



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Técnicos en Topografía,

Geodesia y Cartografía

Universidad Politécnica de Madrid



PROYECTO FIN DE CARRERA

Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación con Topografía clásica

Tutor:

Marina Martínez Peña

Cotutor:

Ana Belén Bello

Alumnos:

Alba Coello Romero

Gonzalo Ballesteros Abellán

ÍNDICE

1. Objetivos.....	6
2. Descripción de la zona.....	7
3. Metodología a seguir.....	10
4. Vehículos aéreos no tripulados.....	11
4.1. Reseña histórica de los UAV.....	11
4.2. Definición de UAV.....	12
4.3. Aplicaciones de los UAV.....	12
4.3.1. Aplicaciones militares.....	12
4.3.2. Aplicaciones civiles.....	12
4.4. Clasificación de los UAVs.....	14
4.5. Integración en el espacio aéreo.....	17
4.5.1. Iniciativas a la integración.....	18
4.6. Sistemas aéreos no tripulados en España.....	18
4.6.1. El uso profesional de los UAV/ drones para trabajos aéreos.....	18
4.6.2. Nueva ley sobre el uso de los drones en España.....	19
4.6.3. Desarrollo de los UAV en España.....	21
5. Desarrollo trabajo de campo e instrumental.....	22
5.1. Instrumental.....	22
5.1.1. Equipo GNSS Trimble R8.....	22
5.1.2. Equipo GNSS Trimble R10.....	25
5.1.3. Vehículo aéreo no tripulado de ala fija UX5.....	27
5.1.3.1. Estructura y piezas del UX5.....	28
5.1.3.2. Especificaciones del funcionamiento.....	30
5.1.3.3. Hardware.....	30
5.1.3.4. Software.....	31
5.1.3.5. Operación.....	31
5.1.3.6. Rendimiento de la adquisición de imágenes.....	32
5.1.4. Cámara Sony NEX-5R.....	32
5.2. Toma de datos GNSS.....	34
5.2.1. Introducción a la toma de datos.....	34
5.2.1.1. Método Trimble VRS Now.....	34
5.2.2. Obtención de datos GNSS.....	36
5.2.2.1. Instalación del equipo para un levantamiento a tiempo real.....	36
5.2.2.2. Inicio levantamiento móvil.....	36
5.2.2.3. Inicio receptor móvil para un levantamiento RTK.....	37
5.3. Toma de datos con UX5.....	38
5.3.1. Obtención datos con el UX5.....	38
5.3.2. Planificación del vuelo.....	39
5.3.2.1. Señalización de puntos de apoyo y de control.....	39
5.3.2.2. Trimble Access Aerial Imaging.....	39

5.3.2.3. Misión de vuelo.....	40
5.3.3. Ejecución de vuelo.....	49
6. Desarrollo del trabajo de oficina.....	53
6.1. Introducción.....	53
6.2. Procesado de datos topográficos y fotogramétricos.....	57
6.2.1. Módulo de Topografía.....	57
6.2.2. Módulo de Fotogrametría.....	67
6.2.2.1. Características.....	67
6.2.2.2. Utilización.....	68
6.2.2.3. Ajuste de estaciones.....	70
6.2.2.4. Creación de nubes de puntos, DSM ráster y ortomosaico.....	75
7. Comparativa entre datos GNSS y Fotogramétricos.....	78
7.1. Puntos obtenidos con GNSS.....	79
7.2. Puntos obtenidos con UX5 a 125 metros de altura.....	80
7.3. Puntos obtenidos con UX5 a 300 metros de altura.....	81
7.4. Comparativa entre medidas.....	82
7.5. Diferencia de alturas mediante intervalos.....	85
7.6. Comparativa entre superficies generadas GNSS y UX5.....	88
8. Estudio de precisiones.....	92
8.1. Producción cartográfica clásica.....	92
8.2. Control de calidad de los productos medidos.....	93
9. Software empleado.....	97
10. Presupuesto.....	98
10.1. Descripción de actividades.....	98
10.2. Costes unitarios.....	99
10.3. Presupuesto por actividad sin IVA.....	99
10.4. Descripción de actividades.....	100
10.5. Comparativa levantamiento topográfico entre GNSS y UX5.....	101
11. Conclusiones.....	110
12. Bibliografía consultada y páginas web.....	111
i. ANEXOS.....	112
i.i. Reseñas de los puntos de apoyo vuelo a 125 metros.....	113
i.ii. Reseñas de los puntos de apoyo vuelo a 300 metros.....	114

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queríamos agradecer a nuestra tutora, Marina Martínez, su tiempo y dedicación a la hora de facilitarnos el desarrollo de este Proyecto Fin de Carrera.

En segundo lugar, a la empresa Geotronics S.A., especialmente a Abel Varela y Arturo Zazo, por cedernos todo el material necesario y ayudarnos en aquello en lo que les hemos necesitado.

Por último, agradecer a nuestras familias, especialmente a nuestros padres, su apoyo incondicional y su sacrificio durante todos estos años.

1. Objetivos

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio comparativo utilizando dos procedimientos diferentes para la obtención de mapas y modelos digitales del terreno. Por un lado, realizando un levantamiento de una zona determinada mediante GPS y por otro lado mediante fotogrametría aérea utilizando un vehículo aéreo no tripulado.

Dicho estudio surge de la necesidad de obtener cartografía de los elementos que nos rodean y en nuestro caso, como primera toma de contacto, en el empleo de una nueva tecnología. Puesto que este requisito ha existido siempre, es evidente que en cada época el avance de las distintas metodologías y tecnologías para la producción cartográfica es mayor.

En la actualidad, una de las técnicas más empleadas es la Fotogrametría. La idea de poder sobrevolar una extensión determinada para obtener imágenes y posteriormente poder recomponer el modelo para obtener la geometría y los elementos de dicha extensión hace que esta técnica sea muy eficaz.

Hoy en día, las técnicas siguen avanzando y encontramos en el levantamiento mediante la utilización de vehículos aéreos no tripulados una de las mejores alternativas. Se trata de una herramienta muy potente en la realización de trabajos a grandes escalas (1:1000, 1:500).

Comparado con métodos tradicionales, la fotogrametría aérea mediante vehículos aéreos no tripulados ofrece una gran cantidad de ventajas:

- Mayor precisión: la alta resolución de las fotos tomadas permite obtener modelos digitales del terreno con mayor nivel de detalle.
- Ahorro de tiempo: el levantamiento topográfico se puede completar en cuestión de horas, en comparación a métodos de topografía terrestre y fotogrametría tradicional.
- Reducción de costos operativos: ya que levantamiento topográfico toma menos tiempo y menos recursos.
- Mejoras en seguridad: el uso de una plataforma UAV puede eliminar o reducir la necesidad de acceder a zonas peligrosas.
- Manejo de mayor información: fotografías verticales u oblicuas combinadas, levantamientos topográficos precisos, modelos digitales del terreno y análisis volumétrico.
- Facilita la toma de decisiones: basada en información relevante y actualizada.

2. Descripción de la zona

Los datos de este proyecto corresponden a la zona de Las Rozas, municipio situado en la Comunidad de Madrid. Su altitud media es de 718 metros, tiene una extensión de 59,14 km² y una población de aproximadamente 91806 habitantes (dato 2013).

Accesible desde las carreteras A-6, M-50 o M-505, limita con los municipios de Torrelozón al Norte, Villanueva del Pardillo y Galapagar al oeste; el monte de El Pardo al este y Majadahonda al sur y es uno de los pueblos que incluyen parte de su territorio dentro del Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares.



Ilustración 1. Descripción de la zona

La zona de estudio de este proyecto se encuentra al oeste entre el municipio de Las Rozas y Villanueva del Pardillo, comunicadas por la carretera M-851. Se trata de una zona rural en su mayor parte donde predominan campos de cultivo de carácter privado.



Ilustración 2. Zona de estudio

La superficie medida con el UAV es de aproximadamente 30 hectáreas, mientras que la superficie medida con el equipo GNSS es de unas 8 hectáreas ya que la mayoría eran campos de cultivo de uso privado. Por ello, en algunas zonas solo se pudo tomar datos en las lindes de las fincas.

En el margen izquierdo de la carretera se encuentran los Campos de la Puentecilla donde se sitúa el arroyo de la Puentecilla, así como restos de la Guerra Civil conservados en esta zona.



Ilustración 3. Campos de La Puentecilla

Parte de este arroyo se halla dentro del Parque regional del Curso Medio del río Guadarrama y su entorno, por lo que algunas de las zonas se encuentran bajo protección medioambiental. En época de lluvias, este paraje recoge las aguas de otros arroyos menores que conforman llamativas barrancas, cárcavas, cerros y cortados.

Debido a las cualidades de esta orografía, fue aprovechada durante la Guerra Civil por republicanos para establecer su línea de frente. Desde las posiciones de la Cumbre, que discurría en paralelo a la actual M-851, los franquistas contaron con una superioridad táctica que fue uno de los principales problemas con lo que tuvo que enfrentarse el otro bando.



Ilustración 4. Vértice Cumbre

Actualmente, este vértice Cumbre pertenece al vértice geodésico número 714.

En torno al Campo de la Puentecilla se conservan numerosas fortificaciones y atrincheramientos en diverso estado de conservación, muchas de ellas, poco o nada conocidas.



Ilustración 5. Fortín 1º O. de las Rozas junto M-851



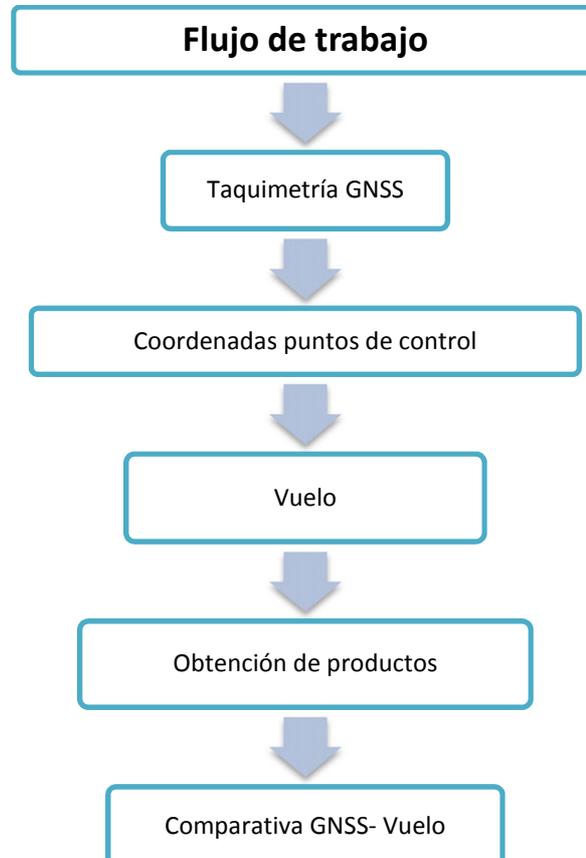
Ilustración 6. Fortín 2º O. de Las Rozas junto M-851

En el margen derecho de la ilustración 6 nos encontramos con el campo de vuelo diedro perteneciente al municipio de Majadahonda y que fue utilizado para realizar el despegue y el aterrizaje del avión cuando realizamos los vuelos.

3. Metodología a seguir

Las etapas del proyecto que seguimos tiene el siguiente esquema de trabajo:

- Realización de un levantamiento taquimétrico de la zona en la que se cubrió aproximadamente 8 hectáreas. El instrumental utilizado fue un equipo GNSS R8 modelo 3 de Trimble.
- Obtención de las coordenadas de los puntos de control y de apoyo con un equipo GNSS R10 de Trimble.
- Toma de datos mediante el uso del avión de ala fija UX5 de Trimble.
- Obtenidas las coordenadas de los puntos de control y realizado el vuelo, se obtuvieron las fotografías y los datos necesarios para realizar los siguiente procesos:
 - Orientación interna
 - Orientación externa/ Aero triangulación
 - Generación de nubes de puntos
 - Generación de DSM
 - Generación de Ortomosaico
- Realización de la comparativa de los resultados obtenidos con el vuelo y los obtenidos en el levantamiento taquimétrico.



4. Vehículos aéreos no tripulados

Dentro de la industria aeronáutica, el sector de los UAV (Vehículos Aéreos no Tripulados “Unmanned Aerial Vehicle”) es una de las áreas con mayor potencial de crecimiento. El hecho de que su uso se haya multiplicado en apenas unos años lo demuestra.

En comparación con los vehículos tripulados, estas aeronaves son más maniobrables y sus costes de explotación pueden ser inferiores. Además, con ellas se puede evitar el riesgo inherente a los vuelos tripulados en entornos hostiles, en condiciones de vuelo con escasa visibilidad, o en general, con condiciones climáticas adversas.

4.1. Reseña histórica de los UAV

El desarrollo de los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) no se ha producido en las últimas décadas, ya que desde el siglo XIX coincidiendo con fines militares, se utilizaban vehículos de este tipo. El 22 de Agosto de 1849 se utilizó un UAV consistente en un globo no tripulado para enviar dos bombas desde Austria a Venecia.

Durante la Primera Guerra Mundial, se desarrollaron los misiles crucero, controlados por un sistema de giroscopios. Con los sucesivos conflictos bélicos, se emplearon aviones de radio control utilizados para entrenar a los tiradores británicos antiaéreos.

En las guerras de Corea y Vietnam, el ejército de los Estados Unidos encontró en los UAVs una forma de desviar los ataques enemigos de sus bombarderos y cazas tripulados y se desarrollaron también los primeros UAVs de reconocimiento.

En las siguientes imágenes se muestran algunos tipos de vehículos aéreos no tripulados:



Ilustración 7. UAV Luna X 2000 perteneciente a la armada alemana



Ilustración 8. Modelo ALTEA-EKO desarrollado por ingenieros y técnicos españoles

4.2. Definición de UAV

El control de los UAV puede realizarse bien autónomamente o desde tierra utilizando planes de vuelo programados. Se caracterizan por no llevar a bordo un operador humano o los equipos asociados a ellos.

Un UAV precisa para su correcto funcionamiento de una infraestructura especial y generalmente se debería hablar más de Sistemas Aéreos no Tripulados (UAS) que de vehículos simplemente. Un UAS se compone de:

- **Segmento aéreo**: integrado por la plataforma aérea, su carga útil y la parte del sistema de comunicaciones que transporta.
- **Segmento terreno**: incluye un sistema de control de la plataforma aérea, y los equipos de comunicaciones y estación que permiten recibir la información obtenida por los sensores, además de los elementos de lanzamiento y recuperación de la plataforma aérea.

En la actualidad estos sistemas se utilizan para aplicaciones tanto en el ámbito militar como en el civil. Para la denominación de estos vehículos en uso civil se ha empezado a utilizar en Estados Unidos y la Unión Europea el término Remotely Piloted Aircraft (RPAS). Este concepto surgió para evitar la desconfianza de la población, la cual pensaba que éstos no estaban dirigidos por nadie.

4.3. Aplicaciones de los UAS

4.3.1 Aplicaciones militares

Las misiones típicas asignadas a las plataformas no tripuladas dentro del campo militar, son:

- Inteligencia de imágenes y señales
- Vigilancia y reconocimiento
- Adquisición de objetivos
- Soporte de artillería, relé de comunicaciones y guerra electrónica
- Misiones ofensivas
- Supresión de defensa aérea enemiga
- Apoyo aéreo cercano
- Bombarderos de precisión e iluminación de blancos en misiones de alto riesgo

4.3.2. Aplicaciones civiles

En el uso civil es donde los UAS han despuntado en los últimos años, y es donde se encuadra este proyecto. Dentro de la fotogrametría aérea el uso de este tipo de sensores para la adquisición de imágenes aéreas y captura de datos, se trata de un sistema más novedoso y en pleno auge que tendrá gran aceptación en pocos años.

Hasta el momento, han sido pocos los modelos que se han desarrollado para su uso en aplicaciones civiles. Es importante incidir en la trascendencia de los cometidos civiles de las aeronaves no tripuladas, y en el deficiente desarrollo de tales sistemas en labores que pueden ser muy importantes, fundamentalmente por su autonomía, uso de sistemas de detección en el espectro visible, infrarrojos (IR), radar, visión nocturna, etc.

Entre las principales aplicaciones en el ámbito civil nos encontramos:

- Control de tráfico e inspección de carreteras, vías y líneas de transporte en general
- Misiones de control policial, fronteras y/o terrorismo
- Topografía: fotografía aérea con realización de mapas y deslinde de fincas (uso catastral)
- Control de cosechas, agricultura y paisaje (uso de suelos)
- Investigación del entorno ecológico y meteorológico: cambio climático, catástrofes naturales y seguimiento
- Localización de accidentes en lugares de difícil acceso
- Gestión de crisis originadas por desastres naturales, como inundaciones o terremotos
- Seguimiento de movimientos migratorios, recuento de animales, plagas y detección de bancos de pesca
- Rápida detección de incendios y el seguimiento de su evolución
- Inspección de líneas eléctricas de alto voltaje
- Comunicaciones de telefonía móvil e internet

Dentro del ámbito de la Topografía, también cabe destacar su uso en Ingeniería Geomática para la generación de modelos digitales del terreno y ortofotos.

Una variante de los UAS son los Microdrones. Estos son más pequeños y permiten realizar con éxito muchas de las aplicaciones civiles que hemos nombrado anteriormente, como son la fotografía aérea y periodística, televisión, policía, servicios de seguridad, protección medioambiental, observación, exploración, comunicación, etc.



Ilustración 9. Microdrón RPA md4-1000 para uso civil

Vemos que los UAS son una herramienta de gran desarrollo que cada vez más complementa la toma de datos para numerosos y diferentes fines.

4.4. Clasificación de los UAS

A la hora de establecer una clasificación de los UAS es posible atender a diferentes criterios. Quizás, el más simple sea atendiendo a el tipo de aeronave del UAS. De acuerdo con esto pueden distinguirse a aquellas de despegue vertical de las que no lo son, estando dentro de las primeras las de ala rotativa o hélice, los de ala flexible y los auto sustentados. Dentro de los de despegue no vertical, se encuentran los de ala fija. En el siguiente esquema se muestran los diferentes tipos de aeronaves utilizados en los UAS.

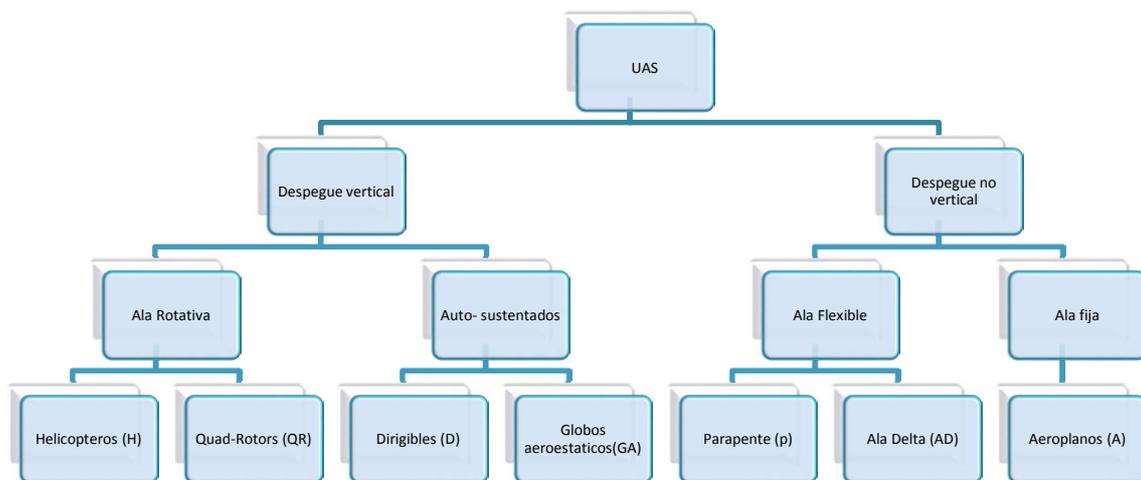


Fig. 1. Tipos de aeronaves utilizadas en los UAV

Las prestaciones y las aplicaciones varían mucho de un tipo de aeronave a otra, cubriendo cada uno de ellos el espectro de aplicabilidad diferente. A continuación, recogemos algunas de las características de las principales aeronaves utilizadas para UAS.

Característica	Helicópteros	Aeroplanos	Dirigibles	Quad-rotors
Capacidad de vuelo estacionario	XXX		XXXX	XXX
Velocidad de desplazamiento	XXX	XXXX	X	XX
Maniobrabilidad	XXX	X	X	XXXX
Autonomía de vuelo (tiempo)	XX	XXX	XXXX	X
Resistencia a perturbaciones externas (viento)	XX	XXXX	X	XX
Auto Estabilidad	X	XXX	XXXX	XX
Capacidad de vuelos verticales	XXXX	X	XX	XXXX
Capacidad en carga	XXX	XXXX	X	XX
Capacidad de vuelos en interiores	XX	X	XXX	XXXX
Techo de vuelo	XX	XXXX	XXX	X

Tabla 1. Características de los principales tipos de aeronaves para UAV

* Siendo **X**, **XX** las características que ofrecen menor prestación y **XXXX**, **XXX** las de mayor prestación en cada tipo de aeronave.

Una de las clasificaciones más importantes que se pueden realizar corresponde a las características de vuelo. Las categorías de vehículos aéreos no tripulados que se ven más afectadas por su integración en el espacio aéreo, son aquellas capaces de alcanzar altitudes de vuelo entre los 900 y 1800 metros. Dentro de este rango encontramos los UAS de Clase III que pertenecen a vehículos con autonomía alta y altitud media de vuelo (MALE), y a vehículos con autonomía alta y altitud de vuelo alta (HALE).

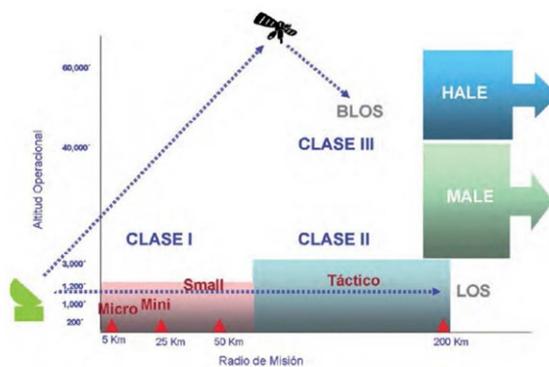


Ilustración 10. Características de vuelo de los UAV

En otras clasificaciones se habla de Corto Alcance (SR), Alcance cercano (CR), o Medio Alcance (MR) equivalentes a la Clase I (Micro, Mini o Pequeño). Estos UAS actúan por debajo de los 370 metros, como se observa en la **Tabla 2. Clasificación de los UAS según las características de vuelo.**

Los denominados Clase II o tácticos suelen operar con un techo de aproximadamente 900 metros y al límite de la línea de visión.

La siguiente tabla resume esta categorización y clasificación propuesta:

H: Helicóptero

A: Aeroplano

P: Parapente

Otros: Quad-rotors, dirigibles, globos aero-estáticos o ala delta

Categoría	Acrónimo	Alcance (km)	Altitud de vuelo (m)	Autonomía (h)	Carga máxima en despegue (Kg)	Tipo de aeronave
Micro	μ(micro)	< 10	250	1	< 5	H, A, OTROS
Mini	Mini	< 10	150 a 300	< 2	< 30	H, A, P
Alcance cercano	CR	10 A 30	3000	2 a 4	150	H, A, P
Alcance corto	SR	30 A 70	3000	3 a 6	200	A, OTROS
Alcance medio	MR	70 A 200	5000	6 a 10	1250	A, OTROS
Altitud baja Penetración profunda	LADP	>250	50 a 9000	0.5 a 1	350	A
Autonomía media	MRE	>500	8000	10 a 18	1250	A, H
Autonomía alta Altitud baja	LALE	>500	3000	>24	< 30	A
Autonomía alta Altitud media	MALE	>500	14000	24 a 48	1500	A, H
Autonomía alta Altitud alta	HALE	>2000	20000	24 a 48	12000	A
Combate	UCAV	Aprox. 1500	10000	Aprox. 2	10000	H, A
Ofensivo	LETH	300	4000	3 a 4	250	A
Señuelo	DEC	0 a 500	5000	< 4	250	A, H
Estratosférico	STRATO	>2000	Entre 20000 y 30000	>48	ND	A
Exo-estratosférico	EXO	ND	>30000	ND	ND	A

Tabla 2. Clasificación de los UAV según las características de vuelo

Hasta hace aproximadamente 15 años, el uso de estos aparatos era únicamente militar. Por ello, la clasificación de la tabla anterior corresponde tanto a uso militar como civil de los UAS.

La mayor parte de los UAS actuales se encuentran dentro de la categoría Mini y MR (alcance medio), siendo, el vehículo más frecuente utilizado con diferencia el aeroplano.



Ilustración 11. Avion ligero de observación de corto alcance (INTA)



Ilustración 12. Helicoptero S-100 de control remoto

Estos vehículos mucho más baratos que otros sistemas, permiten más independencia a las empresas, aunque también presentan algunos inconvenientes. Uno de ellos es el tiempo de autonomía de vuelo, que no es muy largo, así como que el peso que se le puede acoplar tiene un límite, y si excedemos ese límite el UAS no podrá volar.

En cada caso habrá que estudiar qué es lo que mejor se adapta a la hora de realizar nuestro trabajo y sopesar tanto las ventajas como los inconvenientes.

