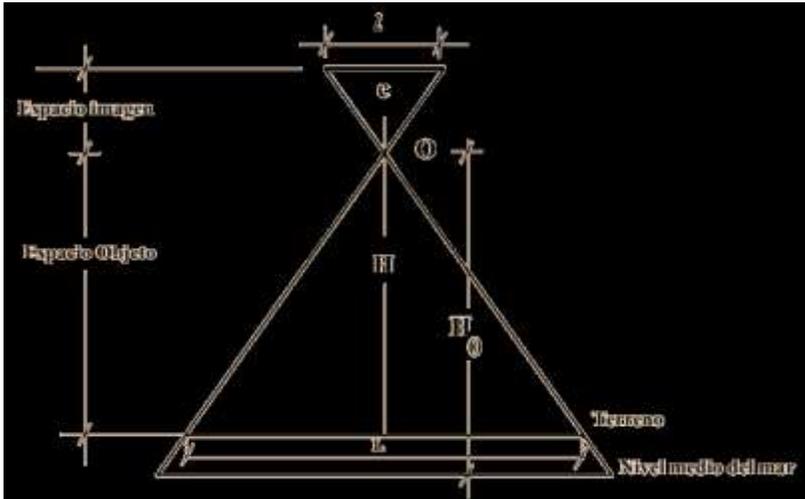


Figura 20 Cálculo altura de vuelo

Cuando el terreno presenta ondulaciones fuertes o es montañoso, será entonces necesario adoptar un nivel medio de referencia que puede o no coincidir con los valores de las alturas terrestres. Como se muestra en la figura 21 en un terreno podemos encontrar distintas alturas sobre el cual la aeronave tenga que tomar las fotos.

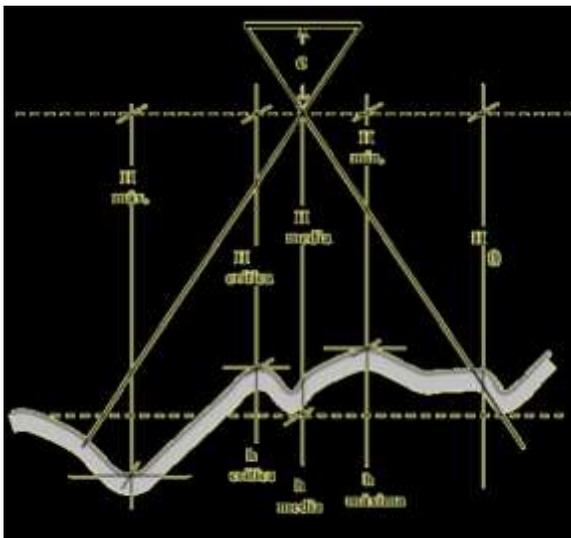


Figura 21 Alturas de vuelo con superficies no uniformes

Escala media = $c / H m$
 Escala mayor = $c / H \text{ mín}$
 Escala menor = $c / H \text{ máx}$
 Escala crítica = $c / H \text{ crít.}$

6.5 Distancia entre tomas aéreas consecutivas:

Teniendo en cuenta la superposición necesaria la siguiente fórmula calculará la distancia entre cada toma:

$$B = L \left(1 - \frac{p}{100} \right)$$

Ecuación 2 Distancia entre tomas

Como se observa en figura 22 "B" no es más que el espaciamiento entre dos tomas consecutivas, también llamado "base aérea" o "avance longitudinal", y "p" es el "porcentaje de superposición longitudinal".

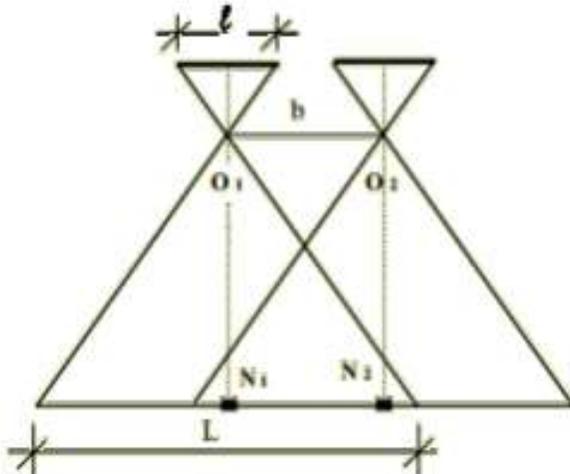


Figura 22 Distancias entre tomas aéreas

El número mínimo teórico de fotografías contenidas en un recorrido, se obtiene dividiendo la longitud del mismo (L) por el valor de la base aérea (B) [12].