4.5. Integración de los UAS en el espacio aéreo

Los sistemas con plataforma aérea no tripulada ya sean de uso militar o de uso civil deben operar en muchos casos, en un espacio aéreo cuya estructura, gestión y control están diseñados para aeronaves tripuladas y que exige a todas las aeronaves que lo utilizan un alto grado de seguridad.

Gran parte de los UAS ya existentes o en desarrollo, sobre todo los denominados HALE, MALE o de largo alcance, están diseñados para operaciones o misiones que exigen una utilización amplia del espacio aéreo, ya sea el espacio de responsabilidad nacional o el espacio transnacional.

Hoy por hoy, estas aeronaves no tripuladas se ven obligadas a operar en espacios aéreos segregados o restringidos, utilizando pasillos abiertos temporalmente para el acceso a la zona de trabajo, en los que no se presenten conflictos con los vuelos tripulados. Esta es la situación actual, hasta que las autoridades aeronáuticas consideren que dichas aeronaves han alcanzado un “nivel de seguridad equivalente” al de la aviación convencional y no representan un riesgo adicional para el tráfico aéreo o los bienes en tierra, momento a partir del cual podrán operarse estas plataformas compartiendo el espacio aéreo con la aviación convencional.

La operación de estos UAS en modo rutinario, compartiendo el espacio con las aeronaves tripuladas es un objetivo a medio-largo plazo, pues las previsiones de los diferentes planes sobre integración la sitúan en el periodo de 2015-2020. El desarrollo de determinadas tecnologías debe alcanzar un alto grado de fiabilidad antes de formar parte integral de estos sistemas.

4.5.1. Iniciativas a la integración

Los estudios sobre la integración de los UAS en el espacio aéreo están siendo abordados desde hace años, por un gran número de organizaciones nacionales e internacionales de la Aviación Civil (EUROCONTROL, EASA, FAA, OACI) y Defensa (OTAN, EDA...), asistidos por empresas de estudios en el sector aeronáutico y por la industria.

Actualmente no existe un único organismo que lidere las iniciativas sobre la integración de los UAS, lo que está produciendo una gran dispersión de esfuerzos, de modo que se desarrollan estudios paralelos en función del organismo que lo promueve, o bien se desarrollan soluciones nacionales transitorias en tanto no se consoliden los criterios y la soluciones aportadas por los diferentes grupos de trabajo.

En determinados aspectos los Estados Unidos y Europa siguen procesos independientes, al menos en la metodología para abordar algunos temas sobre integración, aunque en determinadas aéreas han acordado especificaciones.

4.6. Sistemas aéreos no tripulados en España

En España, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) es la entidad responsable de controlar que el uso de aeronaves tripuladas por control remoto se realiza en el ámbito de la ley y la seguridad.

4.6.1. El uso profesional de UAS/ drones para trabajos aéreos

En España no está permitido el uso de UAS para aplicaciones civiles. Y nunca lo ha estado con fines comerciales o profesionales, para realizar actividades consideradas trabajos aéreos, como la fotogrametría, agricultura inteligente, reportajes gráficos de todo tipo, inspección de líneas de alta tensión, ferroviarias, vigilancia de fronteras, etc.

La realización de trabajos especializados, requieren de autorización por parte de AESA, y hasta que no se apruebe la nueva normativa específica que regule el uso de este tipo de aparatos, AESA no puede emitir autorizaciones porque carece de base legal para ello.

España cuenta con numerosas empresas que han sido capaces de realizar una importante expansión internacional y de integrarse en consorcios y proyectos europeos.

El Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) es el pionero en España en el campo de los UAS, principalmente a través de su UAS táctico pesado "Sistema Integral de Vigilancia Aérea" (SIVA).

Además destacan programas como el Atlante y el Talarion:

- El Atlante (Avión Táctico de Largo Alcance No Tripulado Español) es el sistema táctico pesado para misiones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento diurnas y nocturnas desarrollado por EADS que, por ahora, está siendo financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y en el que participan otras empresas como subcontratistas.
- El Talarion es un proyecto impulsado por los gobiernos de España, Francia y Alemania. Se trata de un UAS de largo alcance y alta velocidad que tiene como principal ventaja que puede volar en el espacio aéreo europeo sin restricciones.

4.6.2. Nueva ley sobre el uso de drones en España

El pasado viernes 4 de julio, el Consejo de Ministros dio luz verde en Madrid a la nueva ley temporal que regulará el uso de drones para toda España. Dicha normativa trata de controlar el uso las operaciones de carácter comercial y civil con aeronaves pilotadas por control remoto, popularmente conocidos como drones (RPAS), cuyo peso no supere los 150 kg.

En el documento oficial del Estado quedan reflejadas las condiciones en las que se puede realizar trabajos técnicos y científicos, tales como grabación aérea, reportajes aéreos, fotografía aérea, estudios de fotogrametría, vigilancia y monitoreo y revisión de infraestructuras entre otros.

Gran parte de este nuevo decreto de ley temporal, se basa en 4 puntos clave que toda empresa que desee operar con drones deberá contemplar y seguir:

- Tipo de Drone
- Espacio aéreo
- Seguridad
- Carnet de piloto de Drone

Tipo de Drone:

Se establecen dos categorías iniciales: Drones con peso inferior a 2Kg. y drones con peso entre los 2Kg. y 25Kg. Para ambos es imprescindible disponer de un carnet de piloto de drones para poder operar en España.

En caso de los drones de peso inferior a 2kg, no será necesario que estén inscritos en el registro de aeronaves ni disponer de un certificado de aeronavegabilidad.

Para ambos tipos de drone, será necesario incluir obligatoriamente una placa identificativa con el nombre del fabricante del aparato así como los datos fiscales de la empresa que lleve a cabo dichas operaciones.

Espacio aéreo:

El espacio aéreo pertenece a AESA, y como tal, para poder realizar cualquier tipo de actividad comercial o civil con un dron, se deberá obtener un permiso oficial, como mínimo 5 días antes de llevar a cabo cualquier operación en el aire.

Esta nueva legislación sigue manteniendo la prohibición de sobrevolar núcleos urbanos o espacios con una alta masificación de gente sin el consentimiento especial por parte de la Agencia Española de Seguridad Aérea.

Seguridad:

El pilar fundamental en el que se ha basado el Ministerio para la realización de la normativa de uso de drones civiles en España es la seguridad. Por ello cada empresa deberá disponer de un manual de operaciones cumplimentado siguiendo el estándar proporcionado por el Ministerio, así como un estudio de seguridad de cada una de las operaciones a realizar. Es decir, si alguien piensa en hacer volar un dron al margen de la ley, ya sea con un peso inferior a 2kg, o entre 2kg y 25kg, se expone a sanciones que van entre 3.000€ a 60.000€.

Carnet de piloto de Drones en España:

Para que las empresas puedan operar legalmente, como lo hace Dronair, los pilotos designados deberán disponer de un carnet oficial para el manejo de drones. Si estos pilotos ya disponen de un título de piloto de avión, ultraligero u otro específico, no será necesario obtener dicha titulación. En caso contrario deberán cursar una serie de exámenes y pruebas oficiales para obtener el carnet oficial de piloto de drones.

A día de hoy, no existen academias oficiales bajo la tutela del Gobierno que realicen estos cursos, por eso y mientras se empiezan a impartir estos cursos, será obligatorio demostrar que se dispone de los conocimientos teóricos y algún tipo de carnet oficial o documento que acredite a los pilotos en el manejo de drones para poder llevar a cabo cualquier operación.

Esta normativa temporal sobre drones en España considera los diferentes marcos en los que se podrán realizar los distintos trabajos aéreos y en función del peso de la aeronave. Además, el texto aprobado se completa con el régimen general de la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea, y no sólo marca las pautas de operación con este tipo de aeronaves, sino también otro tipo de obligaciones.

Para la realización de este proyecto se ejecutaron los vuelos dentro de la legalidad vigente, ya que en ese momento la utilización de drones se encontraba dentro de un marco de alegalidad, en el que no había ninguna ley que regulara su utilización.

4.6.3. Desarrollo de los UAS en España

Existen numerosas razones para desarrollar el negocio de los UAS en España, entre ellas podemos destacar:

- La construcción del Centro de Vuelos Experimentales Atlas en Villacarrillo (Jaén), que es la primera instalación en España dedicada a experimentar con tecnologías y sistemas de aviones no tripulados, con objeto de servir como trampolín de la tecnología en España.
- Existen en España numerosas empresas y universidades trabajando en este campo e industrias que fabrican elementos para estos vehículos a escala internacional, por lo que cuenta con infraestructura y personal técnico suficiente para albergar cualquier desarrollo de fabricación y operación de UAS.
- Los sistemas aéreos no tripulados tienen una utilidad potencial para varios organismos del Ministerio del Interior como la Dirección General de Tráfico o las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado.
- Potenciales usos de estos sistemas en España son los campos de: agricultura, gestión de agua y acuíferos, medioambiente, vertidos, urbanismo y catastro, vigilancia de fronteras, lucha contra el fuego, gestión de tráfico terrestre, etc.

5. Desarrollo del trabajo de campo e instrumental

5.1. Instrumental

5.1.1. Equipo GNSS Trimble R8

El equipo GNSS estuvo formado por un receptor R8 de Trimble cuyas características fundamentales son:

- Rastreo avanzado de satélites con la tecnología del receptor Trimble 360.
- Incorpora chips Trimble Maxwell 6 con 440 canales.
- Funcionamiento para el rastreo GNSS.
- Interfaz de usuario web y configuración remota.
- Opciones de comunicación base y móvil que se adaptan a cualquier aplicación.
- Correlacionador múltiple de alta precisión para mediciones de pseudodistancia.
- Medidas de pseudodistancias brutas, sin filtrar ni suavizar, que generan resultados con poco “ruido”, error por trayectoria múltiple bajo, correlación total muy rápida y alta respuesta dinámica.
- Medidas de fase de portadora GNSS de muy bajo nivel de ruido y una precisión de < 1 mm en un ancho de banda de 1 Hz.
- Relación Señal- Ruido en dB-Hz.
- Señales de satélite que se rastrean simultáneamente:
 - GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5
 - GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3
 - SBAS: L1C/A, L5 (para satélites SBAS compatibles con L5)
 - Galileo: E1, E5A, E5B
 - BeiDou (COMPASS): B1, B2, B3
- SBAS: QZSS, WAAS, EGNOS, GAGAN
- Velocidad de posicionamiento: 1 Hz, 2Hz, 5Hz, 10Hz y 20Hz

La tecnología Trimble 360 incorporada en el receptor Trimble R8, soporta señales de todas las constelaciones de satélites GNSS existentes y planeadas y de los sistemas de ampliación basados en satélites proporcionando un gran rendimiento de rastreo GNSS. Se puede ampliar el alcance de los receptores móviles GNSS y hacer un seguimiento en zonas en las que antes había mucha sombra, es decir zonas con espesa cobertura vegetal y en densas áreas urbanas.

Se puede conectar directamente al controlador, recibe correcciones de Red RTK y se conecta a Internet a través de completas opciones de comunicación.

El receptor R8 incluye una radio UHF transmisora/receptora incorporada, que permite una gran flexibilidad para el funcionamiento como móvil o base. Como estación base, el NTRIP caster interno proporciona acceso personalizado a las correcciones de la estación base a través de Internet.

La tecnología Web de Trimble elimina los requisitos de desplazamiento para el control rutinario de los receptores de la estación base. Se puede evaluar la condición y el estado de los receptores base y realizar configuraciones remotas desde la oficina.

Dispone de una memoria interna de 56 Mb lo que equivale a 960 horas de observables brutos, en función del registro de datos de 14 satélites en intervalos de 15 segundos.

Este tipo de receptores tienen una entrada de alimentación externa de 11 a 28 V CC con protección contra sobretensión en el puerto (cable Lemo de 7 pines) y una batería de ion litio de 7,4 V y 2,6 Ah recargable y desmontable. La duración de este tipo de baterías es de aproximadamente 5 horas.

En funcionamiento, las antenas receptoras R8 pueden trabajar bajo temperaturas comprendidas entre -40°C y +65°C, mientras que la temperatura de almacenamiento que soportan está comprendida entre los -40°C y +75°C.

Las precisiones que pueden obtenerse son:

RENDIMIENTO DE POSICIONAMIENTO Posicionamiento GNSS de código diferencial	
Horizontal	0,25 m + 1 ppm RMS
Vertical	0,50 m + 1 ppm RMS
Precisión de posicionamiento SBAS diferencial típico	<5 m 3 DRMS

MEDICION ESTATICA GNSS	
Estática de alta precisión	
Horizontal	3 mm + 1 ppm RMS
Vertical	3,5 mm + 1 ppm RMS
Estática y Estática rápida	
Horizontal	3mm + 1 ppm RMS
Vertical	5mm + 1 ppm RMS

MEDICION GNSS CINEMATICA CON POSTPROCESO (PPK)	
Horizontal	8 mm +1 ppm RMS
Vertical	15 mm + 1 ppm RMS

MEDICION CINEMATICA EN TIEMPO REAL Línea base individual <30 km	
Horizontal	8 mm +1 ppm RMS
Vertical	15 mm + 1 ppm RMS
Tiempo de inicialización	<8 segundos
Confiabilidad de inicialización	99,9%

Tabla 3. Características instrumentales en diferentes mediciones

Estos equipos pueden ser controlados a distancia mediante los controladores Trimble TSC3, Trimble CU y Robusta PC Trimble Tablet.

La comunicación y almacenamiento de datos tiene las siguientes características:

- Serial: Trifilar serial (Lemo de 7 pines) en el Puerto1; Serial RS-232 completo en el Puerto 2 (Dsub de 9 pines)
- Módem de radio: Opción de radio receptora/transmisora de 450 MHz, totalmente integrada y sellada:
 - Potencia de transmisión: 0,5 W
 - Alcance: 3–5 km típico / 10 km óptimo
- Celular: Opción GSM/GPRS totalmente integrada y sellada
- Bluetooth: Puerto de comunicaciones de 2,4 GHz totalmente integrado y sellado
- Dispositivos de comunicación externos para correcciones soportadas en los puertos serie y Bluetooth
- Almacenamiento de datos: Memoria interna de 56 MB, 960 horas de observables brutos (aprox. 1,4 MB /día), en función del registro de datos de 14 satélites en intervalos de 15 segundos



Ilustración 15. Receptor Trimble R8

5.1.2. Equipo GNSS Trimble R10

El equipo GNSS estuvo formado por un receptor Trimble R10 cuyas principales características son:

- Mide puntos en entornos difíciles en menos tiempo y con más rapidez gracias a la tecnología Trimble HD-GNSS
- Mejora el rastreo de mediciones con el sistema de detección de plomada electrónica
- Reduce el tiempo de inactividad causado por la pérdida de señales de radio con la tecnología xFill
- Avanzados chips Trimble Maxwell 6 GNSS topográficos personalizados con 440 canales
- Asegura la inversión futura a largo plazo con el rastreo Trimble 360 GNSS
- Las señales de satélites se rastrean simultáneamente:
 - GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5
 - GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3
 - SBAS: L1C/A, L5 (para satélites SBAS compatibles con L5)
 - Galileo: GIOVE-A y GIOVE-B, E1, E5a, E5B
 - COMPASS: B1, B2, B3
- Posicionamiento OmniSTAR HP, XP, G2, VBS
- QZSS, WAAS, MSAS, EGNOS, GAGAN
- Velocidad de posicionamiento: 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz y 20 Hz

El Trimble R10 lleva integrado el motor de procesamiento avanzado Trimble HD-GNSS. Esta tecnología ofrece una evaluación más precisa de las estimaciones de los errores que la tecnología GNSS tradicional, especialmente en entornos difíciles.

La tecnología Trimble SurePoint incorporada en el sistema Trimble R10 proporciona medidas más rápidas, mayor precisión y un mayor control de calidad.

El sistema Trimble R10 usa una burbuja electrónica que aparece en la pantalla del controlador de Trimble. Con esta nueva burbuja electrónica, toda la información de medición se muestra en un solo lugar por lo que los usuarios no necesitan dejar de mirar la pantalla del controlador para verificar la verticalidad del jalón.

Para garantizar la trazabilidad de todos los datos, el Trimble R10 puede registrar información de inclinación del jalón de los puntos medidos. Estos registros contienen el ángulo de inclinación del jalón y la distancia en el terreno que representa ese ángulo.

Dispone de una memoria interna de 4 GB, lo que supone más de tres años de observables brutos, en función del registro de datos de 14 satélites a intervalos de 15 segundos.

Tiene una entrada de alimentación externa de 11 a 24 V CC con protección contra sobretensión de puertos (cable Lemo de 7 pines), y una batería inteligente de ion litio de 7,4 V y 3,7 Ah recargable y desmontable con indicadores de estado LED. Su duración es aproximadamente de 4,5 a 5,5 horas.

En funcionamiento, las antenas receptoras R8 pueden trabajar bajo temperaturas comprendidas entre -40°C y +65°C, mientras que la temperatura de almacenamiento que soportan está comprendida entre los -40°C y +75°C.

Las precisiones que pueden obtenerse son:

RENDIMIENTO DE POSICIONAMIENTO Posicionamiento GNSS de código diferencial	
Horizontal	0,25 m + 1 ppm RMS
Vertical	0,50 m + 1 ppm RMS
Precisión de posicionamiento SBAS diferencial típico	<5 m 3 DRMS

MEDICION ESTATICA GNSS	
Estática de alta precisión	
Horizontal	3 mm + 0,1 ppm RMS
Vertical	3,5 mm + 0,4 ppm RMS
Estática y Estática rápida	
Horizontal	3mm + 0,5 ppm RMS
Vertical	5mm + 0,5 ppm RMS

MEDICION GNSS CINEMATICA CON POSTPROCESO (PPK)	
Horizontal	8 mm +1 ppm RMS
Vertical	15 mm + 1 ppm RMS

MEDICION CINEMATICA EN TIEMPO REAL Línea base individual <30 km	
Horizontal	8 mm +0,5 ppm RMS
Vertical	15 mm + 0,5 ppm RMS
Tiempo de inicialización	2 a 8 segundos
Confiabilidad de inicialización	99,9%

Tabla 4. Características instrumentales en diferentes mediciones

La comunicación y almacenamiento de datos tienen las siguientes características:

- En serie: Trifilar en serie (Lemo de 7 pines)
- USB: compatible con la descarga de datos y las comunicaciones de alta velocidad
- Módem de radio: receptor/transmisor de banda ancha de 450 MHz, sellado, totalmente integrado, con un rango de frecuencia de 410 MHz a 470 MHz:
 - Potencia de Tx: 2 W
 - Alcance: 3–5 km típico / 10 km óptimo
- Celular: módem integrado, 3.5 G, HSDPA 7.2 Mbps (descarga), GPRS ranura múltiple clase 12, EDGE ranura múltiple clase 12, UMTS/HSDPA (WCDMA/FDD) 850/1900/2100MHz, Quad-band EGSM 850/900/1800/1900 MHz, GSM CSD, 3GPP LTE
- Bluetooth: puerto de comunicaciones de 2,4 GHz totalmente integrado y sellado
- WiFi: 802.11 b,g, punto de acceso y modo cliente, encriptación WEP64/WEP128
- Dispositivos de comunicación externos para correcciones soportadas en los puertos serie, USB, Ethernet, y Bluetooth

- Almacenamiento de datos: Memoria interna de 4 GB; más de tres años de observables brutos (aprox. 1,4 MB /día), en función del registro de datos de 14 satélites a intervalos de 15 segundos
- Entrada y salida CMR+, CMRx, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1
- 24 salidas NMEA, salidas GSOF, RT17 y RT27



Ilustración 16. Equipo GNSS Trimble. Receptor R10 y controladora TSC3

5.1.3. Vehículo aéreo no tripulado de ala fija UX5

Diseñado por la empresa Trimble, el UX5 es un producto revolucionario, con formato de pequeño avión, ideal para el uso en topografía, cartografía, minería, industria de petróleo y gas, obras civiles, aplicaciones medioambientales, agencias estatales, agricultura, aplicación forestal, control de progreso de obra, cálculo de volúmenes, análisis de desastres y construcciones, entre otras aplicaciones.

Las características a destacar de este avión son:

- Adquisición de imágenes de alta calidad y precisión
- Puede utilizarse todo tipo de terreno y climas adversos
- Empuje de reserva para aterrizajes precisos en espacios confinados
- Preparado para uso intensivo. Solución duradera y confiable
- Flujos de trabajo de Trimble Acess completamente automatizados que facilitan el uso y permiten la operación segura
- Procesamiento de datos simple con el módulo de fotogrametría de Trimble Business Center



Ilustración 17. UAV de ala fija UX5 de Trimble. Imagen propia

5.1.3.1. Estructura y piezas del UX5

Su estructura base consiste en un esqueleto de carbono situado en el interior del cuerpo de polipropileno expandido. El esqueleto garantiza firmeza y rigidez, mientras que el cuerpo-espuma tiene gran resistencia a la presión y sin “efecto memoria”, lo que significa que recupera su forma original después del impacto. El foam exterior protege la electrónica interna sobre el impacto y reduce la probabilidad de cualquier daño en caso de un incidente. Estas características hacen que tenga una esperanza de vida más larga que la de otros aviones similares y que pueda ser usado para un uso intensivo.

Las piezas utilizadas en el montaje del motor, la caja para electrónica de vuelo (llamada eBox) y los servos, están todos ellos hechos de plástico resistente al impacto. Las piezas de fibra, compuesto de parte de los alerones y las partes móviles y fijas para el borde las alas, son ligeras y tienen una estructura interna matriz que absorbe energía. Las aletas verticales están hechas de un material compuesto que permite su flexión en una dirección para absorber la energía durante los aterrizajes más duros. La placa de vientre del UX5 está especialmente diseñada para absorber la energía del impacto durante el aterrizaje, así como reducir la abrasión que pueda causar el aterrizaje en un terreno áspero como rocas o asfalto.

El mantenimiento del Trimble UX5 es sencillo debido a su resistente estructura y absorción de energía. Ofrece un diseño fácil de usar, con piezas reemplazables como servos, alerones verticales y hélices. La durabilidad con bajo nivel de costos y operaciones de mantenimiento lo convierten en un sistema muy favorable para uso diario o semanal.

Vista superior

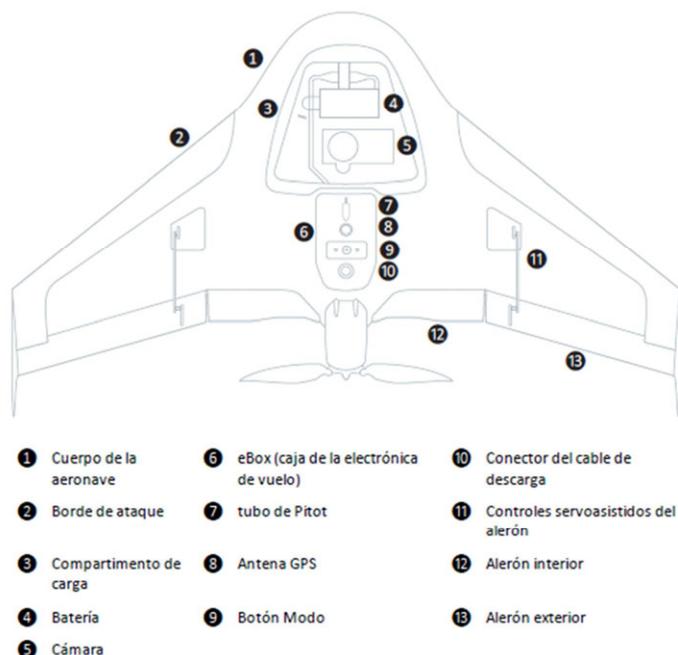


Ilustración 5.Vista superior UX5

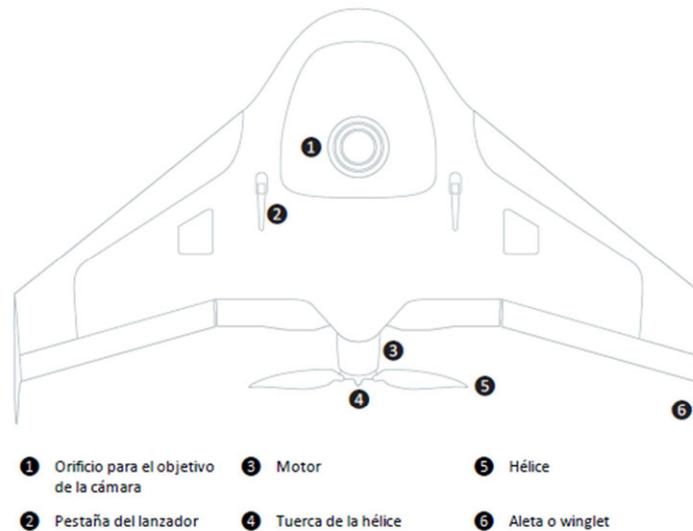
Vista inferior

Ilustración 6.Vista inferior UX5

- **UX5 eBox**

Se trata de un autopilot para navegación del avión, posee un GPS L1 como sensor de posición. Está compuesto por 3 giroscopios como sensores para definir la orientación y 3 acelerómetros para medir la aceleración. Tiene un radio modem para comunicación con la estación terrestre. Cuenta con dos sensores, de presión dinámica que mide su velocidad en el aire y sensor de presión estática para medir su elevación durante el vuelo.

- **Tubo de pitot**

Es un tubo hueco de sección circular de pequeño diámetro, cuyo eje se alinea con la dirección de la velocidad del flujo en el punto de medida. Se conecta a un transductor de presión de tal forma que mide la presión total también denominada presión de estancamiento (suma de presión estática y dinámica).