Si el terreno presenta desniveles notables como los mostrados en la figura 23, la escala de las fotografías consecutivas variará sensiblemente, aún para diferentes puntos de la misma fotografía. Si se calcula los intervalos de las fotos para el terreno situado más bajo se puede presentar huecos en los puntos más altos. Para resolver este problema hay dos soluciones:

1. Dividir el recorrido, en zonas de igual morfología y proceder en consecuencia, es decir, para zonas altas el espaciamiento debe ser menor que para zonas bajas.

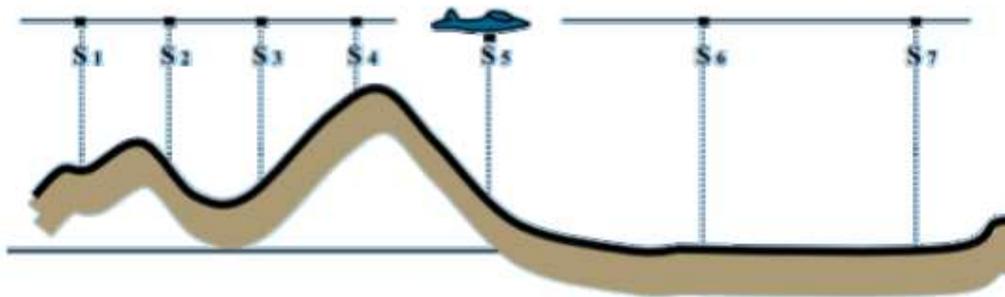


Figura 23 Casos especiales de vuelos

2. Aumentar las superposiciones longitudinales, caso 80 y 90 %

6.6 Plan de vuelo, Superposición, tipo de terreno

El plan de vuelo y la adquisición de imágenes son críticas para la cartografía de buena calidad. La calidad y precisión de los resultados dependen directamente de la calidad y precisión de las imágenes tomadas. El plan de vuelo tiene que ser escogido dependiendo del tipo de terreno (ciudad, ríos, bosques, etc.). Todos los planes de vuelo deben proveer suficiente imágenes superpuestas para obtener óptimos resultados. La superposición recomendada para la mayoría de los casos es 70% de superposición frontal (dirección del vuelo) y 60% superposición lateral. Para terrenos difíciles requieren una mayor superposición, el mínimo recomendado en estos casos es 70% frontal y 85% lateral.

➤ Plan de vuelo ideal

- Patrón de cuadrícula regular.
- Imágenes tomadas a altura constante.
- La imagen 24 muestra la superposición de imagen recomendada en el suelo: 70% de superposición frontal, 85% de superposición lateral.
- No es adecuado para terrenos difíciles como los bosques, nieve, lagos, etc. En estos casos, no todas las imágenes puede ser que calibradas y ser usadas para los resultados.

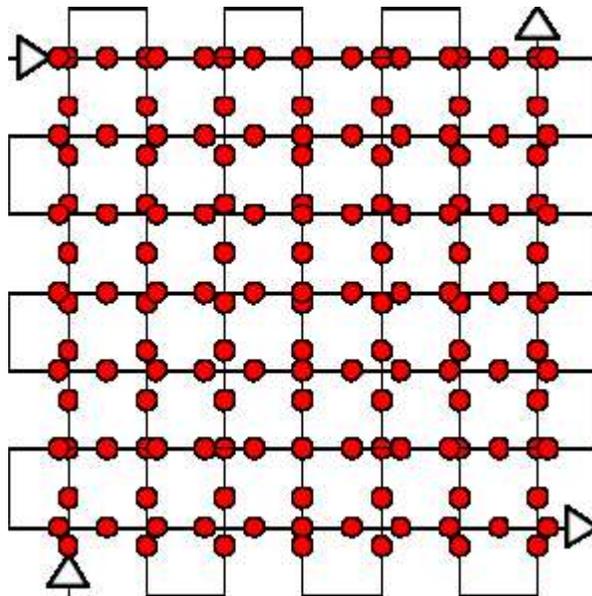


Figura 25 Plan de vuelo con doble cuadrícula

- **Bosque y densa vegetación.** Bosques y vegetación densa tienen patrones visuales muy complejos.
 - Requiere alto grado de superposición: al menos el 70% de superposición frontal y el 85% de superposición lateral.
 - Volar más alto mejora los resultados, ya que reduce la complejidad visual.
 - La altura de vuelo determina la resolución. Los mejores resultados se obtuvieron con una resolución de imagen superior a 8 cm / píxel.