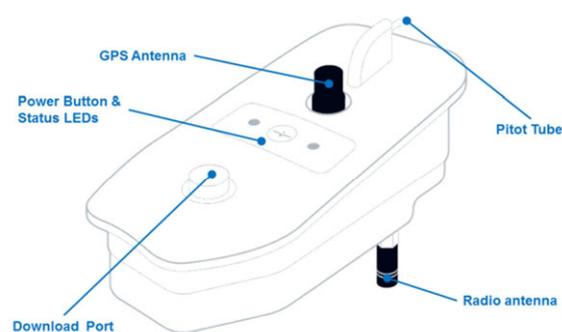


Ilustración 7.eBox del UX5

5.1.3.2. Especificaciones de funcionamiento

- Maximiza el tamaño de la imagen sin comprometer la resolución. Esto se logra con las lentes de Angulo amplio y un sensor del tipo APSC.
- Maximiza la cobertura por vuelo y por hora gracias al mayor tamaño de la imagen, la posibilidad de realizar giros cerrados y la alta velocidad de crucero.
- Usa tecnología de empuje de reversa para los circuitos de aterrizajes cortos y pronunciados.
- Cuenta con un potente sistema de propulsión para vuelos pronunciados y a alta altitud.
- Excelente duración de la estructura gracias a la robustez de las alas y la facilidad de su mantenimiento.
- Los procedimientos automáticos del software de campo Trimble Access permiten configurar el aparato en poco tiempo.
- Verificaciones automáticas y procedimientos de seguridad que garantizan una operación segura.
- Solo hay que presionar un botón para exportar los datos a Trimble Business Center y crear los productos finales.
- Se consigue una precisión de datos óptima procesándolos con Trimble Business Center.

5.1.3.3. Hardware

TIPO	Ala fija
PESO	2,5 kg
ENVERGADURA	1 m
SUPERFICIE ALAR	34 dm ²
DIMENSIONES	100cm X 65 cm X 10,5 cm
MATERIAL	Estructura de polipropileno; estructura de fibra de carbono; materiales compuestos
PROPULSIÓN	Hélice eléctrica inversa; motor sin escobillas de 700 W
BATERÍA	14,8 V, 6000 mAh
CÁMARA	16,1 MP, sin espejos, sensor ASPC, con objetivos personalizados de 15 mm
CONTROLADOR	Robusta Trimble Tablet PC

Tabla 5. Características del UX5

5.1.3.4. Software

Módulo de adquisición de imágenes aéreas de Trimble Access

- Administración de proyectos
- Planificación de misiones con opción de vuelos múltiples
- Comprobación automatizada previa al vuelo
- Despegue, vuelo y aterrizaje automático
- Disparo de cámara autónomo
- Rutinas de seguridad automáticas
- Comandos de seguridad controlados por el usuario
- Verificación automática de la coherencia de los datos
- Exportación a Trimble Business Center y un formato genérico para el procesamiento de imágenes

5.1.3.5. Operación

Autonomía	50 minutos
Alcance	60 km
Velocidad de crucero	80 km/h
Techo de vuelo máximo	5000 m
Tiempo de configuración del sistema previo al vuelo	5 minutos
Despegue	Catapulta de lanzamiento, Angulo de 30º
Aterrizaje	De vientre, Angulo 14º
Espacio de aterrizaje (L x A)³	Típico 20 m x 6 m, recomendado 50 m x 30 m
Limite climático	65 km/h y lluvia ligera
Comunicaciones y frecuencia de control	2,4 GHz
Comunicaciones y distancia de control	Hasta 5 km

Tabla 6. Operación de vuelo UX5

5.1.3.6. Rendimiento de la adquisición

La resolución del GSD es de 2,4 cm a 24 cm en función de la altura de vuelo que está comprendida entre los 75 y los 750 metros.

Altura	GSD	Cobertura/ vuelo (km ²)			Cobertura/ día (km ²)		
		70%	80%	90%	70%	80%	90%
75 m	2.4 cm	1.1	0.8	0.4	6.85	4.5	2.3
100 m	3.2 cm	1.8	1.2	0.6	10.8	7.2	3.6
150 m	4.8 cm	3.1	2.1	1.0	18.7	12.5	6.2
200 m	6.4 cm	4.4	3.0	1.5	26.6	17.8	8.9
250 m	8 cm	5.8	3.8	1.9	34.6	23.1	11.5
300 m	9.6 cm	7.1	4.7	2.4	42.5	28.3	14.2
400 m	12.8 cm	9.7	6.4	3.2	58.0	38.7	19.3
500 m	16 cm	12.4	8.2	4.1	74.2	49.5	24.7
750 m	24 cm	19.0	12.7	6.3	113.9	75.9	38.0

Tabla 7. Tabla área de cobertura

5.1.3 Cámara Sony NEX-5R

La calidad de los productos finales depende de la calidad del equipo fotogramétrico utilizado. En este caso, la cámara seleccionada para el UAV UX5 es una cámara sin espejo de Sony debido a su sensor de gran tamaño APS-C (CMOS) que cuenta con una resolución de 16,1 Megapíxeles.

El tamaño del pixel cobra gran importancia ya que permite un fuerte aumento de la sensibilidad de la luz, rango dinámico y relación señal-ruido lo que reduce drásticamente el ruido incluso en valores altos del ISO (Sensibilidad, capacidad que tiene el sensor de la cámara para captar luz). Permite utilizar una velocidad de obturación fija y una ISO ajustada que oscila entre los 100 y los 3200, produciendo imágenes nítidas y ricas en contraste con un brillo constante, incluso en condiciones de luz adversas y cambiantes, así como en zonas de sombra.

La siguiente tabla muestra las configuraciones del objetivo adecuadas para diferentes condiciones climáticas:

Clima	Soleado	Nubes y claros	Nublado
ISO	Auto	Auto	Auto
Anillo de apertura	f/4,5	f/4,5	f/4,5
Velocidad del obturador	1/2000 a 1/4000	1/1000 a 1/2000	1/1600 a 1/2000

Tabla 8. Configuraciones del objetivo

La cámara está configurada por el fabricante de tal forma que cada vez que se realiza un vuelo no es necesaria una calibración previa de la misma.

El objetivo externo inherente ofrece una geometría interna más estable que resulta en una calibración de la cámara más fiable que de la de un objetivo retráctil. Para el UX5 el objetivo elegido ha sido un objetivo ligero Voigtländer de 15 mm de longitud focal con enfoque mecánico y anillo de apertura. Para aumentar la estabilidad de la geometría interna, la casa Trimble diseñó un adaptador personalizado para reemplazar la cámara estándar y montajes del objetivo, que permite movimientos de rotación del punto principal, por un adaptador montado con un tornillo de dos partes.

Además, el objetivo está equipado con un tornillo de bloqueo que fija el enfoque en la posición recomendada por el fabricante. Esta posición se fija mediante un colimador durante la producción, garantizando no sólo imágenes nítidas a cualquier altura de vuelo dentro del rango recomendado (75 a 5000 m), sino también una longitud focal más estable a lo largo de todos los proyectos. La mejora de la estabilidad de la cámara se traduce directamente en una mayor precisión de los productos finales.

Montado en la parte frontal del sensor APS-C, la longitud focal expresada como 35 mm, que equivale a 22.5 mm en la cámara del UX5 lo que genera un amplio campo de visión. Esto significa que, a una altura de vuelo de 150 m, el Trimble UX5 produce una huella de imagen de 235 m por 157 m, que es un 40% más grande que otros UAV. La combinación de este campo de visión con el aumento de la velocidad de obturación genera un mayor tamaño de superposición de las imágenes que otros sistemas, lo que resulta en una mayor precisión del DSM que se genera a partir de las fotos. La combinación de estos avances fotogramétricos significa que el UX5 puede cubrir 50-75% más de área por hora de vuelo en comparación a otros UAS. Esto se traduce en una mayor eficiencia en el trabajo, así como en una reducción de los costes operativos.



Ilustración 18. Cámara Sony NEX-5R

5.2. Toma de datos GNSS

La toma de datos se planificó en las siguientes etapas:

- Levantamiento de zonas de control por técnicas GNSS.
- Determinación y observación de los puntos de control necesarios para el vuelo.
- Realización del vuelo: adquisición de las imágenes.

5.2.1. Introducción a la toma de datos

La toma de datos topográficos consistió por una parte en la medición de las zonas de control necesarias para realizar el levantamiento taquimétrico, y por otra, en la obtención de las coordenadas de los puntos de apoyo sobre el terreno necesarios para realizar la aerotriangulación identificando en las fotografías dichos puntos. Los puntos deberán tener posición planimetría y altimétrica para poder hacer el modelo digital del terreno.

Para las zonas de control medidas en el levantamiento se empleó un receptor Trimble R8 GNSS con estaciones permanentes VRS Now. El método de observación utilizado fue RTK obteniendo las coordenadas en el sistema de coordenadas ETRS89.

Para la obtención de los puntos identificados posteriormente en las fotografías, se colocaron 10 lonas que se tomaron como puntos de apoyo y 8 lonas más pequeñas que sirvieron como puntos de control. Tanto los puntos de apoyo como los de control fueron medidos utilizando un receptor R10 GNSS con estaciones permanentes y el método de observación empleado fue RTK. Las coordenadas obtenidas correspondieron al sistema de coordenadas ETRS89.

5.2.1.1. Método Trimble VRS Now

La cobertura de Trimble VRS Now es limitada. Como podemos observar en la imagen inferior, se pueden operar en países como Alemania, Bélgica, Suecia, Holanda, Gran Bretaña, algunos estados de Estados Unidos...

De momento, en España solo se puede operar en la Comunidad de Madrid.

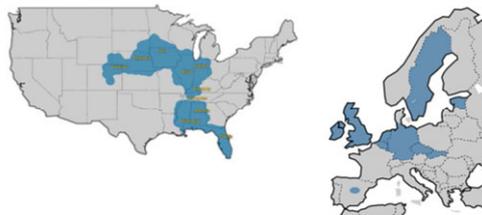


Ilustración 13. Mapa con los lugares donde se puede operar con VRS Now

En España existen numerosas redes a nivel regional y nacional operadas por organismos, instituciones públicas o por empresas privadas, y la mayoría de ellas ofrecen servicios de posicionamiento en tiempo real mediante la transmisión de datos RTK y la provisión de datos para aplicaciones en postproceso.

La red VRS Now de la Comunidad de Madrid está formada por 8 estaciones de referencia GNSS desplegadas de forma homogénea formando triángulos equiláteros de entre 60 y 70 kilómetros de longitud. Adicionalmente esta red está complementada con la estación YEBE del instituto Geográfico Nacional (IGN) para actuar como control, y las estaciones RIAZ Y SGVA del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL) situadas al norte de la Comunidad de Madrid que permiten aumentar la seguridad del sistema en la zona norte de la red.



Ilustración 14. Distribución de estaciones en la Comunidad de Madrid

Éste es un servicio de suscripción que proporciona acceso instantáneo a RTK (correcciones cinemáticas en tiempo real), que fue proporcionado por la empresa que cedió los aparatos utilizados en la realización de este proyecto.

El proceso de creación de redes asegura la mejor calidad, independientes de la localización de datos de corrección. Las estaciones de referencia individuales son seguras y se mantienen profesionalmente. Esto asegura un rendimiento fiable y calidad en los datos.

Proporciona servicio a los abonados, utilizando una red de estaciones de referencia, que cubre aproximadamente 28.900 kilómetros cuadrados en toda el área metropolitana de Madrid. Los usuarios se conectan al sistema mediante una conexión inalámbrica; el software reconoce a los usuarios posiciones de campo y proporciona un flujo de datos de corrección que permiten precisión centimétrica en toda la red. Se aplican modelos de alta precisión para reducir significativamente las perturbaciones atmosféricas.

Representa un avance importante en la productividad de la topografía de precisión. Ya no depende de una estación base de campo, GNSS de precisión los levantamientos pueden estar en funcionamiento en cuestión de minutos y sin la necesidad de base. Solo necesitaremos una suscripción a Trimble VRS Now, un GNSS y teléfono móvil si el receptor no tiene conexión a internet. Las correcciones estarán disponibles en cuestión de segundos.

Este sistema ha empezado a transmitir en tiempo real los valores de ondulación del geoide del nuevo modelo publicado por el Instituto Geográfico Nacional, en primer lugar empezó a transmitir en pruebas la ondulación del geoide del modelo IGG2005. Tras los resultados satisfactorios de dichas pruebas y la publicación del nuevo modelo de geoide EGM2008 por parte del Instituto Geográfico Nacional, el servicio está transmitiendo los nuevos valores de ondulación del geoide desde el 1 de octubre de 2009. De esta forma los usuarios del VRS Now pueden aplicar directamente en sus observaciones de campo la ondulación del geoide transmitida por el servicio, obteniendo directamente en campo los valores de cota ortométrica.

5.2.2. Obtención de datos GNSS

Las mediciones se realizaron con el GNSS R8 mediante VRS Now de Trimble. Para su realización seguimos los siguientes pasos.

5.2.2.1. Instalación del equipo para un levantamiento en 'tiempo real'

Para instalar el receptor móvil en RTK utilizando el GNSS Trimble R8 tuvimos que:

- Colocar las baterías cargadas en el receptor GNSS
- La controladora TSC2 debía estar completamente cargada antes de empezar con el trabajo
- Colocar el Trimble R8 en un jalón
- Encender el receptor y la controladora

5.2.2.2. Inicio de levantamiento móvil

Una vez encendido lo primero que tuvimos que comprobar es que la controladora tenía acceso a internet puesto que a través de la red móvil recibía las correcciones para medir mediante RTK VRS Now.

Definimos el sistema y zona de coordenadas, en nuestro caso UTM 30 Norte y Datum ETRS89. Se realizó el levantamiento móvil sin modelo geoidal.

Al iniciar el levantamiento y conectarse al VRS Now se mandan coordenadas autónomas a la red mediante el receptor GNSS R8, con esas coordenadas la red emula una base virtual en la zona y es ahí desde donde se empiezan a mandar las correcciones para la zona en la que se está situado. De esta forma se considera que el error debido a la distancia de la estación de la base es nulo porque la base se sitúa virtualmente en la zona de medición.

5.2.2.3. Iniciar el receptor móvil para un levantamiento en RTK

Seleccionamos “Iniciar levantamiento”

- Nos tuvimos que asegurar que el móvil estaba recibiendo correcciones de las bases del VRS Now
- Para un levantamiento RTK, inicializamos antes de iniciar el levantamiento de orden centimétrico. Al estar usando un receptor de doble frecuencia con la opción OTF, el levantamiento automáticamente comenzó a inicializarse usando el método de inicialización OTF.
- Una vez realizado esto pudimos realizar las mediciones.

Para un levantamiento RTK, inicializamos antes de iniciar levantamiento.

Durante los periodos en los que no se recibieron correcciones de la base nos apareció un mensaje en el que nos indicaba que el enlace de radio era malo.

Solo se debe confiar en la inicialización OTF, automática, si se está seguro de que el receptor observa por lo menos cinco satélites sin interrupción durante los siguientes 15 min. De lo contrario se debe seleccionar “Inicialización” en el menú levantamiento.

Cuando volvimos a recibir las correcciones, nos aparecieron dos mensajes según el modo de inicialización del levantamiento RTK, RTK Fijo o RTK Flotante. El mensaje RTK Fijo aparece si el número de satélites está por encima de cuatro durante el levantamiento.

Si se desea parar la toma de datos del levantamiento se tendrá que seleccionar “parar el relleno” y para reanudarlo se deberá seleccionar “iniciar relleno” y reanudar las mediciones en tiempo real.

Cuando ya se ha medido todos los puntos necesarios finalizaremos levantamiento en el menú levantamiento, apagaremos el controlador y posteriormente desconectamos el equipo.

5.3. Toma de datos UX5

La toma de las fotografías de la zona requiere una planificación previa, en la que se establezcan los límites de la zona a documentar, en número de fotografías para cada posición del avión, la dirección de vuelo, etc.

5.3.1. Obtención de datos con el UX5

El manejo de sistemas aéreos no tripulados está teniendo gran auge en la actualidad para todo tipo de usos, nosotros nos vamos a centrar en su empleo para cartografía por fotogrametría aérea, su explotación proporciona una herramienta para la adquisición de datos, de manera sencilla sin necesidad de ser un gran especialista en fotogrametría. El sistema “Aerial Imaging Solutions” es el utilizado por el UX5 para la planificación de los vuelos y generación de productos. Este sistema permite obtener gran cantidad de datos de hasta varios kilómetros cuadrados en menos de una hora de vuelo obteniendo así nubes de puntos de alta densidad, modelos digitales de superficies y ortofotos, unificando así trabajos de topografía y fotogrametría.

Esta tecnología genera productos bidimensionales y tridimensionales. Se producen ortofotos con ayuda del avión de ala fija muy útiles para los profesionales de la geo información ya que ayuda a identificar las características de los puntos medidos facilitando el trabajo considerablemente.

El sistema de “Aerial Imaging Solution” de toma de datos está compuesto por:

- Trimble UX5 Aerial Imaging Rover (Avión de ala fija), para la adquisición de imágenes aéreas.
- Trimble Access Aerial Imaging, para la planificación de la misión, ejecución de los controles previos y supervisión del vuelo.
- Trimble Business Center Photogrammetry module, para el procesamiento de imágenes aéreas y la creación de los productos finales.

Para la realización de este proyecto se hicieron dos vuelos en una zona perteneciente al municipio de Las Rozas de Madrid para lo cual se realizó una planificación previa de los vuelos en gabinete antes de ir a la zona de vuelo.

Se realizaron dos vuelos en la ejecución del proyecto. El primero se realizó de forma íntegra por nosotros, tanto la colocación de las lonas situadas correctamente en la zona de vuelo con su posterior medición de las coordenadas de las mismas como la realización del vuelo obteniéndose los datos necesarios para posteriormente hacer los cálculos y generación de productos. Se ejecutó un segundo vuelo a 125 metros en el que se facilitaron los datos de las coordenadas de las lonas y los datos producidos por el avión de ala fija necesarios para el cálculo y formación de productos que se realizó posteriormente.

5.3.2. Planificación del vuelo

5.3.2.1 Señalización de puntos de apoyo y de control

Antes de realizar el vuelo, tuvimos que distribuir por la zona un conjunto de lonas que utilizamos como puntos de apoyo y de control que nos sirvieron para obtener buenas precisiones y para calibrar la cámara. Estas lonas pueden ser medidas, una vez colocadas, por cualquier método. En nuestro caso las medimos con un equipo GNSS Trimble R10 en RTK VRS Now.

Estas lonas bien distribuidas en el terreno, fueron colocadas en los siguientes lugares:

- El perímetro de la zona a medir
- Zonas deprimidas y elevaciones
- Zonas más altas y bajas
- En zonas urbanas, cerca de las casas
- En zona con masa forestal, cerca de ellas



Ilustración34. Lona utilizada para marcar los puntos de apoyo

5.3.2.2. Trimble Access Aerial Imaging

Este software está diseñado para la planificación de la misión, planificación del vuelo, operación de vuelo y análisis. Está compuesto por un programa y una Tablet que es utilizado también en la operación de vuelo.



Ilustración 19. Controlador de campo

5.3.2.3. Misión de vuelo

La planificación de la misión es fundamental en la fotogrametría aérea para que los productos obtenidos sean los deseados.

La planificación de la misión se realizó en oficina. Se realiza mediante el sistema “Aerial Imaging”. Seleccionando la ficha “Mapa” se utilizará un mapa online en la que se introduce la ubicación de la zona a medir y mediante el uso de Google Earth, observaremos fácilmente con imágenes por satélite la región que se quiere sobrevolar. Una vez se coloca sobre el sector, se descarga la información del lugar deseado para que pueda ser utilizado en campo offline (sin conexión). Esta descarga del territorio tiene un tamaño máximo de 15 x 10 kilómetros.

Posteriormente se selecciona la ficha “Misión” donde se crea un área a sobrevolar. Esta superficie se trata de un polígono que se dibuja haciendo clic con el ratón en cada punto del límite. El programa permite definir espacio que no se deseen que sean sobrevoladas como poblaciones, aeropuertos, centrales térmicas, zonas militares... cuya extensión se define en “Añadir zona restringida”. Esta parcela restringida se marca en rojo. El avión necesita que exista una distancia de 200 metros entre el sector a medir y el restringido ya que durante el vuelo se necesita ese trecho para la realización de giros, en el caso de que no haya ese alejamiento entre ambas regiones se indica en el programa dibujando el lugar en naranja. Este suceso produce que se tenga que volver a definir la superficie de vuelo, la restringida o ambas.

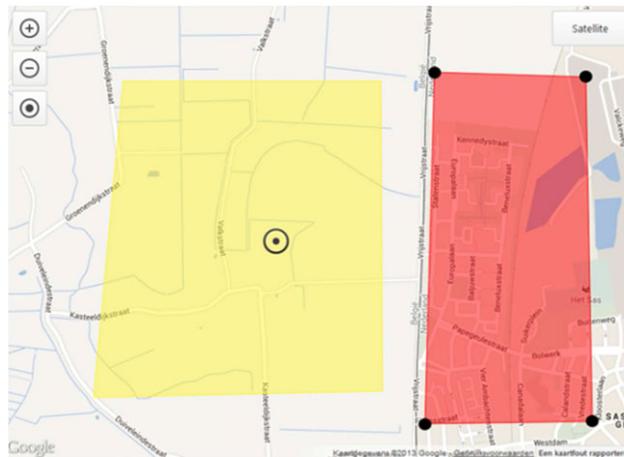


Ilustración 20. Definición de área del proyecto

Una vez definidas las zonas por donde queríamos volar y las restringidas, definimos la altura de vuelo en función de las precisiones que necesitábamos para nuestro trabajo. De tal forma que, cuanto más altura tenga el vuelo, mayor será el GSD y por tanto se tendrá menor precisión. En nuestro caso se realizaron vuelos a 125 metros y 300 metros de altura sobre el terreno. La elevación máxima sobre el terreno permitida en España es de 300 metros. En países donde se permitan mayores alturas de vuelo podríamos volar hasta un máximo de 750 metros. Con las alturas de 125 metros y 300 metros obtuvimos unos GSD de 4 cm y 9,6 cm respectivamente.

Otra característica del vuelo que debe definirse es el recubrimiento longitudinal y transversal necesario en las imágenes tomadas por el avión. El UX5 trabaja con unos recubrimientos muy altos entre el 70% y 90% longitudinal y transversal debido a que la posición del avión no es la misma que la dirección de la pasada sino que vuela con un cierto ángulo con respecto a ella de tal forma que este exceso de recubrimiento transversal es utilizado para solventar ese defecto en la posición de las imágenes tomadas por el avión. De esta forma, se identifican mayor número de puntos homólogos y se obtiene una mejor correlación de los mismos. Con un valor de solape superior tendremos una mejor precisión, mayor densidad de líneas de vuelo en el área de la misión, número más alto de imágenes a procesar y por tanto tiempos más prolongados para procesamiento de las imágenes. En nuestro caso utilizamos recubrimientos del 80% tanto longitudinal como transversal.



Ilustración 20. Definición de los parámetros de vuelo

Hay que tener en cuenta que según el recubrimiento que seleccionemos podremos medir más o menos superficie en el vuelo que realicemos, siendo mayor la duración del vuelo cuanto mayor recubrimiento tengamos. Por lo tanto, también deberemos tener en cuenta la superficie que queramos medir para que el avión pueda sobrevolarla en un solo vuelo. De lo contrario, tendremos que realizar dos o más vuelos para cubrir la superficie que deseamos medir.

Altura	GSD	Cobertura/ vuelo (km ²)			Cobertura/ día (km ²)		
		70%	80%	90%	70%	80%	90%
75 m	2.4 cm	1.1	0.8	0.4	6.85	4.5	2.3
100 m	3.2 cm	1.8	1.2	0.6	10.8	7.2	3.6
150 m	4.8 cm	3.1	2.1	1.0	18.7	12.5	6.2
200 m	6.4 cm	4.4	3.0	1.5	26.6	17.8	8.9
250 m	8 cm	5.8	3.8	1.9	34.6	23.1	11.5
300 m	9.6 cm	7.1	4.7	2.4	42.5	28.3	14.2
400 m	12.8 cm	9.7	6.4	3.2	58.0	38.7	19.3
500 m	16 cm	12.4	8.2	4.1	74.2	49.5	24.7
750 m	24 cm	19.0	12.7	6.3	113.9	75.9	38.0

Tabla 9. Tabla área de cobertura

El manual del avión UX5 nos proporciona la superficie que podemos volar en función de altura y recubrimiento. Debido a baterías de larga duración, que duran hasta 50 minutos permite sobrevolar superficies muy superiores a las que se podrían realizar en un vuelo con otros microdrones que existen en la actualidad.

Una vez que definimos la altura de vuelo y recubrimiento, determinamos la dirección del viento de nuestro lugar de vuelo consultando el pronóstico meteorológico previamente mediante la televisión o página web especializada en meteorología. La peculiaridad que tiene el avión de ala fija UX5 es que puede volar en condiciones muy adversas de viento pudiendo llegar a volar con vientos de hasta 65km/h, condiciones en las que la mayoría de UAS no podrían trabajar. Esto hace que sean muy pocos los días en los que no se pueda volar. Una vez que tuvimos esta dirección del viento la introducimos en el programa. Con toda la información que le dimos, "Aereal Imaging" trazó automáticamente la dirección, número y separación entre pasadas. El software también nos calculó el tiempo de vuelo para cubrir la zona de la misión.



Ilustración 21. Operación de vuelo

El avión de ala fija UX5 vuela perpendicular a la dirección del viento, por este motivo es importante la definición de su dirección. Como se observa en la imagen el sistema define la dirección de las pasadas en función de la trayectoria del viento. Debido a esto, el avión vuela con un cierto ángulo con respecto a la dirección de las pasadas como hemos dicho anteriormente.

Es importante seleccionar las ubicaciones de despegue y aterrizaje. Para determinarlos es necesario situarse físicamente en el lugar donde deseamos que se produzcan.



Ilustración 22. Zona de aterrizaje y despegue del avión

Antes de poder realizar el vuelo tuvimos que ejecutar las siguientes comprobaciones:

- Comprobación del piloto

Para poder volar el avión de ala fija UX5 es necesario que el encargado de pilotarlo tenga la certificación necesaria para operar con el UX5. Para dirigir el avión se necesita haber realizado un curso de pilotaje el cual se impartía en Bélgica pero actualmente se puede realizar en Madrid. El piloto es el responsable final en cuanto a la operación del UX5 y sus componentes.

- Preparación del equipo

Antes de volar tuvimos que comprobar que todos los elementos que forman el equipo se encontraban en buenas condiciones para poder realizarse la misión de vuelo.

- Comprobación del lanzador

El avión despegue a una velocidad de 60km/h por lo tanto tendrá que ser lanzado mediante una plataforma de lanzamiento. Una vez la montamos formando un ángulo de 30° con la horizontal tuvimos que comprobar que todos sus componentes se encontraban en buenas condiciones, como la cuerda del lanzador o la plataforma en sí. Además de comprobamos su correcto funcionamiento observando si podía moverse libremente.



Ilustración 23. UX5 antes de realizar el despegue

- Comprobación del UX5

Tuvimos que comprobar que el cuerpo del UX5 estaba limpio para poder realizar el vuelo ya que, la tierra y la grava en el cuerpo, incrementan la resistencia aerodinámica durante el vuelo. Si el cuerpo tiene alguna grieta se deberá realizar las reparaciones necesarias.

Comprobamos que el filtro de la cámara no estaba rayado y limpiamos el filtro de la cámara asegurándonos de que no hubiera gotas de humedad ni manchas de polvo que pudieran afectar a la calidad de la imagen.

- Comprobación del tubo de Pitot

Debimos comprobar que estaba en perfectas condiciones, puesto que se utiliza para medir la presión atmosférica durante todo el vuelo. Lo sacamos y observamos que no estaba doblado ni roto.

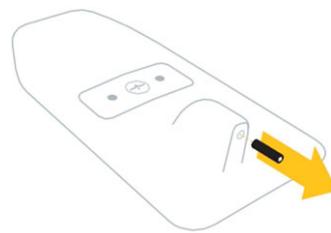


Ilustración 24. Comprobación del tubo de Pitot

- Comprobación de las aletas

Comprobamos que las aletas estaban intactas y que estaban bien atornilladas. De lo contrario, hubiéramos tenido problemas de estabilidad en la inclinación transversal.

- Comprobación de las hélices

Nos aseguraremos que las palas de las hélices estaban intactas y bien posicionadas.

- Comprobación de la cámara

Una vez nos aseguramos de que el objetivo de la cámara no estaba rayado, tuvimos que comprobar que las configuraciones no se hubieran cambiado y fueran las adecuadas requeridas para obtener imágenes aéreas de buena calidad.

- Emparejamiento del transmisor con el receptor rastreador

El UX5 posee un transmisor incorporado que nos permite localizar el avión en caso de que aterrice en un lugar desconocido. Tuvimos que configurar el receptor que tenemos con el transmisor del UX5.

- Ejecución del vuelo

Una vez que comprobamos que todo el equipo estaba en perfectas condiciones tuvimos que seguir unos pasos para poder realizar el vuelo correctamente consiguiendo unos buenos datos de imagen obteniendo buenos productos finales.

- Visitar el lugar para comprobar posibles obstáculos

Tuvimos que definir buenas ubicaciones de despegue y aterrizaje. Comprobamos si hay algún tipo de obstáculo en el área de vuelo como árboles, edificios, antena, cables de electricidad...

En los primeros 50 metros debe haber un área libre de obstáculos de unos 30° a la izquierda y derecha de la dirección de lanzamiento. Dentro de los 280 metros de la dirección de lanzamiento no deben aparecer obstáculos determinado sobre una línea de 15° formada con la horizontal.

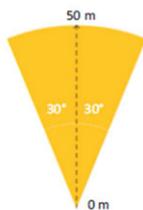


Ilustración 25. Distancia libre de obstáculos.

En planta

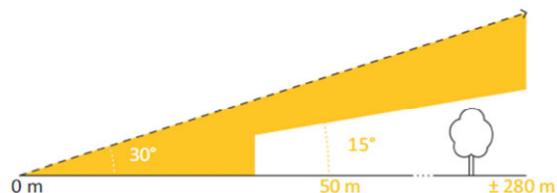


Ilustración 26. Distancia libre de obstáculos.

En alzado.

Durante el vuelo de crucero no deben aparecer obstáculos entre la altura de vuelo y 25 metros debajo de esta altura.

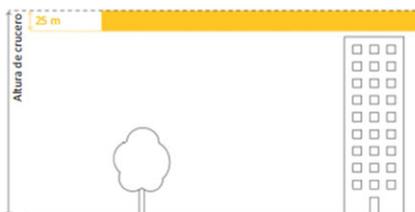


Ilustración 27. Distancia mínima entre altura de crucero y obstáculos

Tuvimos que observar también los obstáculos existentes en la órbita del descenso ya que el avión desciende formando círculos. No deberán aparecer obstáculos, al entrar en la órbita de descenso, con un radio de 300 metros con respecto al centro de la órbita. Una vez el UX5 ha descendido a 75 metros de la altura de vuelo de crucero, el área libre requerida tiene un radio de 150 metros.

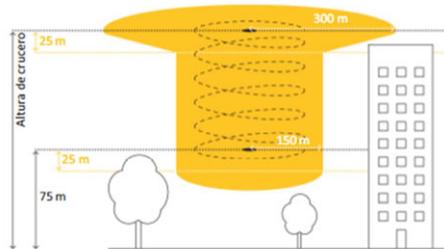


Ilustración 28. Distancias mínimas entre UX5 y obstáculos al realizarse el descenso

Una vez confirmamos el aterrizaje, el avión permanece a una altura de 75 metros esperando la confirmación antes de aterrizar para evitar golpear a algún coche o persona que pase por la zona en ese momento. No deben aparecer obstáculos entre el tramo final del aterrizaje y 15 metros por debajo del mismo.

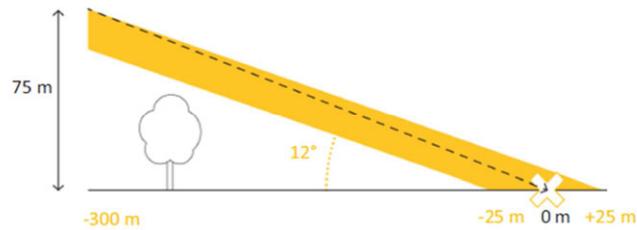


Ilustración 29. Distancias libres de obstáculos para el aterrizaje

Junto al tramo final del aterrizaje tiene que haber un área libre de obstáculos de unos 15 metros a la izquierda y derecha de la dirección de aterrizaje.

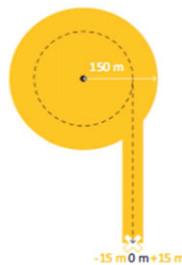


Ilustración 30. Área libre de obstáculos en el tramo final de aterrizaje

Por último la zona de aterrizaje deberá ser un área de 50 x 30 metros sin ningún tipo de obstáculo.



Ilustración 31. Área mínima y recomendada de la zona de aterrizaje

- Actuación frente a cambios climáticos

Se pueden dar dos situaciones en las que actuaremos de la siguiente manera:

- Se produce un cambio en la dirección del viento antes de realizar el vuelo:
Se modificará la posición del lanzador y actualizar la dirección del viento para el despegue y dirección de aterrizaje en el plan de vuelo.
- Se produce durante el vuelo o antes de realizarlo un cambio meteorológico como viento fuerte, granizo, lluvia intensa, nieve o truenos y relámpagos:
Se cancelará el vuelo o si el avión está volando tendremos que hacerlo aterrizar lo antes posible.

Durante la realización del proyecto tuvimos que cancelar un vuelo cuando estábamos volando a 75 metros una vez se había realizado el vuelo a 300 metros debido a que las rachas de viento empezaron a ser muy fuertes y el avión comenzó a tener problemas a la hora de seguir la dirección de la pasada que se le había programado anteriormente.

5.3.2. Ejecución del vuelo

- Checklist del vuelo

Para completar la planificación del vuelo tuvimos que realizar este último paso. Los pasos a seguir en esta fase fueron los siguientes:

1. Conectamos el módem y la antena en la estación de control de tierra (en la Tablet)
2. Conectamos la batería, insertamos una batería totalmente cargada
3. Preparamos la cámara, limpiándola y limpiando el filtro de la cámara en el cuerpo del UX5. Nos aseguramos de que las configuraciones del objetivo fueran las adecuadas. Insertamos la cámara en el compartimento de carga y por último comprobamos que toma fotos adecuadamente presionando el botón tomar foto.
4. Introducimos el transmisor rastreador
5. Colocamos la tapa superior
6. Cubrimos el tubo de Pitot
7. Comprobamos el nivel de los alerones y su respuesta pulsando el botón mover alerón
8. Colocamos el avión en la plataforma de lanzamiento previamente montada con todo el sistema debidamente montado.
9. Transmitimos del plan de vuelo a la eBox
10. Iniciamos la eBox, debía recibir señal de 4 satélites GPS utilizables como mínimo
11. Quitamos la tapa del tubo de Pitot y comprobamos la respuesta de la velocidad
12. Comprobamos que las hélices estén posicionadas hacia atrás
13. Armamos el sistema
14. Lanzamos el UX5

- Operación de vuelo

Una vez el UX5 despegar el vuelo se controla con la estación de control en tierra. No es requerido ningún control manual por parte del usuario salvo si se quiere o necesita cancelar el vuelo.



Ilustración 32. Pantalla de vuelo

Desde el controlador de vuelo comprobamos que la trayectoria del UX5 era la programada, controlamos la potencia del vínculo de comunicación, número de satélites utilizables, la barra de estado de la batería, la altura de vuelo efectiva y la velocidad durante el vuelo de crucero.

- Mecanismos de seguridad contra errores durante el vuelo

Los mecanismos de seguridad se activan si surge cualquiera de los siguientes problemas:

- Pérdida de la señal GPS durante el vuelo

Si el avión pierde la señal durante el vuelo durante un periodo de 4 segundos gira esperando la recuperación de la señal. Si esto no sucede, se activa el sistema de finalización de vuelo que consiste en apagar el motor y reducir la velocidad a 70 km/h, comienza a bajar formando círculos de 200 metros de diámetro hasta llegar a una altura de 7 metros para posteriormente planear hasta llegar a tierra.

- Pérdida de vínculo de comunicación durante el vuelo

Si el avión no recibe un paquete de comunicación durante un tiempo específico o el vínculo de comunicación es malo, aparecerá una notificación en la Tablet y el UX5 volará a la ubicación de aterrizaje sin esperar confirmación del mismo.

- Protección contra velocidad excesiva

Si se detecta una velocidad superior a la deseada durante el descenso, el avión maximizará la resistencia aerodinámica para minimizar el impactado con el terreno.

- Resolución de emergencias durante el vuelo

En el caso de que aparezca alguna otra aeronave en las inmediaciones del UX5 a su misma altura tendremos que realizar alguna de las siguientes operaciones:

- Aterrizar: el avión inicia la maniobra de aterrizaje bajando en círculos de 200 metros de diámetro hasta llegar a 75 metros y una vez ahí pide que se le confirme el aterrizaje
- Volar a: nos permite mover el avión a la ubicación elegida pudiendo modificar la altura de la misma también en un intervalo de 75 a 750 metros
- Orbitar: la aeronave comienza a orbitar en círculos de 200 metros de diámetro.
- Aquí: el UX5 vuela a la ubicación de la estación de control o a la última ubicación conocida del mismo y orbita ahí.
- Derecha: desplaza el avión pero sin alejarse mucho de la ubicación actual.
- FTS: sistema de finalización de vuelo ante emergencia el cual se puede utilizar durante el despegue, vuelo crucero y el aterrizaje.
- Abortar: se utiliza para abortar el aterrizaje, el avión asciende a 75 metros y pide de nuevo confirmación para el aterrizaje.

- Aterrizaje del UX5

Cuando el avión pasó el último punto de la ruta definida, terminó su plan de vuelo e inició una secuencia de aterrizaje normal. Voló a la altura de crucero al punto de entrada que está situado a 300 metros de la ubicación de aterrizaje. Comenzó a descender en círculos de 200 metros de diámetro hasta llegar a 75 metros de altura donde esperó la confirmación para el aterrizaje. Una vez confirmado inició el último tramo de aterrizaje en dirección del punto marcado.

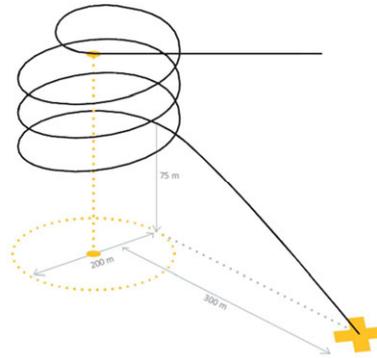


Ilustración 33. Circuito de aterrizaje

- Finalización del checklist:

- Presionamos “finalizar vuelo”.
- Apareció un mensaje preguntándonos si estaba o no en tierra el UX5, presionamos “sí”. Nos apareció el checklist post-vuelo.
- Quitamos la tapa del puerto de descarga de la eBox y luego conectamos el cable de descarga a la eBox y al módem.
- Desconectamos el cable de descarga y luego volvimos a acoplar la tapa del puerto de descarga en la eBox.
- Quitamos la cámara de la aeronave y eliminamos las imágenes tomadas de prueba antes de volar. Posteriormente comprobamos que el número de imágenes tomadas durante el vuelo equivalen a la cantidad de comandos de obturador que se registraron en el registro de vuelo.
- Presionamos finalizar para cerrar el checklist post-vuelo.

- Análisis y exportación

- Transferencia de imágenes

Todas las imágenes captadas generadas durante el vuelo se almacenan en una tarjeta SD que facilita su gestión posterior.

- Importación de la misión a la aplicación Aerial Imaging Desktop

Se puede realizar la importación de una misión de vuelo ya realizada con los vuelos ejecutados en dicha misión, las misiones de vuelo se guardan como un archivo *.gwt. Iniciamos la aplicación "Aerial Imaging" e importamos pulsando importar en la misma.

- Exportación de datos de vuelo para el procesamiento

Para poder trabajar con los datos generados del vuelo se realiza la exportación de archivos creados "Aerial Imaging". Se selecciona el formato de archivo, *.jxl si el software que se va a utilizar posteriormente es el Trimble Business Center o *.csv si se utiliza otro software distinto. Se selecciona el vuelo a exportar y la carpeta donde se almacenan las imágenes. Una vez realizado este proceso el sistema compara las imágenes que existen en la carpeta con el número de disparos de la cámara, si hubiera habido imágenes de menos posiblemente hubiéramos tenido que repetir el vuelo. Fue el correcto por lo tanto continuamos, nombramos el archivo para los datos de vuelo, guardamos y finalizamos.

6. Desarrollo del trabajo de oficina

6.1. Introducción

Las observaciones en campo de las zonas de control con metodología GNSS fueron realizadas en tiempo real RTK. Los resultados obtenidos en la medición se procesaron posteriormente con el software propio del fabricante de los receptores, Trimble Business Center.

Antes de la medición en campo, es necesario configurar el receptor creando un perfil de trabajo. En dicho perfil se configura el Datum, que para este trabajo se eligió el ERTS89, y se define el sistema y la zona de coordenadas en las que se trabaja (huso UTM 30 Norte).

Para la realización de este Proyecto se trabajó sin modelo geoidal, ya que la distancia entre los puntos en superficies de poca extensión es pequeña y se puede asumir que los incrementos de las altitudes elipsoidales son semejantes a las altitudes ortométricas. Se podría considerar la misma ondulación media del geode en el área considerada. Teniendo en cuenta que se trata de un estudio comparativo para la estimación de las diferencias de coordenadas entre GNSS y UX5 su uso no fue relevante.

Las alturas medidas con GNSS o alturas elipsoidales toman como superficie de referencia el elipsoide SGR80. Mientras que las utilizadas en el sistema de proyección UTM son alturas ortométricas, es decir, que tienen su origen en altitudes en el geode. Por esto, las altitudes obtenidas en observaciones GNSS, deben tratarse para quedar referidas al geode. Esto se hace mediante la ondulación del geode que establece la relación entre altura ortométrica y altura elipsoidal.

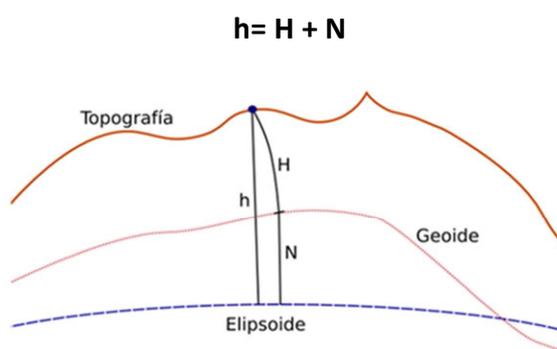


Ilustración 35. Ondulación del Geode

Siendo:

h la altura elipsoidal

H la altura ortométrica

N ondulación del Geode

Una vez finalizado el levantamiento, los datos fueron descargados directamente conectando la memoria externa al controlador TSC3.

El archivo de puntos obtenido después de realizar el levantamiento taquimétrico con extensión *.csv permite utilizar los datos en post-proceso sin necesidad de convertirlo en cualquier otro formato. Se trata de un archivo en el que se muestran las coordenadas de los puntos. Si se deseara mostrar las líneas que unen la base con los puntos medidos trabajaríamos con extensión *.job, ya que presenta la ventaja de que se podría modificar el sistema de coordenadas, Datum y añadir o eliminar el modelo geoidal posteriormente utilizando el correspondiente software.

Para la realización del presente proyecto se realizaron tres medidas en campo. En primer lugar, se obtuvo un denso número de puntos en todas las zonas donde era posible medir realizando un levantamiento con un equipo GNSS. Posteriormente, se colocaron las lonas que servirían como puntos de control en los vuelos y se obtuvieron las coordenadas de los centros de estas. Este paso se realizó en distintos días, ya que se realizó un vuelo a 125 metros y otro a 300 metros en dos jornadas de trabajo.

Con respecto a las medidas en campo surgió un problema, ya que las observaciones realizadas en la zona de control con el equipo GNSS y las realizadas en uno de los vuelos estaban medidas en un sistema y zona de coordenadas definido, y las obtenidas en el vuelo a 125 metros de altura estaban en otras. Para el vuelo a 300 metros y el levantamiento con equipo GNSS hemos definido su perfil de trabajo en el segundo párrafo de este capítulo, mientras que en el vuelo a 125 metros se definió el mismo Datum (ETRS89), el mismo huso (UTM 30 Norte) y se definió el modelo geoidal EGM2008 REDNAP IGN.

Esto provocó que al obtener los productos finales estos se crearan con respecto al modelo geoidal definido. Al ser comparado con los puntos medidos en campo, se observó un desplazamiento de la nube de puntos con respecto al levantamiento de la zona de control realizado sin modelo geoidal de alrededor de unos 5 metros en las coordenadas "E" así como diferencia en las alturas.

Con el archivo de puntos de control del vuelo a 125 metros, se tomaron las alturas elipsoidales en el Datum local asignado a cada punto de la misma manera que se hizo con los puntos medidos en el levantamiento de la zona de control y del vuelo a 300 metros. Se realizó de nuevo el proceso de cálculo esta vez sin modelo geoidal y de esta forma, los puntos de la zona de control y la nube de puntos generada sí que coincidía en coordenadas con los dos vuelos salvo diferencias producidas por las precisiones de ambos procedimientos.

En la actualidad, se emplean modelos geoidales como el EGM2008 por ser el modelo a escala mundial más completo y preciso. Su desviación estándar es algo mejor que el orden del decímetro.

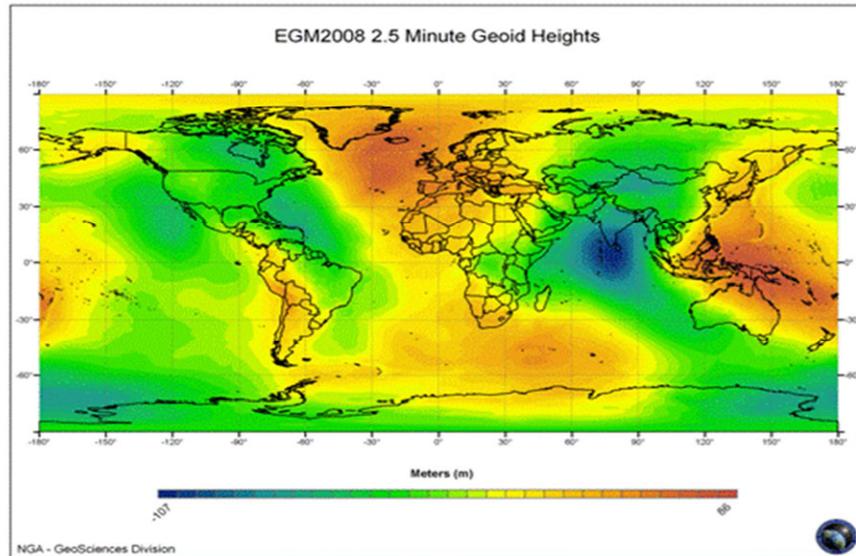


Ilustración 36. Modelo geoidal EGM2008

Los datos tomados en RTK corresponden a los puntos de control y puntos de apoyo dados para el vuelo fotogramétrico.

Las tolerancias necesarias para producción cartográfica cualquiera que sea el método utilizado vienen dadas en función de su escala. En el presente proyecto se hará un estudio para obtener la escala mínima cartográfica en función de las precisiones tanto de GNSS como del avión UX5.

Para el cálculo de la precisión planimétrica exigida tendremos que tener en cuenta el concepto de límite de percepción visual que es el "límite que tiene el ojo a partir del cual dos puntos que están separados se pueden ver juntos". Este límite visual es de 0,2 mm por lo que si se tienen dos puntos separados a menos de ese valor se verá como un solo punto.

Por este motivo la precisión planimétrica exigida será:

Precisión planimétrica exigida = 0.2 mm * Escala

La precisión altimétrica exigida se obtendrá en función a la equidistancia:

Precisión altimétrica exigida = $\frac{1}{4}$ * Escala

Las coordenadas GNSS obtenidas de los puntos de apoyo en el vuelo realizado a 300 metros son:

Punto	E	N	Z
P1001	421.960,162	4.481.874,195	721,336
C2001	421.868,982	4.481.962,188	725,446
P1002	421.797,131	4.482.018,255	724,310
C2002	421.730,350	4.482.078,418	718,648
P1003	421.616,361	4.482.182,497	707,750
P1004	421.776,869	4.482.297,025	718,134
C2003	421.957,141	4.482.198,736	728,011
C2004	422.107,209	4.482.113,470	724,148
P1005	422.202,448	4.482.047,537	721,379
P1006	422.109,647	4.482.258,779	729,040
C2005	422.170,267	4.482.301,465	726,123
P1007	421.859,409	4.482.492,565	717,100
P1008	422.081,593	4.482.606,820	733,692
C2006	421.970,150	4.482.747,366	722,516
C2007	422.149,603	4.482.604,132	735,001
P1009	422.216,617	4.482.554,228	734,451
C2008	422.307,044	4.482.466,857	729,603
P1010	422.404,090	4.482.333,342	724,814

Por otro lado, las coordenadas de los puntos de apoyo en el vuelo realizado a 125 metros cuyos datos nos fueron facilitados y que son completamente independientes de la tabla anterior son los siguientes:

Puntos	E	N	Z
P1001	422.180,470	4.481.681,880	726,608
P1002	421.971,340	4.481.864,328	721,681
P1003	422.079,798	4.482.146,952	726,077
P1004	422.223,768	4.482.048,973	721,709
P1005	422.346,481	4.482.024,521	719,036
P1006	422.308,681	4.482.467,367	729,550
P1007	422.430,856	4.482.274,969	724,446
P1008	422.572,582	4.482.129,261	724,600

Los vuelos realizados a 125 metros y 300 metros se produjeron en momentos diferentes. La distribución de puntos de apoyo fue distinto uno de otro debido a que la metodología del vuelo con UX5 consiste en la colocación de lonas de una manera homogénea sobre el terreno que se va a medir. Debido a este motivo las coordenadas de los puntos de apoyo no podrán ser exactamente iguales en vuelos distintos (salvo que estos se realicen el mismo día sin retirar las lonas).

Se puede observar que el número de puntos de control en el vuelo a 300 metros es mayor, esto produce mejora en las precisiones y como consecuencia mayor calidad en los productos finales.