- **Nieve y arena.** La nieve y la arena tienen poco contenido visual debido a las grandes áreas uniformes, y muestran gran rango dinámico que puede saturar el sensor de la cámara.
 - Requiere alto grado de superposición: al menos el 70% de superposición frontal y el 85% de superposición lateral.

- **Campos.** Los campos que tienen poco contenido visual debido a las grandes áreas uniformes.

- Requiere alto grado de superposición: al menos el 70% de superposición frontal y el 85% de superposición lateral.
 - Volando bajo mejora los resultados a medida que aumenta el contenido visual.
- **Agua.** La superficie del agua casi no tiene contenido visual debido a grandes áreas uniformes. El sol se refleja sobre el agua y las olas no se pueden utilizar para la coincidencia visual.
 - Los océanos son imposibles de reconstruir
 - Para reconstruir otras superficies de agua, como ríos o lagos, cada imagen tiene que tener características de la tierra. Volando más arriba puede ayudar a incluir más características del terreno.
 - **Casos especiales**

Mapeo de corredor. Mapear corredores como ferrocarriles, carreteras o ríos requieren un plan de vuelo especial.

- El plan de vuelo de doble vía como el que se observa en la figura 26 es el plan de vuelo recomendada para el mapeo de corredor. Sin embargo, más vías, más confiables serán los resultados.
- Puntos de control en tierra no son requeridos pero son recomendados para mejorar la geolocalización y completar la reconstrucción.

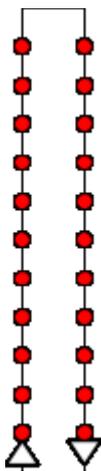


Figura 26 Mapeo de corredor

- Planes de vuelo de una vía no son recomendables ya que pueden conducir a la reconstrucción distorsionada o incompleta.
- Puntos de control en tierra son requeridos para vuelos de una vía, estos podrían evitar distorsiones indeseadas in la reconstrucción.
- Una alta superposición es recomendada.

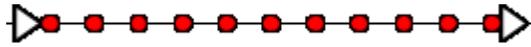


Figura 27 Vuelos de una sola vía

Múltiples vuelos

- Suficiente superposición entre el vuelo es requerida para tener una buena reconstrucción. La mínima superposición requerida entre los vuelos depende del terreno: 70% o 60% de superposición para terrenos ideales, 70% o 85% de superposición para terrenos difíciles.
- Es recomendado tener al menos 2 tramos de cada vuelo que se superponen como se muestra en la figura 28, al tener una menor superposición como se observa en la figura 29 la creación del ortomosaico se dificulta.
- Debería haber el menor número de cambios posible en el medio ambiente entre los múltiples vuelos (dirección del sol, las condiciones meteorológicas, los coches en movimiento, nuevos edificios, nieve, etc.).