6.2. Procesado de datos topográficos y fotogramétricos

Los datos obtenidos en la realización del vuelo y levantamiento taquimétrico fueron procesados con el mismo software, el Trimble Business Center (TBC).

Se trata de un software multidisciplinar no enfocado a un tipo determinado de metodología, suministrado por Trimble que proporciona la capacidad de editar, procesar y ajustar de manera eficiente los datos topográficos de una manera sencilla.

El módulo de fotogrametría que tiene permite importar y trabajar con los datos de vuelo y las imágenes recogidas por el UX5. Produce ortofotos, nubes de puntos 3D y modelos digitales de superficie. Permite mostrar imágenes de gran tamaño y generar mosaicos de forma automática.

6.2.1 Módulo de topografía

A continuación se muestran los pasos necesarios para el uso del software y para la generación de los productos requeridos:

- **Crear Proyecto**

La pantalla de inicio para la creación del cualquier proyecto nuevo es la siguiente:



Ilustración 37. Pantalla de inicio Trimble Business Center

Para especificar el nombre del proyecto lo guardamos.

Cada proyecto se guarda como un archivo de extensión.*vce más una carpeta con el mismo nombre donde se registran los archivos de los receptores y los archivos exportados.

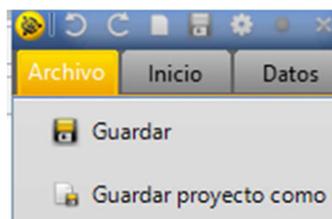


Ilustración 38. Pestaña de guardado

- **Configuración del proyecto**

Se define el sistema de coordenadas.

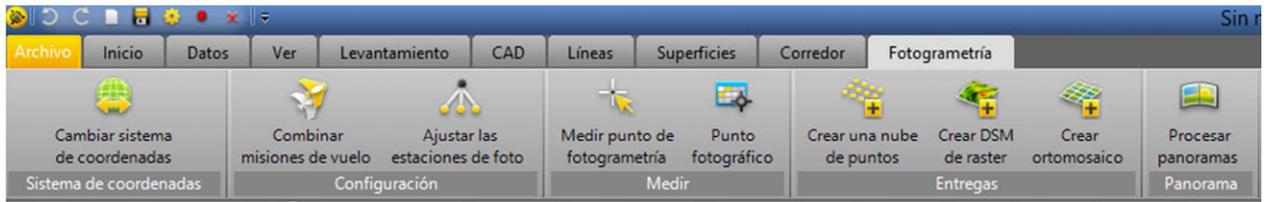


Ilustración 39. Módulo de fotogrametría en el TBC

Si el sistema de coordenadas deseado coincide con el recientemente usado se puede utilizar esta opción y así finalizar con esta configuración. De lo contrario, como se ve en la siguiente imagen, se selecciona el grupo de sistemas de coordenadas y la zona.

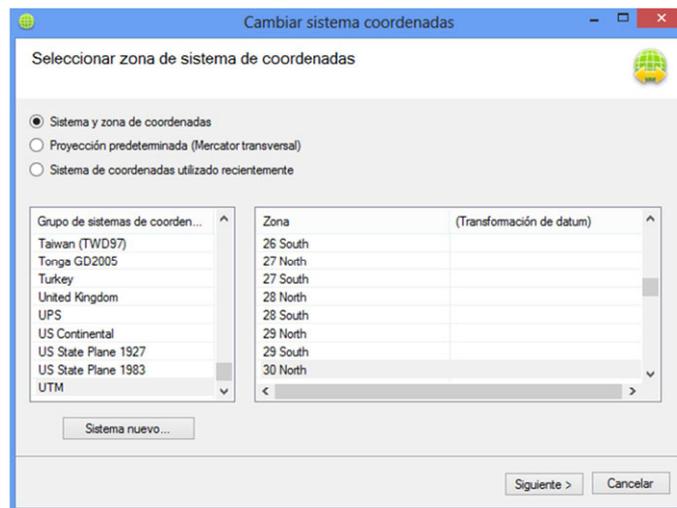


Ilustración 40. Ventana de selección de sistema y zona de coordenadas

Posteriormente se selecciona el datum horizontal.

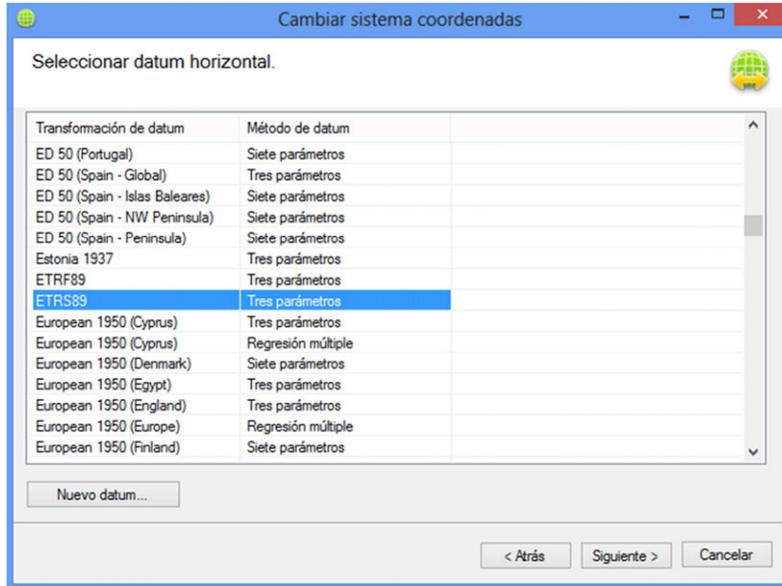


Ilustración 41. Ventana de selección de Datum

Por último se selecciona el modelo geoidal para convertir las alturas elipsoidales en el terreno, en alturas ortométricas. Se puede trabajar sin modelo geoidal o seleccionar el que se desee.

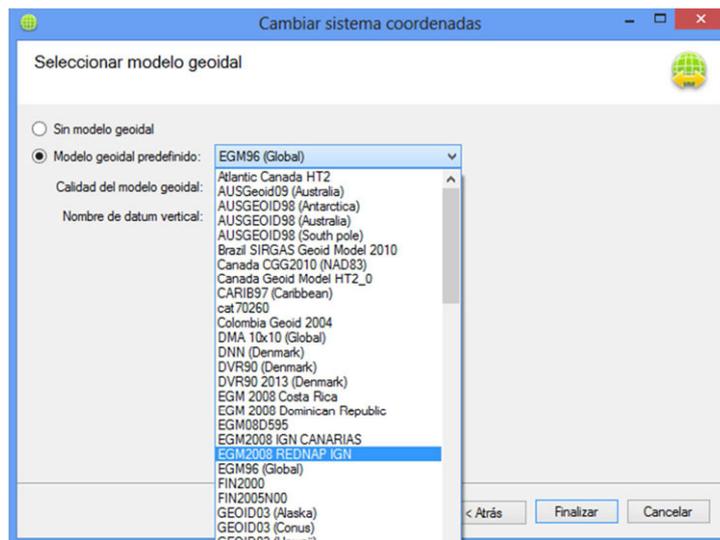


Ilustración 42. Ventana de selección de geoid

Si el software no tiene el sistema de coordenadas, Datum o modelo geoidal que queremos usar se podrá añadir durante el proceso del cambio de sistema de coordenadas seleccionando la opción de sistema nuevo y nuevo datum.

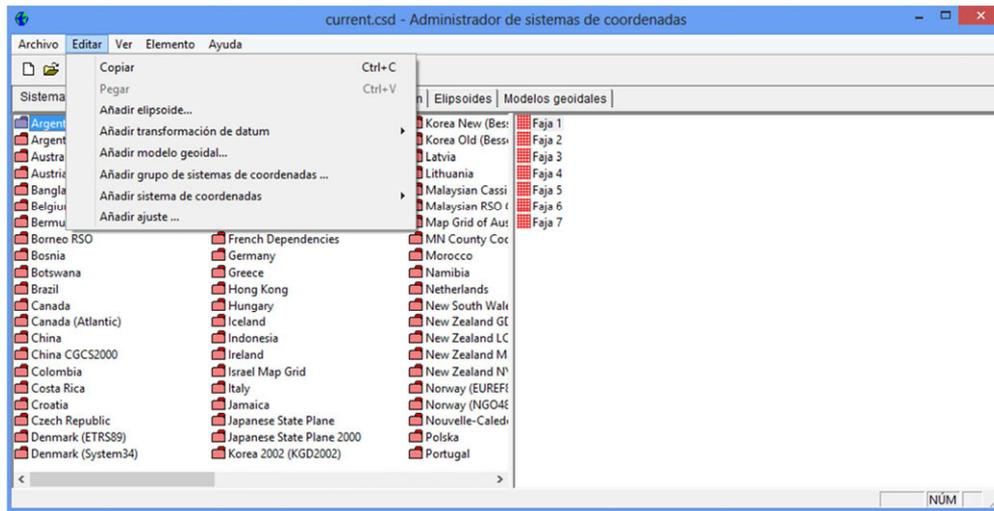


Ilustración 42. Ventana para añadir datum o modelo geoidal

Esta configuración se realiza para que el sistema de coordenadas en el que se trabaje en oficina sea el mismo que con el que fueron calculados los puntos en campo con el equipo GNSS.

Después de realizar estas configuraciones previas, se estuvo en disposición de trabajar con los puntos medidos.

- **Importación de archivos.**

Existen dos formas de importación de archivos:

- Conectando una controladora GNSS con sistema operativo Windows Mobile a un puerto USB de la PC, el software la detecta automáticamente y queda preparado para recibir datos. Si picamos en el símbolo "+" podremos ver todos los archivos que están dentro de la controladora.
- Arrastrando el archivo de formato *.csv que tenemos a la vista del plano, el cual lo obtenemos exportándolo desde la controladora mediante la conexión directa de una memoria externa al puerto usb del que dispone la controladora o bien al conectar la controladora a un PC.

En este caso, se utilizó el segundo procedimiento ya que éste permitía la importación del archivo sin necesidad de tener la controladora TSC2 en ese momento.

Una vez descargados los datos se abrió una ventana con todos los puntos medidos, los códigos, etc.

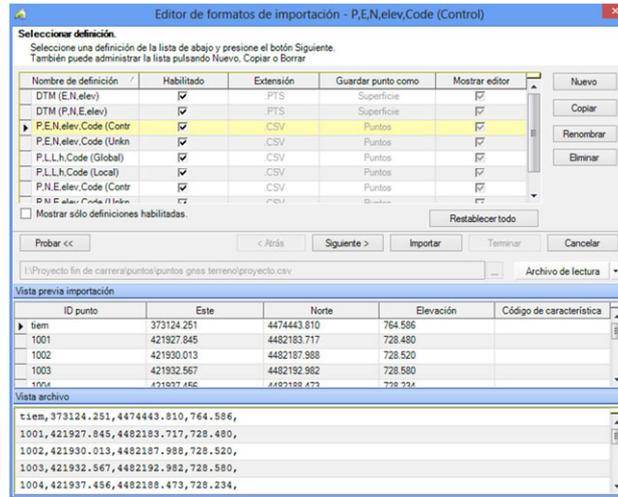


Ilustración 43. Ventana de importación de archivos de puntos

Una vez importado el archivo de puntos correspondiente en el software, estos aparecen en una nube de puntos como se muestra en la siguiente imagen.

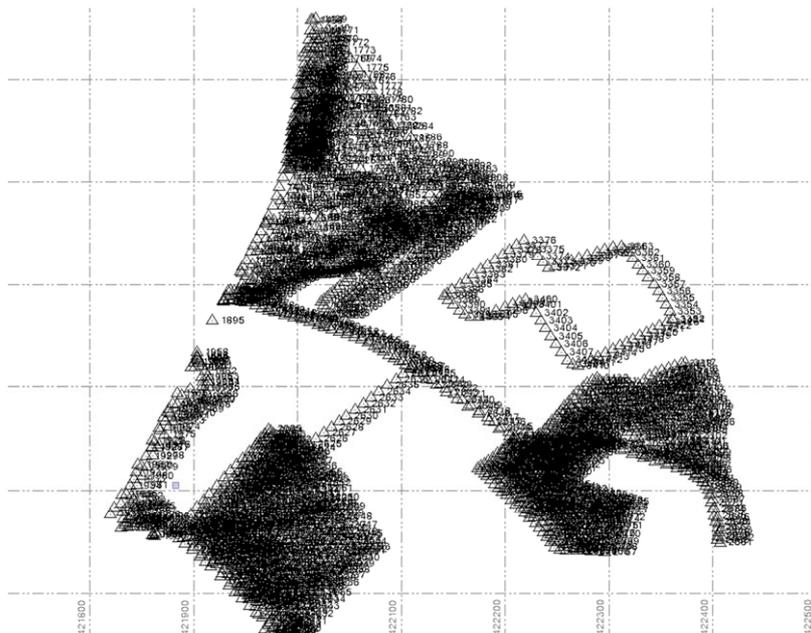


Ilustración 44. Nube de puntos importada

- **Edición en el TBC**

Los puntos pudieron ser editados previamente durante las mediciones realizadas determinando de qué tipo era cada uno de ellos, camino, linde, carretera, etc.

En cualquier caso haya sido o no editado durante la medición en el programa puede ser editado de una manera sencilla.

De esta forma se puede editar cada punto seleccionando si es de camino, relleno, linde...

- **Edición de puntos**

El proceso para la edición de puntos es muy sencillo. Basta con seleccionar las propiedades de cada punto y modificar el código de características.

Para la realización de este proyecto los códigos utilizados fueron: camino, carretera, linde, relleno, parking, aeródromo y depósito.

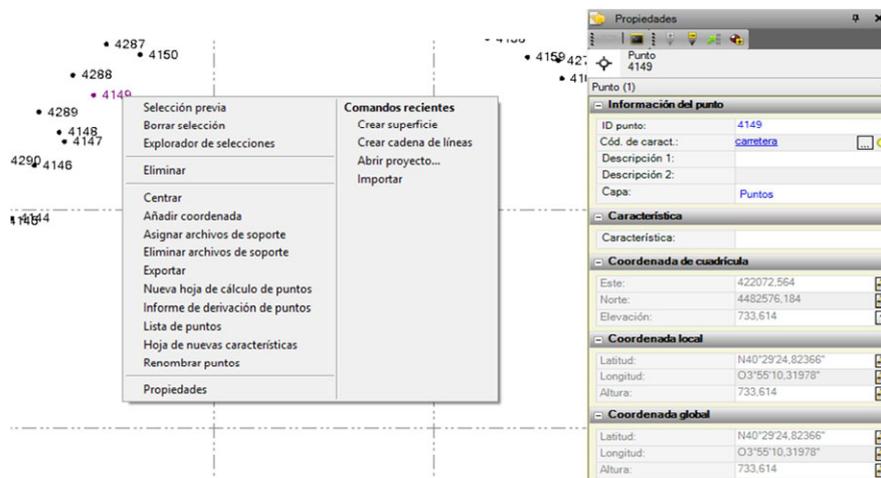


Ilustración 45. Ventana de edición de puntos

○ Edición de cadenas de líneas

Una vez editados los puntos, el programa permite crear cadenas de líneas entre los puntos que queramos. Se utilizó esta función para crear cadenas de líneas que formaban caminos, carreteras o lindes.



Ilustración 46. Pestaña CAD del TBC

Existen dos métodos para realizar cadenas de líneas:

- Seleccionar punto a punto con el ratón
- Escribiendo el ID de los puntos inicial y final

○ Edición de capas

Para organizar los puntos y las cadenas de líneas podemos crear capas dentro de la pestaña de CAD en las opciones de capa donde podemos crear, eliminar y editar capa.

Dentro de la capa seleccionamos el nombre, el color y el estilo de línea de la capa.

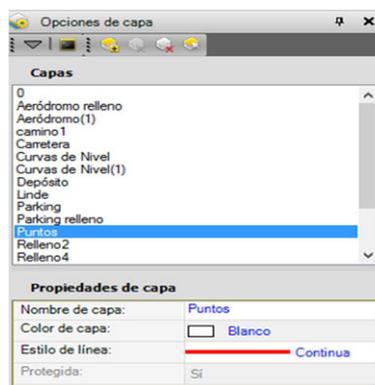


Ilustración 47. Ventana de edición de capas

Una vez que se realizó la edición de los puntos, de las cadenas de líneas y de las capas el resultado se muestra en la siguiente figura.

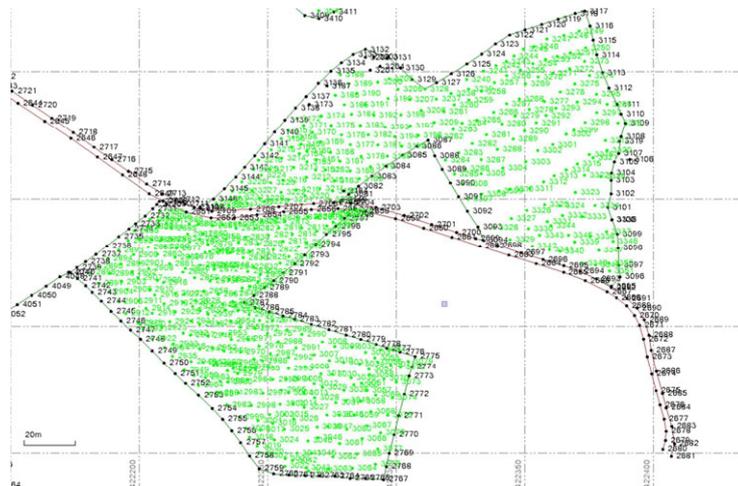


Ilustración 48. Puntos y cadenas de líneas una vez editados

- **Modelo digital del terreno y curvado**

El software permite también la creación de curvas de nivel a partir de la nube de puntos. Para visualizar curvas de nivel se debe realizar primero el modelo digital del terreno simplemente creando una superficie.

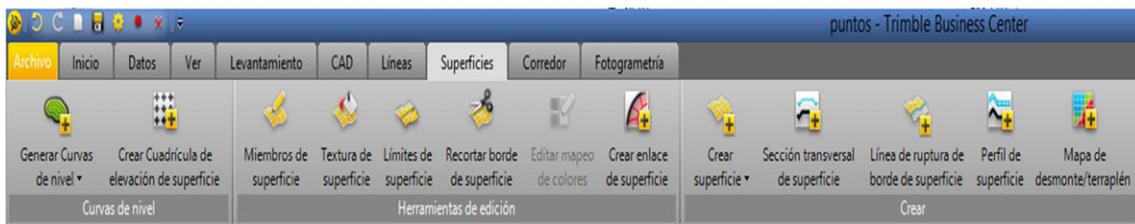


Ilustración 49. Pestaña de superficie TBC

Para realizar el modelo digital del terreno seleccionamos los puntos que queremos que forme la superficie. Con esto se crea una malla de triángulos que une los puntos más cercanos entre sí, como se observa en la siguiente figura.

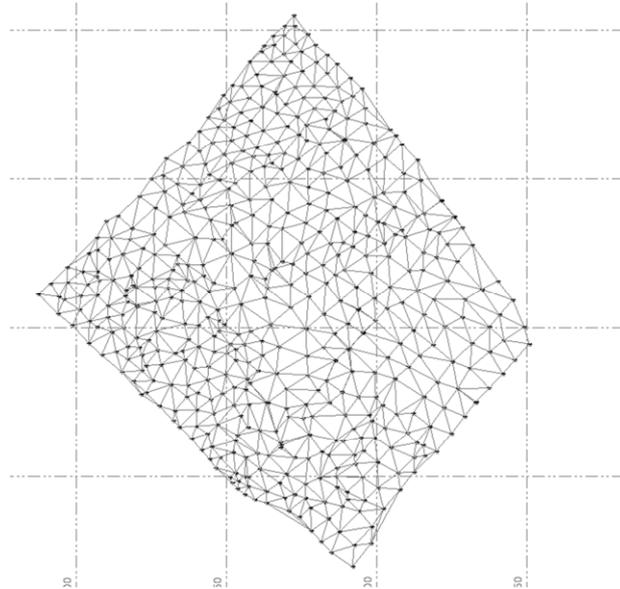


Ilustración 50. Malla de triángulos formada al crear la superficie

Una vez creada la superficie se puede visualizar las curvas de nivel, para lo cual simplemente hay que seleccionar en el software la opción “Generar curvas de nivel”. Se selecciona la equidistancia de las curvas de nivel y la frecuencia de las mismas (por defecto 5 metros). Se escogen los colores para las curvas maestras y secundarias y se abre una ventana en el que se obtiene el dibujo de las curvas de nivel.

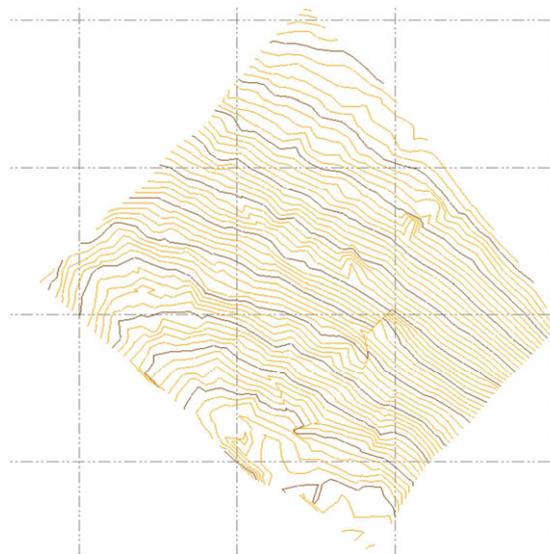


Ilustración 51. Curvas de nivel generadas con el TBC

Cuando creamos superficies y curvas de nivel, en pantalla nos pueden aparecer gran cantidad de datos (malla de triángulos, curvas de nivel, vectores GNSS), por lo que es conveniente usar el administrador de filtros de vista para elegir los datos a visualizar.

Seleccionando o deseleccionando las distintas pestañas, dejamos en la pantalla solo los datos que nos sean de mayor interés. Es posible guardar filtros configurados para ser utilizados en otro momento si lo creemos conveniente.

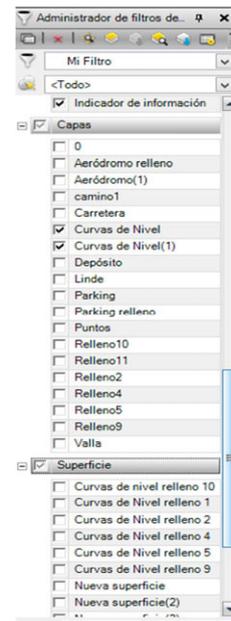


Ilustración 52. Administrador de filtros de vista

- **Vista 3D.**

La vista 3D nos muestra el modelo digital del terreno como una maqueta, la cual se puede girar, ver desde distintos ángulos y exagerar la escala vertical. Además el software muestra la malla de triángulos con colores de acuerdo a las alturas para visualizar en forma más fácil las zonas altas y bajas.

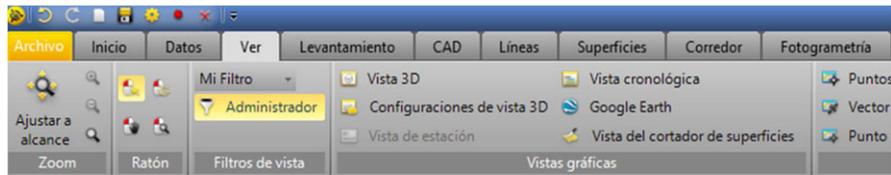


Ilustración 53. Pestaña Ver en el TBC

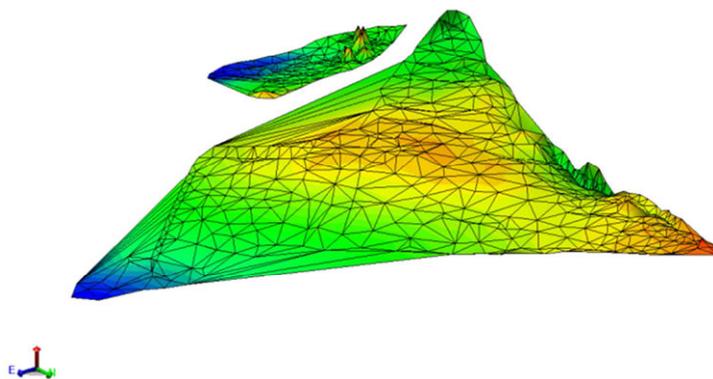


Ilustración 54. Vista 3D del modelo digital del terreno creado

6.2.2. Módulo de Fotogrametría

6.2.2.1. Características

- **Ajuste de las estaciones fotogramétricas**

El proceso de aerotriangulación ajusta las estaciones fotogramétricas, localizando automáticamente los puntos de unión coincidentes de las imágenes superpuestas para corregir sus orientaciones y posiciones relativas. Los puntos de control terrestre pueden registrarse fácilmente para corregir la posición absoluta y la escala de las estaciones.

- **Medición puntos fotogramétricos**

El software intersecta los puntos de múltiples estaciones fotogramétricas aéreas y/o terrestre, y permite la medición de puntos discretos. Se mide con precisión puntos característicos como son esquinas de edificios, copas de árboles y servicios públicos.

- **Creación de nubes de puntos 3D**

Se crea automáticamente nubes de puntos 3D de estaciones fotogramétricas ajustadas. Este proceso totalmente automático adapta los parámetros para garantizar la precisión, y provee resultados precisos. La precisión la altura oscila entre los 1 y 2 píxeles.

- **Creación modelos digitales de superficie**

Los modelos digitales de superficie 3D son automáticamente creados a partir de las estaciones fotogramétricas ajustadas. El DSM creado a partir de la nube de puntos generada se refina usando rutinas de interpolación complejas, filtrado de ruido, modelado de bordes y detección de valores atípicos para lograr modelos de superficie muy detallados.

- **Creación ortofotos digitales**

Se crea automáticamente mosaicos georreferenciados ortorectificados de las estaciones ajustadas. La rectificación de las ortofotos combinada con la geometría del algoritmo “feature based seamline-finding” y el equilibrio radiométrico generan ortomosaicos. Se aplican correcciones radiométricas a las imágenes (a una sola imagen o a un grupo de ellas) para obtener una intensidad y unos colores homogéneos perfectos listos para usar por ejemplo, en Sistemas de Información Geográfica.

6.2.2.2. Utilización

Una vez realizado el vuelo en campo, de cuyas características se ha hablado anteriormente, se genera un archivo *.jlx y una cantidad de fotografías realizadas por el avión. El número de fotografías variará en función de la altura del avión durante el vuelo siendo mayor el número de fotografías cuanto menos altura lleve debido a que la fotografía abarcará menos terreno si el dron vuela más bajo.

Obtenido el archivo con las fotografías se inicia el programa, se crea un nuevo proyecto y se configura definiendo el sistema de coordenadas como se ha explicado anteriormente.

Debido a que se había realizado una configuración previa del perfil de trabajo, se pudo utilizar el software de manera rápida.

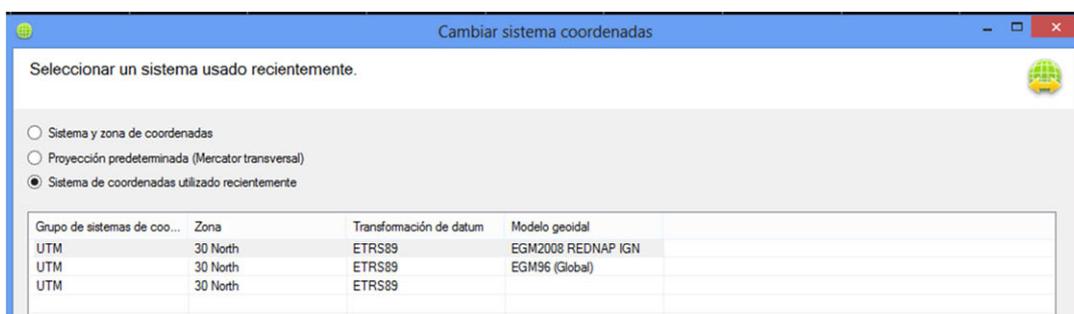


Ilustración 55. Ventana de cambio de sistema de coordenadas

En la siguiente figura se observa la disposición de los fotogramas, así como de los centros de proyección.

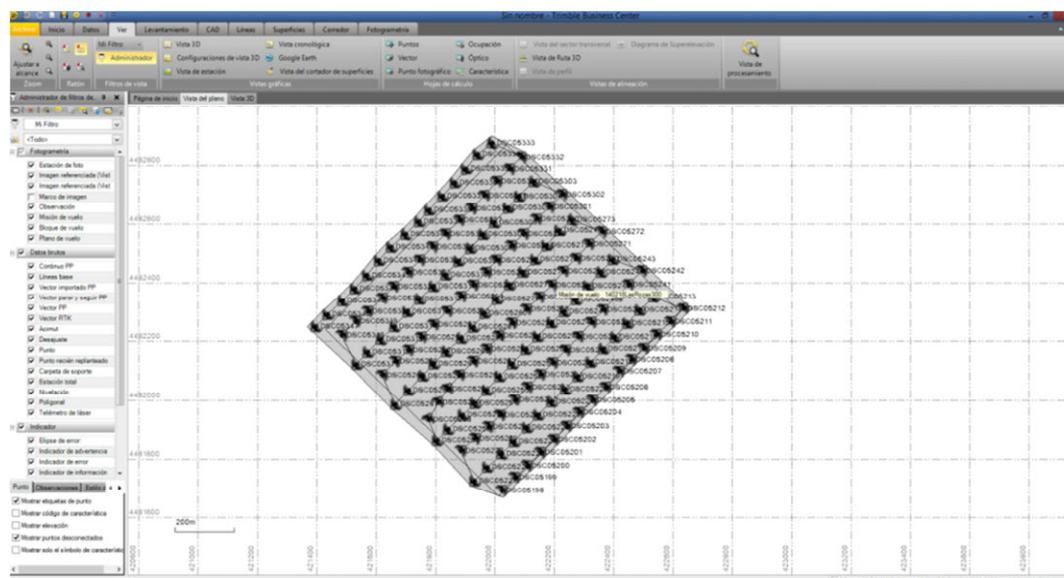


Ilustración 56. Disposición de las pasadas una vez cargado el archivo de vuelo

En la imagen se pueden observar algunos detalles del vuelo. El recuadro que se muestra es la zona que el avión sobrevoló y por tanto que fue medida, las líneas son las trayectorias que siguió el avión durante el vuelo y cada uno de los aviones UX5 dibujados indican donde se realizó cada una de las fotografías que obtuvimos en el proyecto como podemos observar en las siguientes imágenes.

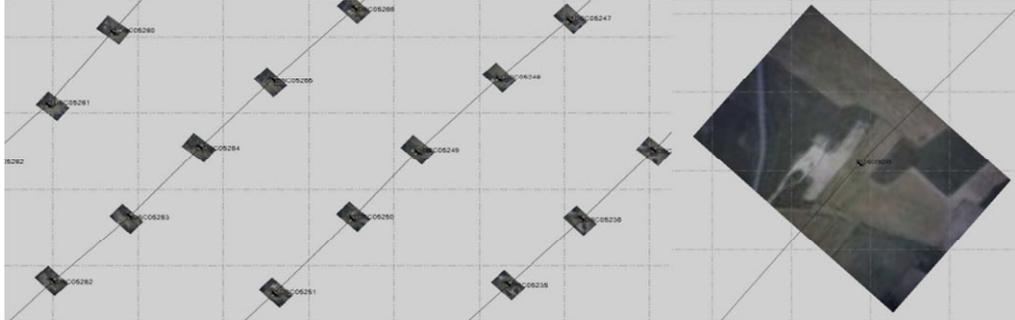


Ilustración 57. Fotografías realizadas por el avión en cada una de las pasadas y ampliación de una de ellas

El software nos permite observar el vuelo en tres dimensiones.

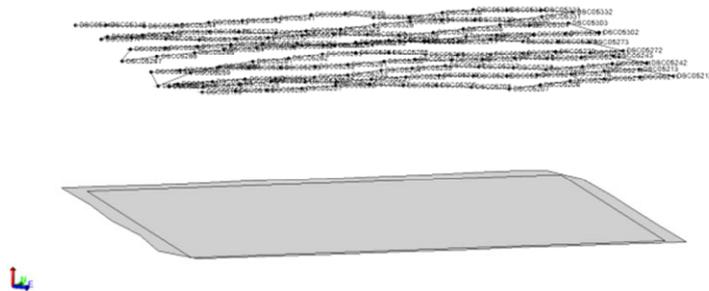


Ilustración 58. Vista 3D de las pasadas

Como se puede observar en las imágenes anteriores la distancia entre pasadas son las correctas, no se superponen las pasadas y se sobrevuela toda la zona programada.

La realización de los vuelos se produjo en dos jornadas de trabajo. En una de las jornadas se voló a 125 metros de altura y en la otra a 300 y 75 metros respectivamente. En los vuelos realizados a 125 y 300 metros se observó en gabinete que las pasadas eran correctas, sin embargo en el vuelo a 75 metros se produjo un error debido a las condiciones climatológicas que existían en el momento del vuelo.

El viento que había en ese momento en la zona producía turbulencias en el avión de ala fija. A una altura de 300 metros esas turbulencias no producían errores ya que el número de pasadas era menor (10 pasadas) y por tanto la distancias entre estas era mucho mayor que en el vuelo de 75 metros dando tiempo al avión a rectificar los desplazamientos provocados por el viento.

En el vuelo a 75 metros (26 pasadas) donde el número de pasadas era mayor, la distancia entre ellas era menor por lo que las turbulencias y movimientos producidos en el avión provocaban que las pasadas no fueran las programadas, esto causaba que el avión se las saltara e hiciera que se cruzaran debido a que no tenía tiempo a rectificar su posición.

Esta incidencia produjo que no fuera posible ajustar las estaciones de foto donde el sistema encuentra puntos comunes y no poder realizar la correlación.

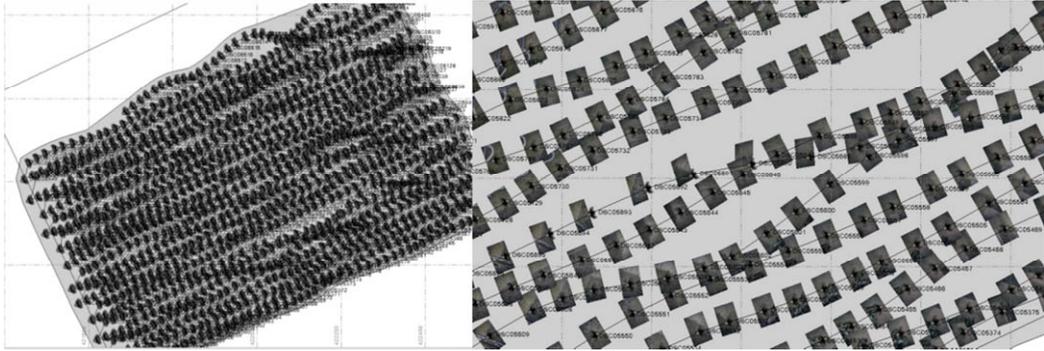


Ilustración 59. Pasadas entrecruzadas en el vuelo a 75 metros

En las imágenes se puede observar que las pasadas se cruzaban, se superponían y llegaban a cambiar de posición. Esta incidencia produjo que a la hora de seguir el proceso de ajuste, el sistema era incapaz de ajustar las estaciones de foto con puntos de enlace encontrando puntos comunes y correlándolos. Por tanto era incapaz de generar los productos que se deseaban como son nubes de puntos, DSM y ortomosaicos.

6.2.2.3. Ajuste de las estaciones

Antes de utilizar los datos importados de las estaciones de fotografía aérea para realizar mediciones de fotogrametría y crear los productos, estas deben de ser ajustadas mediante el software. Se considera como estaciones de foto cada una de las imágenes tomadas por el avión previamente georreferenciadas durante el vuelo.

- Ajuste estaciones de foto con puntos de enlace

Al ajustar las estaciones de foto el sistema busca puntos de enlace homólogos y correla las imágenes de tal modo que las estaciones de fotografía aérea queden orientadas correctamente entre sí.

Se identifican valores de gris y rgb en celdas de 9 píxeles y busca en éstas el diferente. De esta forma se encuentran los puntos de paso. Además, georreferencia según las posiciones GNSS autónomas que se registraron cuando se capturaron las imágenes fotográficas.



Ilustración 60. Ventana al ajustar las estaciones de foto

Al realizar el ajuste de las estaciones de foto el programa ofrece la posibilidad de obtener un informe con el desplazamiento inicial medio de las estaciones de fotos aéreas, la desviación estándar y máxima de los puntos de enlace.

Los puntos de enlace son los puntos comunes a varias fotografías. Los resultados del ajuste permiten evaluar la precisión de los datos de levantamiento aéreo ajustados.

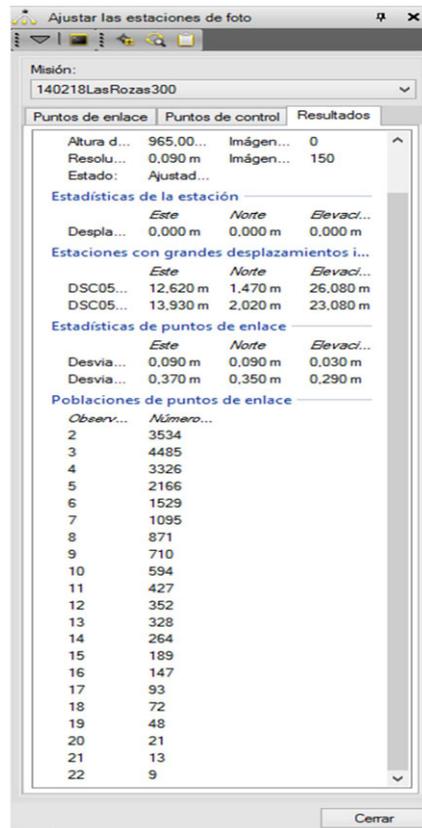


Ilustración 61. Desviaciones máximas, desviaciones estándar y puntos de paso

- Ajuste estaciones de foto con puntos de control

Se realiza un ajuste mediante mínimos cuadrados de los puntos de control, los cuales se comparan con las coordenadas calculadas previamente por el sistema en el proceso anterior de georreferenciación a partir de las posiciones GNSS autónomas que se registraron cuando se capturaron las imágenes fotográficas.

Utilizamos los puntos de control, correctamente señalizados y medidos en campo mediante lonas fácilmente visibles en las fotografías realizadas por el UX5 cuyas coordenadas fueron calculadas mediante GNSS con el método RTK VRS Now.

Anteriormente, se creó una nube de puntos cuyas coordenadas eran aproximadas gracias al sistema de posicionamiento que tiene el UX5. Este proceso sirve para ajustar esas coordenadas de los puntos, de tal forma que se obtengan unas coordenadas cuyas precisiones varían en función del GSD y la altura de vuelo. También es llevado a cabo para poder hacer una calibración de la cámara, cuya calibración se realiza en cada vuelo con ayuda de estos puntos de control.

El GSD del vuelo realizado a 125 metros es de 4 cm y de 9,6 cm en el vuelo a 300 metros.

Las precisiones medias alcanzadas en planimetría son iguales al GSD y en altimetría 1.6 veces el GSD. En el vuelo a 125 metros la precisión será de 4 cm en planimetría y 6.4 cm en altimetría mientras que en el vuelo a 300 metros serán 9.6 cm en planimetría y 15.36 cm en altimetría.

Cuando se realiza este proceso se abre en el programa un archivo de puntos de control medidos en campo. Estos puntos de control son los centros de las lonas bien distribuidas en campo cuyas coordenadas pueden ser calculadas por cualquier método, en este caso se realizó con un equipo GNSS mediante RTK VRS Now.

Se seleccionan cada uno de los puntos de control que se tienen, apareciendo cada una de las lonas correspondientes. Ésto es debido al GNSS instalado en el UX5 que hace que se obtengan unas coordenadas aproximadas de todos los puntos del terreno. Cuando se selecciona un punto de control con sus coordenadas el sistema se sitúa de forma automática en un punto próximo a la lona. Aparece un puntero el cual tiene que ser coincidente con el centro de la lona. Este proceso es realizado manualmente por el operario.



Ilustración 62. Proceso de ajuste de las estaciones de foto con puntos de control

Con el puntero se identifica el centro de la lona en cada una de las diferentes imágenes que van apareciendo sucesivamente por cada punto de apoyo. Cada punto de apoyo debe ser identificado en un mínimo de 6 imágenes. En el caso de que en una de las imágenes no se aprecie con claridad la lona, ésta tendría que ser descartada. El número de imágenes por cada punto de apoyo oscila entre unas 15 y 30 imágenes.

Una vez hecho este proceso, aparece una línea por cada una de las punterías realizadas en cada una de las imágenes.

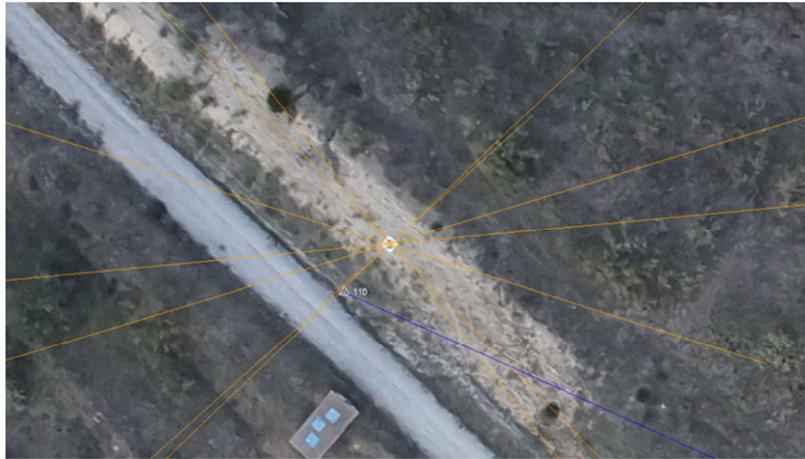


Ilustración 63. Líneas generadas en el proceso de ajuste de estaciones mediante puntos de control

Realizado el proceso de ajuste mediante puntos de control se puede definir la utilización de estos según su relevancia. Pueden aparecer como puntos habilitados, de comprobación o inhabilitados.

Al habilitar los puntos, éstos entran en el cálculo ya que se considera que tienen una posición y mediciones adecuadas. Los seleccionados como comprobación, son utilizados para verificar los resultados. Si se estima que algunos de los puntos tienen malas precisiones y no se desea que entren en el cálculo éstos podrán ser inhabilitados.

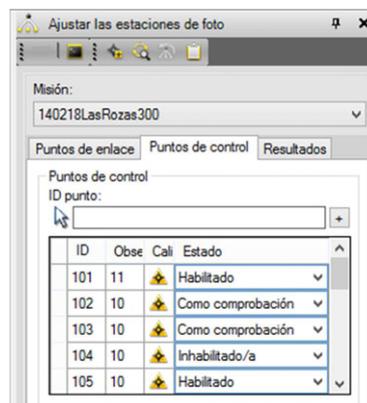


Ilustración 64. Ventana de habilitación, inhabilitación o selección como comprobación de los puntos de control

Una vez que se realiza todo este proceso manual se aplica el ajuste mediante “ajustar con puntos de control” y se hace de forma automática.

Cuando se efectúa el ajuste se genera unos informes en los que se muestra la desviación estándar y desviación máxima de los puntos de paso.

Se ofrece un informe de los residuales de cada uno de los puntos de control terrestre de tal manera que permite observar si alguno de ellos posee unas precisiones que no son lo suficientemente buenas para entrar en el cálculo. Además permite identificar la bondad de las punterías realizadas a los centros de las lonas en el proceso de ajuste de estaciones con puntos de control.

Para estimar si las punterías son tolerables, deben ser comparadas con el GSD del vuelo. Éstas lo serán si no superan 2 veces el valor del GSD en planimetría y 3 veces en altimetría. Si lo sobrepasa superará la tolerancia establecida por el fabricante y tendrá que volverse a medir o ser descartadas.

Punto:	110		
Observación	Este	Norte	Elevación
 DSC05319-110 (P101)	0,010 m	0,140 m	-0,030 m
 DSC05315-110 (P93)	-0,010 m	-0,080 m	0,000 m
 DSC05290-110 (P100)	0,040 m	0,050 m	-0,010 m
 DSC05313-110 (P102)	0,060 m	-0,010 m	-0,010 m
 DSC05288-110 (P97)	-0,030 m	0,050 m	0,010 m
 DSC05314-110 (P94)	0,050 m	-0,030 m	0,000 m
 DSC05317-110 (P98)	-0,020 m	-0,050 m	-0,020 m
 DSC05316-110 (P96)	-0,020 m	-0,050 m	-0,010 m
 DSC05320-110 (P99)	-0,050 m	0,000 m	-0,010 m
 DSC05289-110 (P95)	0,010 m	-0,020 m	0,000 m

Ilustración 65. Ventana de informe de residuales de los puntos de control

6.2.2.4. Creación de nubes de puntos, DSM ráster y ortomosaico

Una vez que se realiza el ajuste de imágenes con puntos de control, se genera los productos buscados. Se generan nubes de puntos, DSM de ráster u ortomosaico.

Nube de puntos, Una nube de puntos es un conjunto de vértices en un sistema de coordenadas tridimensional. Estos vértices se identifican habitualmente como coordenadas X, Y, Z y son representaciones de la superficie externa de un objeto. El sistema crea automáticamente nubes de puntos 3D de estaciones fotogramétricas ajustadas. Se tienen coordenadas precisas de cada uno de los puntos.



Ilustración 66. Nubes de puntos en 3D

DSM raster, Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. El sistema crea automáticamente modelos digitales de superficie 3D a partir de las estaciones fotogramétricas ajustadas. El modelo digital de superficie creado a partir de la nube de puntos generada usando rutinas de interpolación complejas, filtrado de ruido, modelando bordes y detección de valores atípicos para lograr modelos de superficie detallados.

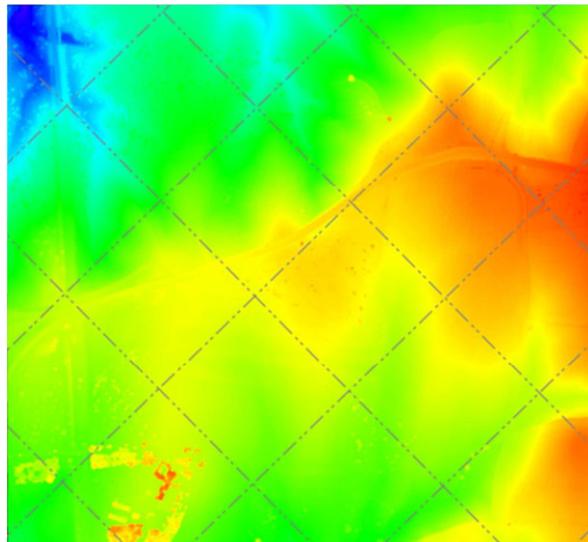


Ilustración 67. DSM ráster

Ortomosaico, la Ortofotografía es un producto cartográfico georreferenciado y corregido de deformaciones, generado a partir de fotografía aérea. Mantiene toda la información de la fotografía y permite además la medición a escala tanto de distancias como de superficies, lo que garantiza el ajuste con los mapas existentes sobre la zona de referencia.

Se crean automáticamente mosaicos georreferenciados ortorectificados de las estaciones ajustadas. La rigurosa rectificación de las ortofotos y el equilibrio radiométrico generan ortomosaicos. Además combinada con la geometría del algoritmo “feature based seamline-finding”, el cual es utilizado para corregir de manera automática las distorsiones producidas en las imágenes por objetos de gran altura situados en el terreno mejorando la calidad de la ortofotografía final.

Se aplican correcciones radiométricas a las imágenes (a una sola imagen o a un grupo de ellas) para obtener una intensidad y unos colores homogéneos.

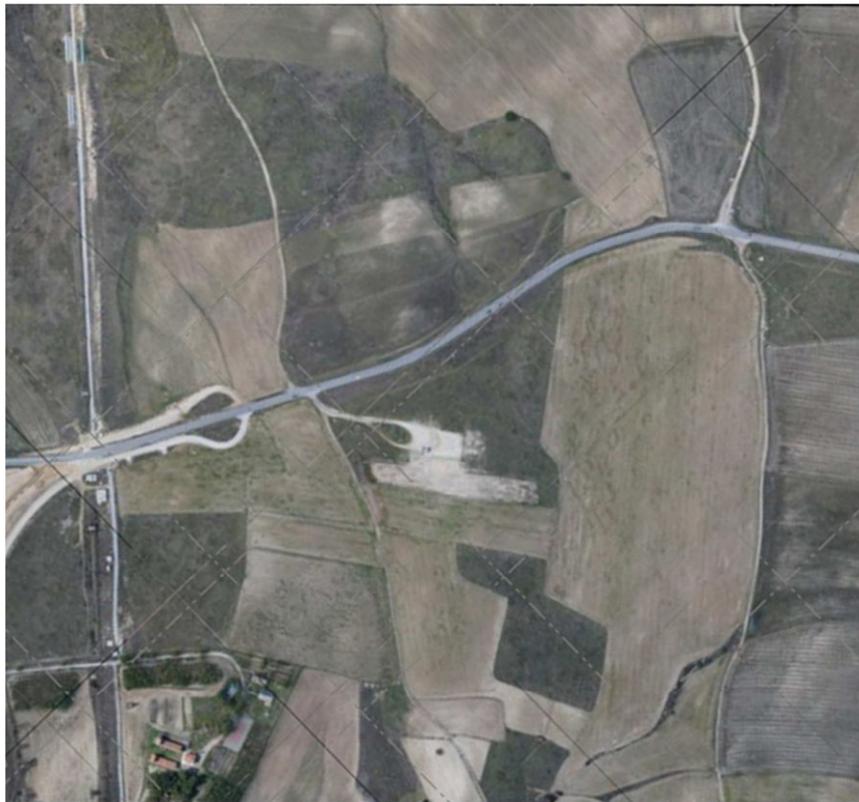


Ilustración 68. Ortofotografía

7. Comparativa entre datos GNSS y Fotogramétricos

Se ha realizado un estudio comparativo entre las diferencias de coordenadas E, N y Z obtenidas con un equipo GNSS con metodología RTK VRS Now y el avión de ala fija UX5 a 125 y 300 metros de altura sobre el terreno. Todos ellos en huso UTM 30 Norte, datum ETRS89 y sin modelo geoidal.

Los datos obtenidos con el equipo GNSS así como las coordenadas de los puntos de apoyo para ambos vuelos fueron realizados en diferentes jornadas de trabajo. Se tuvo en cuenta la toma de puntos comunes necesarios a la hora de realizar el estudio comparativo.