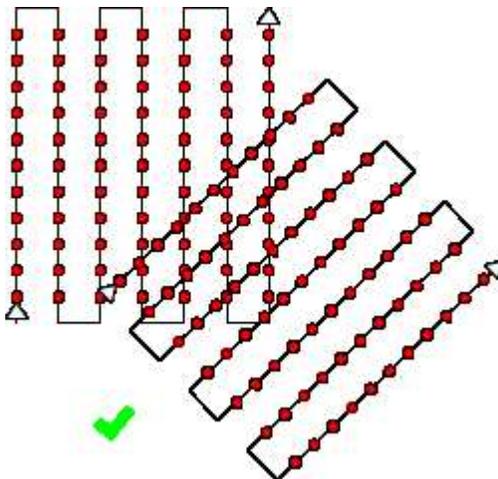


Figura 28 Múltiples vuelos forma correcta

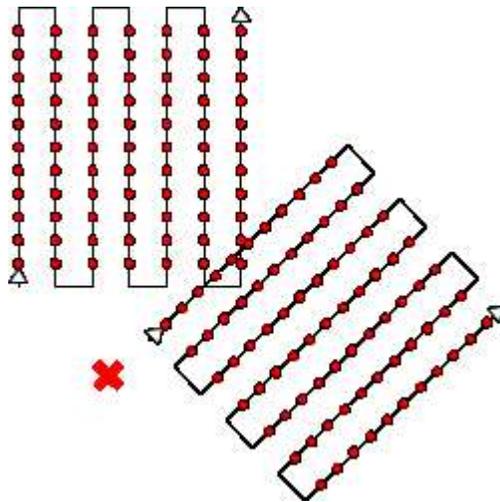


Figura 29 Múltiples vuelos forma incorrecta

➤ Reconstrucción de edificios

La reconstrucción 3D de edificios requiere un específico plana de vuelo

- Volar alrededor del edificio por primera vez a un ángulo de 45 grados.
- Volar una segunda y tercera vez alrededor del edificio aumentando la altura y el ángulo de la cámara en cada vuelta.
- Es recomendado tomar fotos cada 10 grados para tener suficiente superposición [11].

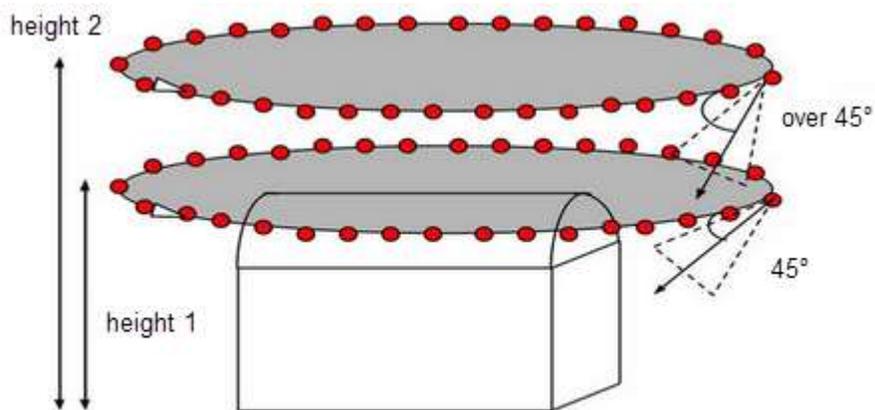


Figura 30 Vuelos para reconstrucción de edificios

6.7 Generación de ortofoto con EnsoMOSAIC

EnsoMOSAIC es software de fotogrametría para triangulación aérea y para la producción automática de orto-mosaicos a partir de fotografías aéreas digitales o análogos. Es capaz de procesar imágenes en formato pequeño, mediano o grande tomadas con cualquier plataforma aérea, desde vehículos aéreos no tripulados (UAV) hasta aviones diseñados para fotografía aérea.

El software EnsoMOSAIC rectifica miles de imágenes digitales en una pasada, aplicando ajuste de bloques, y las une para formar un único mosaico orto-rectificado y georeferenciado.

Pasos básicos para realizar un ortomosaico:

- Abrir imágenes para su procesamiento.
- Calcular pirámides de imagen para la visualización y el procesamiento rápido.
- Triangulación aérea para encontrar puntos de unión y para calcular la orientación de la imagen.
- Elevación modelo se interpola entre los puntos de fijación y necesario en ortorrectificación.
- Mosaico de imagen se crea utilizando los resultados de los pasos anteriores.

En la figura 45 se observa un ortomosaico de una parte de la mesa de los santos en Santander con ubicación de latitud 6.825704 y longitud -73.084415, las fotos fueron tomadas por el AUV bramor a una altura de 200m, en la imagen cada pixel equivale a 10 cm aproximadamente.



Figura 31 ortomosaico mesa de los santos

7. MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DE ÁRBOLES

En la empresa se han realizado inventarios forestal en los cuales se tienen que medir características como la altura del árbol, el diámetro del tronco y el diámetro de la copa, además de su posición geográfica. Para realizar estas mediciones se tiene que ir hasta cada árbol y medir con un metro o algunas son supuestas, esto hace que se gaste mucho tiempo y se obtengan medidas erróneas.

El diámetro del árbol es una de las variables de soporte más importante utilizado en el inventario de los recursos forestales, la planificación forestal y la medición de la madera. Diámetro a la altura del pecho se encuentra en la mayoría de los casos. El diámetro del árbol tradicionalmente se ha medido utilizando una o varias pinzas o un metro. Este método es ineficiente debido a que un operario debe ir a cada árbol para medirlo y gasta demasiado tiempo.

El futuro del inventario de recursos forestales y la planificación forestal se basa en la teledetección, escaneo láser aerotransportado (ALS) y métodos basados en la fotogrametría digital.

➤ Telemetro laser

Una opción para tomar las diferentes medidas de los árboles son los telémetros laser. El telémetro láser es capaz de realizar medidas de distancia de forma automática con una gran precisión. Se basa en combinar técnicas trigonométricas y medir el tiempo que demora en reflejar el rayo para calcular distancias.

En el mercado se encuentran varias referencias entre las cuales se encuentran TruPulse 200, Impulse 200, Forest Pro, TruPulse 360 y Ike GPS se diferencian por su exactitud y algunos incorporan otras características como gps, sus precios están por encima de los 1600 dólares.

➤ Sistema Laser-cámara

El sistema está formado por una cámara integrada con un generador de línea laser y un generador de punto laser como se observa en la figura 32. El principio de funcionamiento es basado en la reflexión de la línea y el punto laser sobre el tronco. La línea láser reflejada se descompone en las líneas de borde del tallo del árbol de manera que diámetro del tronco se puede medir, sobre la base de la longitud de la línea láser.



Figura 32 Sistema Laser-cámara

Como se muestra en la figura 33 la escala de la foto puede ser conocida por la distancia invariable de la línea y el punto laser. La longitud de la línea laser reflejada en el tronco puede ser medida por el número de píxeles y la escala de la foto.

Conociendo la distancia de la línea laser al punto laser en cms y en número de píxeles se puede hacer una regla de tres para conocer el diámetro del tronco del árbol [13].

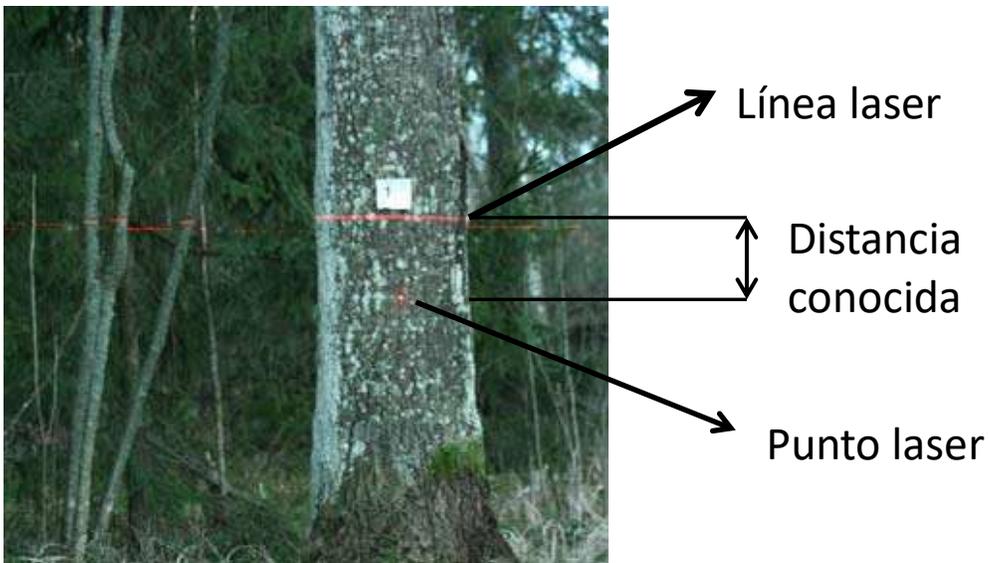


Figura 33 Funcionamiento sistema laser-cámara

Materiales

- Cámara fotográfica: \$ 400.000
- Generador de línea laser: \$ 50.000
- Generador de punto laser: \$ 26.100
- Estructura para integrar cámara con los laser: \$100.000

Ventajas y desventajas

Los telémetros laser pueden medir todas las características de los arboles, diámetro del tronco, altura del árbol y diámetro de la copa. Sus desventajas son el elevado precio y el tiempo que gastaría el operario recolectando los datos.