Los puntos de control obtenidos en ambos vuelos fueron distintos ya que las jornadas de trabajo fueron diferentes. La metodología empleada en el vuelo con el UX5 consiste en una distribución homogénea de las lonas en la zona medida así como la posterior recogida de las mismas. Por este motivo, la colocación de las lonas no pudo ser exactamente igual en ambos vuelos.

Otro factor a tener en cuenta es que el número de lonas distribuidas en el terreno en el vuelo a 300 metros es mayor que en realizado a 125 metros lo que genera una mejora de las precisiones en el primer caso.

7.1. Puntos obtenidos con GNSS

	Punto	GNSS		
		E	N	Z
DEPÓSITO 1 NIVEL 1	1942	421.838,460	4.481.974,308	726,877
	1943	421.843,386	4.481.970,057	726,878
	1944	421.840,761	4.481.967,016	726,856
DEPÓSITO 1 NIVEL 2	1946	421.840,628	4.481.967,023	728,255
	1947	421.838,134	4.481.964,149	728,235
DEPÓSITO 1 NIVEL 3	1948	421.835,768	4.481.963,641	728,208
	1949	421.832,841	4.481.966,110	728,226
DEPÓSITO 1 NIVEL 2	1950	421.833,246	4.481.968,436	728,236
	1951	421.835,950	4.481.971,086	728,230
DEPÓSITO 2	1954	421.846,294	4.481.971,318	725,756
	1955	421.849,771	4.481.971,672	726,084
DEPÓSITO 3	1986	421.856,408	4.481.970,901	726,580
	1987	421.850,042	4.481.963,721	726,617
	1988	421.858,839	4.481.955,842	726,604
	1989	421.859,735	4.481.956,530	726,610
	1990	421.861,629	4.481.954,915	726,642
	1991	421.863,661	4.481.957,070	726,636
	1992	421.861,843	4.481.958,758	726,599
DEPÓSITO 4	1993	421.865,284	4.481.962,989	726,612
	2022	421.985,861	4.481.862,242	722,471
	2023	421.982,835	4.481.864,773	722,453
	2024	421.979,506	4.481.860,819	722,457
DEPÓSITO 5	2025	421.982,491	4.481.858,307	722,476
	2026	421.971,417	4.481.869,329	721,749
	2027	421.967,714	4.481.865,014	721,655
	2028	421.971,705	4.481.861,694	721,628
PARKING	2029	421.975,297	4.481.865,979	721,684
	1032	422066,418	4482266,899	729,995
	1033	422067,059	4482266,161	729,952
	1034	422069,372	4482263,624	729,921
	1035	422070,194	4482262,53	729,896
	1036	422072,309	4482259,936	729,779
	1037	422073,365	4482258,639	729,786
	1038	422074,311	4482257,521	729,8
	1041	422082,582	4482248,406	729,508
	1148	422070,036	4482267,416	729,986
	1150	422073,61	4482262,574	729,928
	1151	422075,21	4482261,028	729,823
	1152	422076,538	4482259,149	729,782
	1153	422077,987	4482257,301	729,796
	1154	422079,224	4482255,604	729,786
1156	422081,898	4482251,821	729,667	
HELIPUERTO	1302	422088,316	4482268,928	729,59
	1304	422090,776	4482265,914	729,491
	1306	422091,374	4482271,215	729,635
CARRETERA	4327	421816,092	4481985,733	726,085
	1938	421822,264	4481982,782	726,207
ALCANTARILLA	1910	421892,525	4482085,335	727,419

Tabla 10. Coordenadas de los puntos obtenidos con equipo GNSS

7.2. Puntos obtenidos con UX5 a 125 metros de altura

	Punto	UAV 125		
		E	N	Z
DEPÓSITO 1 NIVEL 1	1942	421838,553	4481974,277	727,213
	1943	421843,475	4481970,152	727,174
	1944	421840,83	4481967,071	727,254
DEPÓSITO 1 NIVEL 2	1946	421840,577	4481967,065	728,571
	1947	421838,186	4481964,166	728,326
DEPÓSITO 1 NIVEL 3	1948	421835,631	4481963,743	728,672
	1949	421832,814	4481966,222	728,609
DEPÓSITO 1 NIVEL 2	1950	421833,346	4481968,379	728,723
	1951	421835,825	4481971,195	728,817
DEPÓSITO 2	1954	421846,35	4481971,269	726,588
	1955	421849,677	4481971,631	726,6
DEPÓSITO 3	1986	421856,373	4481970,985	726,797
	1987	421849,924	4481963,764	726,638
	1988	421858,904	4481955,83	726,432
	1989	421859,649	4481956,623	726,743
	1990	421861,672	4481954,89	726,879
	1991	421863,654	4481957,177	726,784
	1992	421861,714	4481958,999	726,965
	1993	421865,182	4481963,045	726,666
DEPÓSITO 4	2022	421985,951	4481862,249	722,167
	2023	421982,958	4481864,894	722,444
	2024	421979,402	4481860,93	722,028
	2025	421982,395	4481858,285	721,971
DEPÓSITO 5	2026	421971,432	4481869,41	721,705
	2027	421967,716	4481865,099	721,641
	2028	421971,674	4481861,715	721,481
	2029	421975,39	4481866,025	721,705
PARKING	1032	422066,352	4482267,052	730,021
	1033	422067,063	4482266,218	729,971
	1034	422069,284	4482263,635	729,899
	1035	422070,089	4482262,547	729,904
	1036	422072,31	4482259,964	729,755
	1037	422073,291	4482258,711	729,755
	1038	422074,183	4482257,541	729,804
	1041	422082,516	4482248,387	729,555
	1148	422070,021	4482267,424	730,031
	1150	422073,68	4482262,66	729,949
	1151	422075,185	4482261,081	729,87
	1152	422076,7	4482259,16	729,836
	1153	422078,127	4482257,322	729,845
	1154	422079,295	4482255,561	729,833
	1156	422081,896	4482251,792	729,751
	HELIPUERTO	1302	422088,375	4482268,942
1304		422090,778	4482266,022	729,565
1306		422091,467	4482271,35	729,662
CARRETERA	4327	421816,11	4481985,725	726,45
	1938	421822,198	4481982,664	726,616
ALCANTARILLA	1910	421892,49	4482085,442	727,703

Tabla 11. Coordenadas de los puntos obtenidos con UX5 volando a 125 metros

7.3. Puntos obtenidos con UX5 a 300 metros de altura

	Punto	UAV 300		
		E	N	Z
DEPÓSITO 1 NIVEL 1	1942	421838,577	4481974,141	726,911
	1943	421843,589	4481970,064	726,674
	1944	421840,862	4481967,25	726,997
DEPÓSITO 1 NIVEL 2	1946	421840,473	4481966,848	727,26
	1947	421838,336	4481964,241	727,128
DEPÓSITO 1 NIVEL 3	1948	421835,773	4481963,607	728,09
	1949	421832,765	4481966,133	727,044
DEPÓSITO 1 NIVEL 2	1950	421833,519	4481968,52	727,639
	1951	421836,051	4481971,133	728,495
DEPÓSITO 2	1954	421846,34	4481971,294	726,196
	1955	421849,701	4481971,545	726,256
DEPÓSITO 3	1986	421856,441	4481970,859	726,327
	1987	421850,02	4481963,831	726,212
	1988	421859,052	4481955,858	726,048
	1989	421859,831	4481956,662	726,388
	1990	421861,834	4481955,11	726,3
	1991	421863,782	4481957,12	726,348
	1992	421861,973	4481958,873	726,616
DEPÓSITO 4	2022	421985,806	4481862,253	721,986
	2023	421983,194	4481864,758	722,194
	2024	421979,493	4481860,967	721,62
	2025	421982,502	4481858,441	721,698
DEPÓSITO 5	2026	421971,448	4481869,153	721,519
	2027	421967,753	4481864,939	721,281
	2028	421971,761	4481861,835	721,11
	2029	421975,26	4481865,848	721,275
PARKING	1032	422066,341	4482266,684	730,13
	1033	422066,943	4482266,1	730,099
	1034	422069,355	4482263,763	730,043
	1035	422070,366	4482262,393	729,993
	1036	422072,188	4482259,849	729,891
	1037	422073,394	4482258,68	729,87
	1038	422074,204	4482257,505	729,892
	1041	422082,463	4482248,333	729,657
	1148	422070,091	4482267,337	730,087
	1150	422073,532	4482262,443	730,018
	1151	422075,14	4482260,885	729,937
	1152	422076,553	4482259,126	729,925
	1153	422077,966	4482257,367	729,882
	1154	422079,379	4482255,607	729,872
	1156	422082,011	4482251,888	729,796
HELIPUERTO	1302	422088,471	4482269,011	729,736
	1304	422090,895	4482265,882	729,645
	1306	422091,405	4482271,234	729,793
CARRETERA	4327	421816,228	4481985,665	726,171
	1938	421822,214	4481982,593	726,345
ALCANTARILLA	1910	421892,642	4482085,431	727,461

Tabla 12. Coordenadas de los puntos obtenidos con UX5 a 300 metros

7.4. Comparativa entre medidas

- Entre GNSS y UX5 a 125 metros. Diferencias en las coordenadas E, N, Z en metros

	Punto	DIFERENCIA GNSS-UAV 125		
		E	N	Z
DEPÓSITO 1 NIVEL 1	1942	0,093	0,031	0,336
	1943	0,089	0,095	0,296
	1944	0,069	0,055	0,398
DEPÓSITO 1 NIVEL 2	1946	0,051	0,042	0,316
	1947	0,052	0,017	0,091
DEPÓSITO 1 NIVEL 3	1948	0,137	0,102	0,464
	1949	0,027	0,112	0,383
DEPÓSITO 1 NIVEL 2	1950	0,100	0,057	0,487
	1951	0,125	0,109	0,587
DEPÓSITO 2	1954	0,056	0,049	0,832
	1955	0,094	0,041	0,516
DEPÓSITO 3	1986	0,035	0,084	0,217
	1987	0,118	0,043	0,021
	1988	0,065	0,012	0,172
	1989	0,086	0,093	0,133
	1990	0,043	0,025	0,237
	1991	0,007	0,107	0,148
	1992	0,129	0,241	0,366
DEPÓSITO 4	1993	0,102	0,056	0,054
	2022	0,09	0,007	0,304
	2023	0,123	0,121	0,009
	2024	0,104	0,111	0,429
DEPÓSITO 5	2025	0,096	0,022	0,505
	2026	0,015	0,081	0,044
	2027	0,002	0,085	0,014
	2028	0,031	0,021	0,147
	2029	0,093	0,046	0,021
PARKING	1032	0,066	0,153	0,026
	1033	0,004	0,057	0,019
	1034	0,088	0,011	0,022
	1035	0,105	0,017	0,008
	1036	0,001	0,028	0,024
	1037	0,074	0,072	0,031
	1038	0,128	0,020	0,004
	1041	0,066	0,019	0,047
	1148	0,015	0,008	0,045
	1150	0,070	0,086	0,021
	1151	0,025	0,053	0,047
	1152	0,162	0,011	0,054
	1153	0,140	0,021	0,049
HELIPUERTO	1154	0,071	0,043	0,047
	1156	0,002	0,029	0,084
	1302	0,059	0,014	0,027
CARRETERA	1304	0,002	0,108	0,074
	1306	0,093	0,135	0,027
ALCANTARILLA	4327	0,018	0,008	0,365
	1938	0,066	0,118	0,409
	1910	0,035	0,107	0,284

Tabla 13. Diferencia de coordenadas de los puntos entre equipo GNSS y UX5 a 125 metros

- Entre GNSS y UX5 a 300 metros. Diferencia de coordenadas en E, N y Z en metros

	Punto	DIFERENCIA GNSS-UAV 300		
		E	N	Z
DEPÓSITO 1 NIVEL 1	1942	0,117	0,167	0,034
	1943	0,203	0,007	0,204
	1944	0,101	0,234	0,141
DEPÓSITO 1 NIVEL 2	1946	0,155	0,175	0,995
	1947	0,202	0,092	1,107
DEPÓSITO 1 NIVEL 3	1948	0,005	0,034	0,118
	1949	0,076	0,023	1,182
DEPÓSITO 1 NIVEL 2	1950	0,273	0,084	0,597
	1951	0,101	0,047	0,265
DEPÓSITO 2	1954	0,046	0,024	0,440
	1955	0,070	0,127	0,172
DEPÓSITO 3	1986	0,033	0,042	0,253
	1987	0,022	0,110	0,405
	1988	0,213	0,016	0,556
	1989	0,096	0,132	0,222
	1990	0,205	0,195	0,342
	1991	0,121	0,050	0,288
	1992	0,130	0,115	0,017
DEPÓSITO 4	1993	0,012	0,092	0,587
	2022	0,055	0,011	0,485
	2023	0,359	0,015	0,259
	2024	0,013	0,148	0,837
DEPÓSITO 5	2025	0,011	0,134	0,778
	2026	0,031	0,176	0,230
	2027	0,039	0,075	0,374
	2028	0,056	0,141	0,518
PARKING	2029	0,037	0,131	0,409
	1032	0,077	0,215	0,135
	1033	0,116	0,061	0,147
	1034	0,017	0,139	0,122
	1035	0,172	0,137	0,097
	1036	0,121	0,087	0,112
	1037	0,029	0,041	0,084
	1038	0,107	0,016	0,092
	1041	0,119	0,073	0,149
	1148	0,055	0,079	0,101
	1150	0,078	0,131	0,090
	1151	0,070	0,143	0,114
	1152	0,015	0,023	0,143
	1153	0,021	0,066	0,086
	1154	0,155	0,003	0,086
1156	0,113	0,067	0,129	
HELIPUERTO	1302	0,155	0,083	0,146
	1304	0,119	0,032	0,154
	1306	0,031	0,019	0,158
CARRETERA	4327	0,136	0,068	0,086
	1938	0,050	0,189	0,138
ALCANTARILLA	1910	0,117	0,096	0,042

Tabla 14. Diferencia de coordenadas de los puntos entre equipo GNSS y UX5 a 300 metros

- Entre UX5 volando a 125 y 300 metros. Diferencia de coordenadas en E, N y Z en metros

	Punto	DIFERENCIA ENTRE UAVS		
		E	N	Z
DEPÓSITO 1 NIVEL 1	1942	0,024	0,136	0,302
	1943	0,114	0,088	0,500
	1944	0,032	0,179	0,257
DEPÓSITO 1 NIVEL 2	1946	0,104	0,217	1,311
	1947	0,150	0,075	1,198
DEPÓSITO 1 NIVEL 3	1948	0,142	0,136	0,582
	1949	0,049	0,089	1,565
DEPÓSITO 1 NIVEL 2	1950	0,173	0,141	1,084
	1951	0,226	0,062	0,322
DEPÓSITO 2	1954	0,010	0,025	0,392
	1955	0,024	0,086	0,344
DEPÓSITO 3	1986	0,068	0,126	0,470
	1987	0,096	0,067	0,426
	1988	0,148	0,028	0,384
	1989	0,182	0,039	0,355
	1990	0,162	0,220	0,579
	1991	0,128	0,057	0,436
	1992	0,259	0,126	0,349
DEPÓSITO 4	1993	0,090	0,036	0,641
	2022	0,145	0,004	0,181
	2023	0,236	0,136	0,250
	2024	0,091	0,037	0,408
DEPÓSITO 5	2025	0,107	0,156	0,273
	2026	0,016	0,257	0,186
	2027	0,037	0,160	0,360
	2028	0,087	0,120	0,371
	2029	0,130	0,177	0,430
PARKING	1032	0,011	0,368	0,109
	1033	0,120	0,118	0,128
	1034	0,071	0,128	0,144
	1035	0,277	0,154	0,089
	1036	0,122	0,115	0,136
	1037	0,103	0,031	0,115
	1038	0,021	0,036	0,088
	1041	0,053	0,054	0,102
	1148	0,070	0,087	0,056
	1150	0,148	0,217	0,069
	1151	0,045	0,196	0,067
	1152	0,147	0,034	0,089
	1153	0,161	0,045	0,037
	1154	0,084	0,046	0,039
	1156	0,115	0,096	0,045
HELIPUERTO	1302	0,096	0,069	0,119
	1304	0,117	0,140	0,080
	1306	0,062	0,116	0,131
CARRETERA	4327	0,118	0,060	0,279
	1938	0,016	0,071	0,271
ALCANTARILLA	1910	0,152	0,011	0,242

Tabla 15. Diferencia de coordenadas de los puntos entre UX5 a 125 metros y UX5 a 300 metros

7.5. Diferencia de alturas mediante intervalos

Para la obtención y muestra de las diferencias de altura obtenidas entre los datos GNSS y los dos vuelos, se creó con el programa Geomedia dos mapas de intervalos en el que se pudo observar en que zonas las diferencias de alturas eran mayores y en cuales eran menores.

Geomedia permitió almacenar la información numérica que ya se tenía en Excel en una Base de Datos, así como introducir la Ortofoto definiendo pocos parámetros.

Los datos que se introdujeron en la base de datos eran las coordenadas de 48 puntos significativos tomados en campo y obtenidos en el vuelo y sus diferencias de altura.

Una vez insertada la ortoimagen georreferenciada, se añadió una leyenda temática en la que se definieron 7 intervalos que mediante colores se indicaba en que puntos la diferencia de altura era mayor y en cuales era menor.

En la comparativa entre los datos GNSS y el vuelo a 125 metros, los resultados obtenidos fueron los siguientes

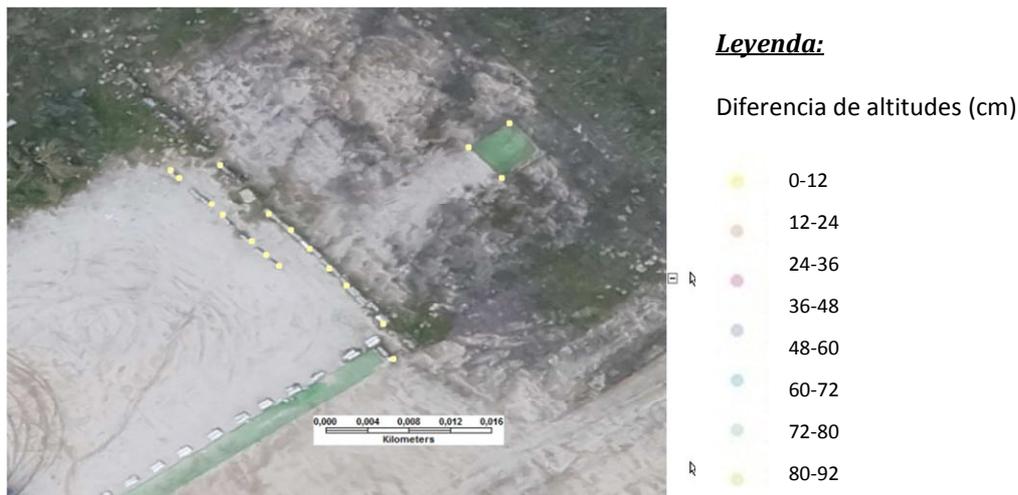


Ilustración 69. Imagen propia obtenida en Geomedia y leyenda correspondiente, diferencia GNSS y vuelo 125 m

Acercándose a las zonas donde había más puntos característicos, se observa que en las zonas sin objetos de gran altura, como es la que aparece en la imagen perteneciente a la pista de vuelo, las diferencias de altura entre GNSS y los vuelos son mínimas (a pesar de los pequeños bordillos que separan la zona de aparcamiento de la zona de vuelo).



Leyenda:

Diferencia de altitudes (cm)

- 0-12
- 12-24
- 24-36
- 36-48
- 48-60
- 60-72
- 72-80
- 80-92

Ilustración 70. Imagen propia obtenida en Geomedia y leyenda correspondiente, diferencia GNSS y vuelo 125 m

Sin embargo, en zonas donde el terreno tiene elementos de gran altura, como en este caso depósitos con diferentes niveles, observamos que las diferencias de altura entre GNSS y vuelo son mayores.

Los motivos por los que las diferencias de altura son mayores en la zona de depósitos que en el aeródromo son debidos a que se midió con el equipo GNSS en el suelo cada una de las esquinas de los depósitos, así como las esquinas de cada una de los niveles que tenían, mientras que el avión no pudo identificar con tanta precisión los saltos de altura.

La causa principal de estas disimilitudes entre alturas estriba en que la medida de las coordenadas de los puntos de apoyo de ese lugar no fueron todo lo precisas que deberían ser y hacen que las alturas no se hayan medido con tanta precisión como en el otros sectores.

Por otro lado, en la comparativa obtenida entre los datos GNSS y el vuelo realizado a 300 metros, los resultados obtenidos fueron los siguientes.



Leyenda:

Diferencia de altitudes (cm)

- 0-18
- 18-34
- 34-52
- 52-68
- 68-85
- 85-100
- 100-120

Ilustración 71. Imagen propia obtenida en Geomedia y leyenda correspondiente, diferencia GNSS y vuelo 300 m

En este caso, en la pista de vuelo las diferencias de altura también son mínimas ya que se trata de una zona libre de elementos con grandes alturas.



Ilustración 72. Imagen propia obtenida en Geomedia y leyenda correspondiente, diferencia GNSS y vuelo 300 m

Si se analiza la zona de los depósitos como en el caso anterior se ve que, a diferencia de los resultados obtenidos en el vuelo a 125 metros donde se comprueba que las diferencias de alturas son muy dispares, en el vuelo a 300 metros se observa que las diferencias de altura son más pequeñas. Los puntos con mayor diferencia pertenecen a zonas de mayor vegetación con árboles o matorrales.

Estudiando las leyendas, se ve que en el caso del vuelo a 300 metros la mayoría de los puntos se encuentran en el primer intervalo y según aumentan las diferencias, disminuyen el número de puntos. Sin embargo, en el vuelo a 125 metros eso no ocurre, ya que hay bastantes puntos que tienen diferencias grandes de alturas.

Por lo que se puede decir que en este caso las coordenadas de los puntos de apoyo y el vuelo a 300 metros producen mejores resultados y más fiables. Los productos obtenidos con estos datos serán más precisos y con mayor calidad.

Observando los resultados de ambos vuelos se deduce la gran importancia de medir correctamente los puntos de control para obtener unos buenos resultados en los productos que se generen.

7.6. Comparativa entre superficies generadas GNSS y UX5

Con el software empleado en la producción de los diferentes resultados se crearon superficies a partir de la nube de puntos medida mediante equipo GNSS y a partir de la generada a través de las fotografías y datos obtenidos por el avión de ala fija UX5.

Se realizó un estudio comparativo entre ambas superficies utilizando mapas de color con el objetivo de observar y analizar las diferencias existentes entre las altitudes obtenidas mediante ambos métodos.

Con los vuelos, realizados a 125 metros y 300 metros de altura, se obtienen unos GSD de 4 cm y 9,6 cm respectivamente. En cuanto a las precisiones de los puntos generados, estos equivalen a 1,6 veces el GSD en altimetría. Por tanto, en el vuelo a 125 metros los valores oscilan entre los 6,4 cm mientras que en el vuelo a 300 alcanza valores en torno a los 15,36 cm. Por otro lado, las precisiones obtenidas con el equipo GNSS mediante metodología RTK VRS Now alcanzan el valor de un centímetro en altimetría.

Debido a los diferentes valores de GSD se observan, para una misma zona, diferencias superiores en el vuelo a 300 metros que en el vuelo realizado a 125 metros.

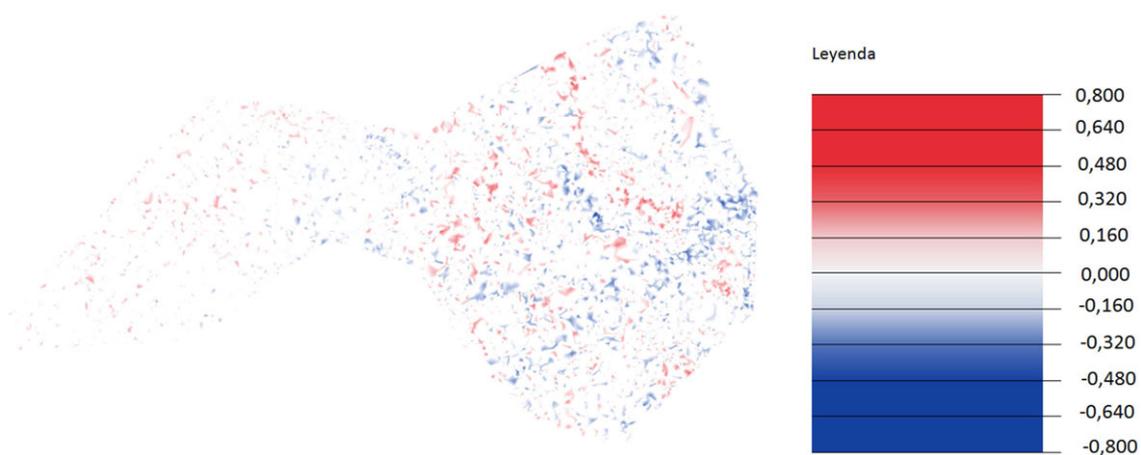


Ilustración 73. Diferencia superficie entre GNSS y vuelo a 300 metros

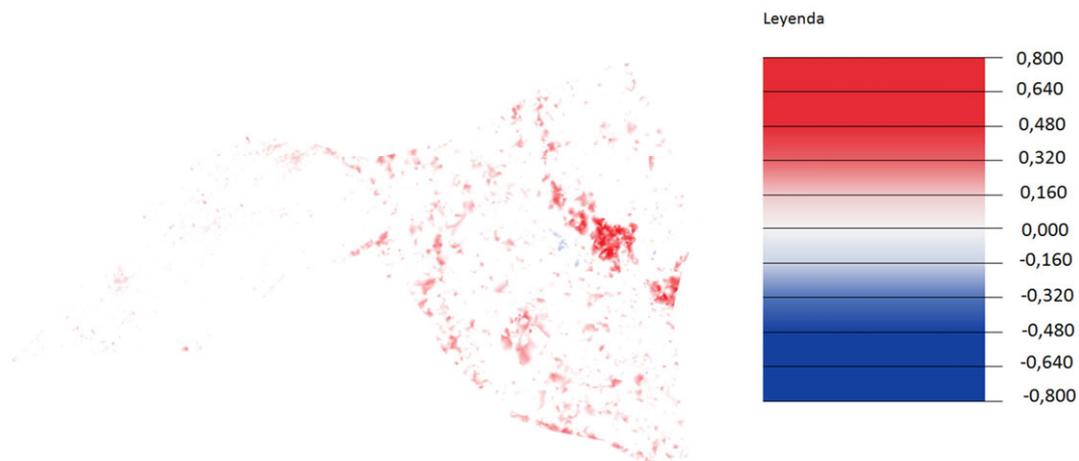


Ilustración 74. Diferencia superficie entre GNSS y vuelo a 125 metros

Las diferencias de altura en los mapas de color son las esperadas en ambos vuelos, así como las precisiones obtenidas son las esperadas con anterioridad en función del GSD. En los lugares con vegetación, matorrales altos y árboles en donde las diferencias de alturas son mayores. Esto se observa con la tonalidad más oscura de rojo como se ve en la ilustración anterior.