El sistema laser-cámara permite reducir el tiempo de la toma de datos, ya que desde un mismo punto es posible tomar las fotos de varios árboles. Su desventaja es que solo puede medir el diámetro del tronco.

Por el factor costo-beneficio, el tiempo en la toma de datos, el principal dato requerido es el diámetro del tronco y además que los datos se pueden revisar en la oficina la mejor opción es el sistema laser-cámara.

8. CONCLUSIONES

- Los UAV de ala fija son aptos para largos recorridos ya que alcanzan una mayor velocidad y así recorren largas distancias en un menor tiempo, para aplicaciones de inspección donde se necesite vuelo estacionario los multicopteros son la mejor opción así que antes de escoger el tipo de UAV que necesitamos debemos conocer la aplicación y características del terreno.
- El mantenimiento del microdrone MD4-1000 es sencillo porque los motores brushless tienen 90000 horas de uso antes de necesitar mantenimiento y el despegue y aterrizaje vertical evitan que sufra golpes. La parte más sensible del microdrone son las aspas ya que con algún golpe se pueden partir y sin una de ellas es imposible arrancar, por eso se recomienda tener repuestos de estas.
- Hacer una buena planificación de vuelo es parte esencial para realizar un buen trabajo de fotogrametría por eso debemos conocer las condiciones del terreno donde se realizara el vuelo (montañoso, plano, boscoso, dentro de la ciudad, etc), si hay algunas limitaciones en el espacio que puedan interferir con el vuelo o el resultado de fotogrametría (cables, edificios, torres de alta tensión).
- En el mercado hay una gran variedad de empresas que fabrican y distribuyen AUVs cada uno con características diferentes según las aplicaciones y tecnología incluida. Si vamos adquirir un UAV la mejor opción es comprar con una empresa que los fabrique, ya que el soporte técnico y asesoría lo darán directamente ellos sin necesidad de intermediarios y el proceso se hará en un menor tiempo.
- La práctica empresarial fue una oportunidad para demostrar las competencias adquiridas en los años de estudio, para aprender a trabajar bajo presión, cumplir horarios, conocer la estructura y funcionamiento de una empresa, sin olvidar la parte humana, sus compañeros de trabajo que son parte esencial de una empresa y el sentido de responsabilidad y pertenencia que se tiene hacia la empresa ya que esta nos brinda su confianza.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. “Estudio comparativo entre cuatrirotores y aeronaves de ala fija. Sistemas de control de vuelo, tecnología y misiones”, instituto politécnico nacional escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad profesional Ticomán, Beatriz Domínguez Calva y Luis Eduardo Martínez Hernández.
2. C-astral, c-astral.com <<http://c-astral.com/>>
3. Operators handbook MD4-1000, Microdrones, 2012.
4. Cartogalicia AUV, www.cartogalicia.com/cartouav
<<http://www.cartogalicia.com/cartouav/index.php?lang=es>>
5. Microdrones MD4-1000, microdrones.com/index.php
<<http://microdrones.com/index.php>>
6. Repair of a broken Carbon fiber frame, MATTHIEU LIBEERT.
7. Baterías lipo: Mantenimiento y conexión entre baterías, RC-INK blog, 2010.
8. Tutorial: Baterías Lipo en robótica (Polímero de Litio Li-PO), foros de Bipedolandia.
9. Guía de Erdas 8.4, Erdas Geographic Imaging Made Simple, 2011.
10. Fotogrametría y teledetección, I. Otero; A. Ezquerro; R. Rodríguez-Solano; L. Martín; I. Bachiller.
11. “Introducción a la fotogrametría”, E. T. S. I. Caminos, Canales y Puertos Cátedra de Topografía, José Antonio Sánchez Sobrino.
12. Documento de cátedra fotogrametría: Planificación de vuelo, Prof. Ing Carlos Lizana, Dpto.: Ingeniería en Agrimensura U N S J. Año 2008.
13. Laser_based field measurements in tree-level forest data acquisition, Mikko Vastaranta, Timo Melkas, Markus Holopainen, Harri Kaartinem, Juha Hyyppa and Hannu Hyyppa, University of Helsinki, 2009.