Se realizó un análisis de los sectores donde se producían las mayores diferencias. Se observaron las zonas donde aparecían colores más oscuros, es decir, donde se ha tenido mayor error a la hora de medir la altimetría.

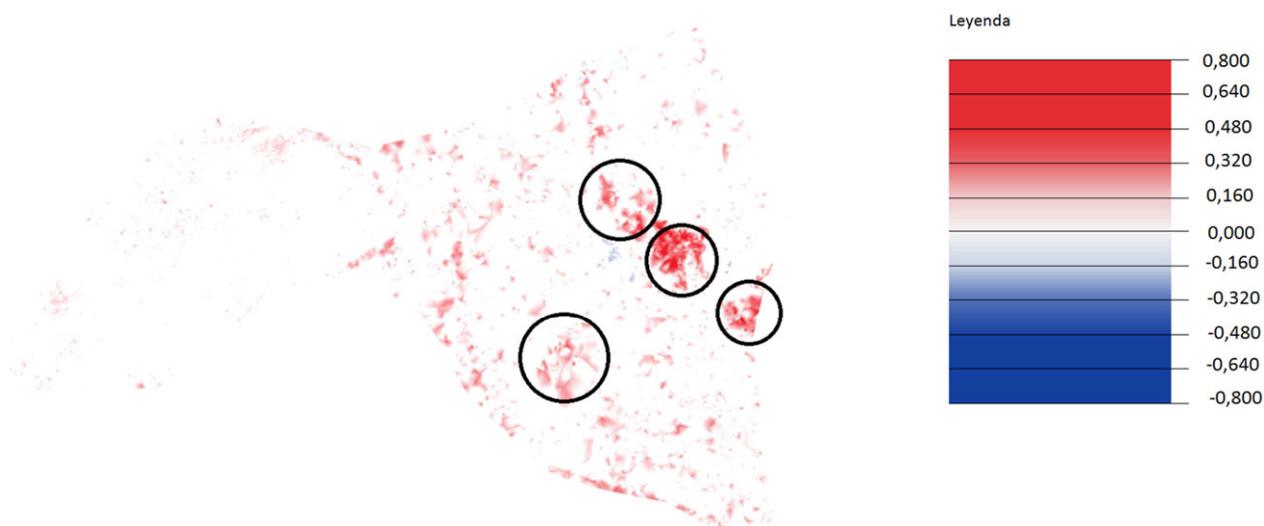


Ilustración 75. Diferencia superficie entre GNSS y vuelo a 125 metros. Círculos en sectores con mayor diferencia



Ilustración 76. Ortofotografía del sector analizado. Círculos en las zonas con mayores diferencias

Se examinaron ambas imágenes de la misma región y se dedujo que los lugares donde se producían las mayores diferencias se daban debido a la presencia de masa forestal como se puede apreciar en la ortofotografía.

Se estudiaron las zonas donde las diferencias eran menores, es decir, el error era muy pequeño. Se examinaron los sectores donde aparecían los colores más claros.

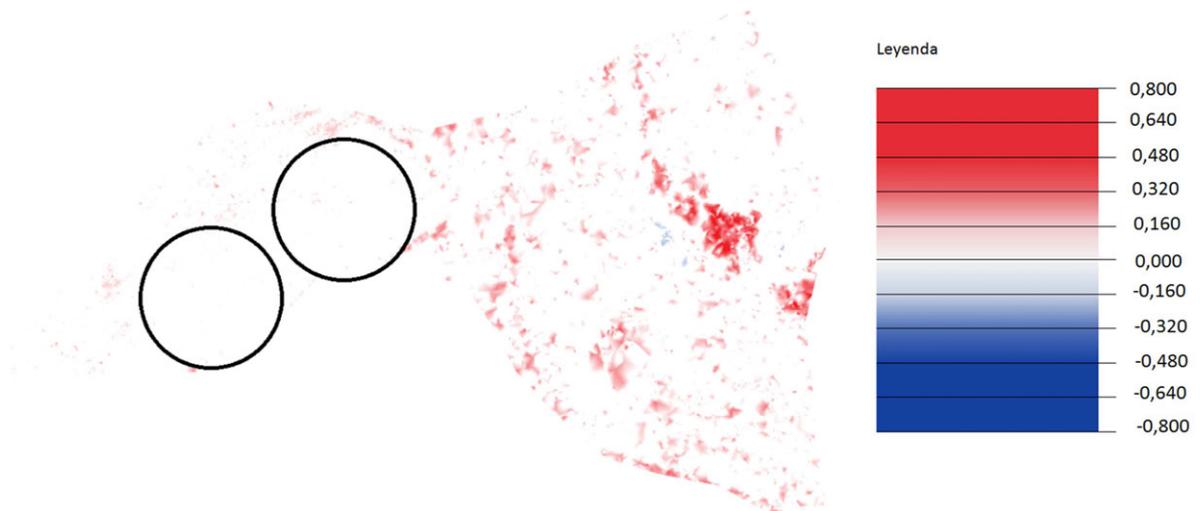


Ilustración 77. Diferencia superficie entre GNSS y vuelo a 125 metros. Círculos en sectores con menor diferencia



Ilustración 78. Ortofotografía del sector analizado. Círculos en las zonas con menores diferencias

Se compararon ambas imágenes y, con ayuda de la ortofotografía, se concluyó que las áreas con menor diferencia y por tanto mayor precisión se daban en zonas sin vegetación ni masa forestal.

Como conclusión, después del análisis, se puede deducir que las zonas con masa forestal, matorral y vegetación provocan que las precisiones sean menores que en lugares descampados donde las precisiones llegan a ser muy altas.

8. Estudio de precisiones

El análisis de precisiones se hizo atendiendo a los objetivos de este PFC.

8.1. Producción cartográfica clásica

Dado que este proyecto no contaba con una escala previa fijada y que la tolerancia considerada para la producción de cartografía por métodos clásicos GNSS depende de este parámetro, en este apartado se va a determinar cuáles serán las escalas a las que se podrá generar cartografía clásica a partir de las tolerancias y precisiones que se obtuvieron con el equipo GNSS y el avión volando a dos alturas.

Haciendo referencia al apartado 5.2.3.6. *Rendimiento de la adquisición* de este proyecto se puede observar que la resolución del GSD en un vuelo a 125 metros de altura es de 4 cm, por lo que utilizando el concepto de límite de percepción visual que se define como la “distancia que dos segmentos tienen que estar separados para que se les pueda apreciar como discontinuos”, se puede ver que si se genera una cartografía a escala 1/500 la tolerancia planimétrica será:

$$\text{Tolerancia planimétrica} = 0.2 \text{ mm} * 500 = 100 \text{ mm ó } 10 \text{ cm}$$

Si se quisiera generar una cartografía a escala 1/200 la tolerancia planimétrica en este caso sería:

$$\text{Tolerancia planimétrica} = 0.2 \text{ mm} * 200 = 40 \text{ mm ó } 4 \text{ cm}$$

Este valor se encontraría dentro de la tolerancia, pero teniendo en cuenta las precisiones del GSD que se estimaron como 1 para planimetría y 1,6 para altimetría, se puede decir que para un vuelo a 125 metros la cartografía clásica más adecuada sería a escala 1/500.

La tolerancia altimétrica se obtiene a partir de la equidistancia. Para la zona de trabajo de este PFC se estableció una equidistancia de 5 metros.

$$\text{Tolerancia altimétrica} = \frac{1}{4} * 5 \text{ m} = 1,25 \text{ metros}$$

$$\text{Precisión altimétrica} = 1,6 * \text{GSD} = 1,6 * 4 \text{ cm} = 6,4 \text{ cm}$$

Haciendo referencia al mismo apartado 5.2.3.6. *Rendimiento de la adquisición*, se puede observar que para una altura de vuelo de 300 metros la resolución del GSD es de 9,6 cm. En este caso, se va a calcular las tolerancias a escala de 1/1000 y de 1/500.

Para una escala cartográfica 1/1000 se observa que la tolerancia planimétrica y altimétrica es:

$$\text{Tolerancia planimétrica} = 0.2 \text{ mm} * 1000 = 200 \text{ mm ó } 20 \text{ cm}$$

$$\text{Tolerancia altimétrica} = \frac{1}{4} * 5 = 1,25 \text{ metros}$$

$$\text{Precisión altimétrica} = 1,6 * \text{GSD} = 1,6 * 9,6 \text{ cm} = 15,36 \text{ cm}$$

Por otro lado, para una escala a 1/500 la tolerancia planimétrica y la tolerancia altimétrica es:

$$\text{Tolerancia planimétrica} = 0,2 \text{ mm} * 500 = 100 \text{ mm ó } 10 \text{ cm}$$

$$\text{Tolerancia altimétrica} = \frac{1}{4} * 5 = 1,25 \text{ metros}$$

$$\text{Precisión altimétrica} = 1,6 * \text{GSD} = 1,6 * 9,6 \text{ cm} = 15,36 \text{ cm}$$

En este caso, se observa que para una escala 1/500 la tolerancia planimétrica es menor que la resolución del GSD por lo que no se podría generar cartografía clásica a esta escala ya que no ofrecería confianza. Por tanto, a una altura de vuelo de 300 y con una resolución del GSD de 9,6 cm la escala apropiada para generar cartografía clásica sería 1/1000.

Para el sistema GNSS las desviaciones típicas del equipo Trimble R8 empleado en este PFC fueron las siguientes.

MEDICION CINEMATICA EN TIEMPO REAL Línea base individual <30 km	
Horizontal	8 mm +1 ppm RMS
Vertical	15 mm + 1 ppm RMS
Tiempo de inicialización	<8 segundos
Confiabilidad de inicialización	99,9%

Tabla 16. Precisiones Trimble R8 en RTK

Puesto que los datos que se obtuvieron con el equipo GNSS estaban referidos a la red VRS Now, que ya explicamos en el apartado 5.1.1.1. *Método Trimble VRS Now*, estos no tienen error debido a la distancia a la base que proporciona correcciones en tiempo real.

Como estas precisiones son inferiores a las tolerancias establecidas, podemos dar el trabajo por válido.

8.2. Control de calidad de los puntos medidos

Para la obtención de la confianza de los resultados obtenidos en la comparativa de los datos con GNSS con los dos vuelos realizados, se crearon gráficos de control.

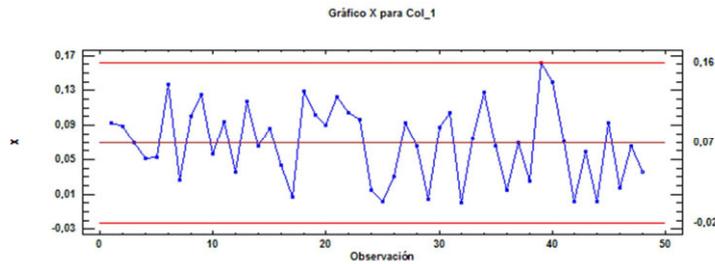
Dichos gráficos fueron realizados con el programa Statgraphics ya que se trata de una potente herramienta para el análisis de datos combinándolo con gráficos interactivos.

Para el presente PFC se crearon gráficos X-Bar y S que crea gráficos de control para una variable numérica cuando los datos han sido recabados en subgrupos. Creamos un gráfico X-Bar para monitorear las medias grupales y un gráfico S para obtener las desviaciones estándar subgrupales.

El proceso a seguir para la obtención de los gráficos de control fue la siguiente:

- Captura de datos: Introducimos las medidas originales. En este caso, los datos analizados consistieron en las mediciones originales tomadas de una simple variable.
- Obtención de gráficos X-Bar
- Obtención de datos S

El gráfico X-Bar obtiene las medias de los subgrupos.



La línea central y los límites de control son determinados a partir de los datos. La línea central está localizada en el promedio cargado de las medias de los subgrupos.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^m n_j \bar{x}_j}{\sum_{j=1}^m n_j}$$

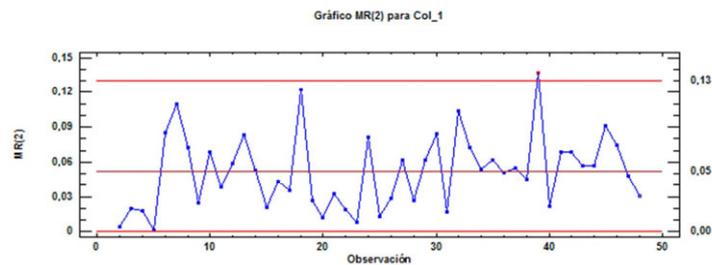
Los límites de control son colocados arriba y debajo de la línea central en:

$$\bar{x} \pm k \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde k es múltiplo de sigma, σ es la estimación de la sigma del proceso y n es el tamaño subgrupal.

Cualquier punto más allá de los límites de control será señalado usando un símbolo de punto especial. Cualquier punto excluido del análisis, será indicado con una X.

Por otro lado, el gráfico S obtiene las desviaciones estándar de los subgrupos.



La línea central y los límites de control son determinados a partir de los datos. La línea central está localizada en:

$$CL = \bar{\sigma}$$

Los límites de control son localizados arriba y debajo de la línea central en los siguientes lugares:

$$CL \pm \frac{K\sigma}{c(n)}\sqrt{1 - C^2(n)}$$

Donde k es el múltiplo de sigma, σ es la estimación de la sigma del proceso y n es el tamaño subgrupal. El gráfico S para los datos de la muestra no muestra señales inusuales.

Finalmente, en el cuadro “Reporte Gráfico para Individuos” obtendremos los valores que se muestran en los gráficos de control. Los puntos que se encuentran fuera del control de los resultados obtenidos están indicados por un asterisco, mientras que los puntos excluidos de los cálculos están indicados por una X.

Reporte Gráfico para Individuos
 Todas las Observaciones
 X = Excluida * = Fuera de Límites

Observación	X	MR(2)
1	0,093	
2	0,089	0,004
3	0,069	0,02
4	0,051	0,018
5	0,052	0,001
6	0,137	0,085
7	0,027	0,11
8	0,1	0,073
9	0,125	0,025
10	0,056	0,069
11	0,094	0,038
12	0,035	0,059
13	0,118	0,083
14	0,065	0,053
15	0,086	0,021
16	0,043	0,043
17	0,007	0,036
18	0,129	0,122
19	0,102	0,027
20	0,09	0,012
21	0,123	0,033
22	0,104	0,019
23	0,096	0,008
24	0,015	0,081
25	0,002	0,013
26	0,031	0,029
27	0,093	0,062
28	0,066	0,027
29	0,004	0,062
30	0,088	0,084
31	0,105	0,017
32	0,001	0,104
33	0,074	0,073
34	0,128	0,054
35	0,066	0,062
36	0,015	0,051
37	0,07	0,055
38	0,025	0,045
39	* 0,162	* 0,137
40	0,14	0,022
41	0,071	0,069
42	0,002	0,069
43	0,059	0,057
44	0,002	0,057
45	0,093	0,091
46	0,018	0,075
47	0,066	0,048
48	0,035	0,031

El resumen de análisis resume los datos y los gráficos de control:

Gráfico de Individuos - Col 1
 Número de observaciones = 48
 0 observaciones excluidas

Distribución: Normal
 Transformación: ninguna

Gráfico X

Periodo	#1-48
LSC: +2,0 sigma	0,16103
Linea Central	0,0692083
LIC: -2,0 sigma	-0,022613

1 fuera de limites

Gráfico MR(2)

Periodo	#1-48
LSC: +2,0 sigma	0,130065
Linea Central	0,0517872
LIC: -2,0 sigma	0,0

1 fuera de limites

Estimados

Periodo	#1-48
Media de proceso	0,0692083
Sigma de proceso	0,0459107
MR(2) promedio	0,0517872

Sigma estimada a partir del rango móvil promedio

En esta tabla se encuentran incluidos:

- Información subgrupal
- Distribución asumida para los datos
- Cualquier transformación que haya sido aplicada a los datos
- Gráfico X-Bar
- Gráfico S
- Estimaciones de la medida del proceso y la desviación estándar del proceso
- Promedio S, correspondiente a las desviaciones estándar de los subgrupos

En el siguiente cuadro se muestra los resultados de la media, la desviación estándar y el nivel de confianza conseguidos en cada una de las coordenadas (E, N, Z) comparando los datos obtenidos mediante metodología GNSS y los vuelos a 125 y 300 metros de altura.

	Datos GNSS y vuelo a 125 metros			Datos GNSS y vuelo a 300 metros		
	Media	Desviación estándar	Nivel de confianza	Media	Desviación estándar	Nivel de confianza
Coordenada E	0,07	0,05	95%	0,10	0,07	95%
Coordenada N	0,07	0,05	95%	0,10	0,06	95%
Coordenada Z	0,20	0,10	95%	0,30	0,17	95%

Tabla 17. Resultados estadísticos obtenidos

9. Software empleado

9.1. Trimble Business Center

Software de la empresa Trimble ideal para el procesado y análisis de datos de levantamientos por satélite y terrestres registrados en campo.

Los procesos con este software en la realización de este PFC han sido los siguientes:

- Gestión de los datos obtenidos por el equipo Trimble R8 y su controladora TSC2
- Gestión de los datos obtenidos por el equipo Trimble R10 y su controladora TSC3
- Gestión de los datos obtenidos por el UX5 en los vuelos realizados a 125 metros y 300 metros
- Obtención de informes de los datos
- Generación de los productos finales: Ortomosaico, DSM, Cálculo de volúmenes...

9.2. Geomedia

Software empleado en el mundo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Permite el acceso e integración de datos geográficos de numerosas fuentes, en ficheros locales o remotos en la red.

Ha sido utilizado para la generación de los mapas de intervalos y obtención de los productos finales.

9.3. Statgraphics

Potente herramienta de análisis de datos que combina los procedimientos analíticos con gráficos interactivos.

Ha sido utilizado en la obtención de los gráficos de control de calidad en el estudio de las precisiones.

9.4. Microsoft Excel

Este programa se empleó para la realización del cálculo de diferencias en planimetría y altimetría entre los datos obtenidos mediante GNSS y el UX5

9.5. Microsoft Word

Programa empleado para la redacción y edición de la presente memoria

9.6. Microsoft PowerPoint

Programa empleado para la realización de la presentación visual resumen de este Proyecto Fin de Carrera

10. Presupuesto

Un presupuesto es un documento que refleja una previsión o predicción de cómo serán los resultados y los flujos de dinero que se obtendrán en un periodo futuro.

Es un cálculo aproximado de los ingresos y gastos que se obtendrán tras la realización de la actividad. Podemos decir que el presupuesto es una meta que se ha de cumplir para la consecución de sus objetivos y marcar las prioridades.

Los costes están clasificados del siguiente modo:

Costes operacionales: costes directos resultantes de la realización del trabajo.

Costes organizativos (también llamados costes básicos): costes de la base organizativa que incluyen a la dirección, administración o gobierno.

Costes de empleo de personal: costes personal básico, como son los participantes en la administración, las personas que realizan un trabajo transversal de proyectos. Estos costes incluyen los salarios y cualquier otro subsidio como la asistencia médica o el pago de los fondos de pensiones de los que son responsables.

Costes de inversión: costes para grandes inversiones que, mientras sean necesarias debido al proyecto o proyectos, permanecerán como capital organizativo incluso después de que acabe el proyecto. Los vehículos y equipamiento como también los ordenadores y fotocopiadoras se pueden incluir en esta categoría.

10.1. Descripción de actividades

- **Actividades previas realizadas en oficina**
 - Planificación del proyecto: 1 día
 - Preparación equipo trabajo y planificación del vuelo: 1 día
- **Actividades en campo**
 - Actividades relacionadas con la topografía
 - ✓ Levantamiento topográfico del terreno: 3 días
 - Actividades relacionadas con la fotogrametría
 - ✓ Planificación del vuelo: 2 horas
 - ✓ Colocación, medición y recogida de lonas: 6 horas
 - ✓ Vuelo: 40 minutos
- **Trabajo de gabinete**
 - Procesado fotogramétrico
 - ✓ Generación de DMS, Nubes de Puntos y Ortoimagen: 1 día
 - Elaboración de la memoria
 - ✓ Recopilación de la información: 5 días
 - ✓ Redacción: 20 días
 - ✓ Impresión y encuadernación: 1 día

10.2. Costes unitarios

- **Recursos humanos**
 - Ingeniero Técnico en Topografía: 80 €/ día
 - Ayudante de Topografía: 45 €/ día
- **Instrumental Topográfico y fotogramétrico**
 - Equipo GNSS Trimble R8: 180€ / día
 - Equipo GNSS Trimble R10: 200 €/ día
 - UAV de ala fija UX5: Alquiler no disponible
 - ✓ Coste: 50.000 €
 - ✓ Coste de amortización: 50000 / 2 años= 68,5 €/ día
 - ✓ Seguro: No disponible
 - ✓ Mantenimiento: No detallado
- **Transporte**
 - Gasolina: 5 €/ día
- **Recursos informáticos**
 - Ordenador: 800 €
 - Software:
 - ✓ Trimble Business Center: 3360€
 - ✓ Geomedia: 11000 €
 - ✓ Microsoft Office: 350€
- **Materiales**
 - Impresión de la memoria: 20 € / unidad
 - Impresión Plotter: 10 €/ unidad
 - Lomos de las memorias: 8 €/ unidad

10.3. Presupuesto por actividad sin IVA

Actividad	Actividades previas realizadas en oficina		
	2 días	€/ unidad	Total €
Equipo humano	Ing. Técnico Topografía	80	160
	Ayudante Ingeniero	45	90
Instrumental	Material Informático	21,54	43,08
	Coste total actividad	146,54	293,08

Tabla 18. Presupuesto por actividad sin IVA en oficina

Actividad	Actividades topográficas realizadas en campo		
	3 días	€ / unidad	Total €
Equipo humano	Ing. Técnico Topografía	80	240
	Ayudante Ingeniero	45	135
Instrumental	Material Informático	21,54	64,62
	Equipo GNSS Trimble R8	180	540
	Coste total actividad	326,54	979,62

Tabla 19. Presupuesto por actividad sin IVA en campo

Actividad	Actividades fotogramétricas realizadas en campo		
	1 día	€ / unidad	Total €
Equipo humano	Ing. Técnico Topografía	80	80
	Ayudante Ingeniero	45	45
Instrumental	Material Informático	21,54	21,54
	Equipo GNSS Trimble R10	200	200
	UX5	68,5	68,5
	Coste total actividad	415,04	415,04

Tabla 20. Presupuesto por actividad sin IVA en campo

Actividad	Procesado, Elaboración, Impresión y encuadernación		
	7 días	€ /unidad	Total €
Equipo humano	Ing. Técnico Topografía	80	560
Instrumental	Material Informático	21,54	150,78
Impresión	Memoria	20	20
	Planos	10	10
	Lomos	8	8
	Coste total	139,54	748,78

Tabla 21. Procesado, elaboración, impresión y encuadernación

10.4. Descripción de actividades

Para hallar el presupuesto total se aplica un beneficio industrial del 15% y el I.V.A. del 21%

Actividad	Coste total	Beneficio Industrial	I.V.A.	Total €
Previas realizadas en oficina	293,08	43,96	61,54	398,58
Topográficas realizadas en campo	979,62	146,94	205,72	1332,28
Fotogramétricas	415,04	62,25	87,16	564,45
Procesado, elaboración, impresión y encuadernación	748,78	112,32	157,24	1018,34
Total	2436,52	365,47	511,66	3313,65

Tabla 22. Beneficio industrial e IVA

10.5. Comparativa levantamiento topográfico entre GNSS y UX5

En relación con los presupuestos, realizamos una estimación de cada uno de los costes a aplicar en cada uno de los dos métodos (GNSS y UX5). Para ello se tuvieron en cuenta los siguientes costes:

- Compra del equipo GNSS
- Compra del avión UX5
- Alquiler GNSS para trabajar con UX5 por día
- Sueldo ingeniero técnico por día
- Sueldo ayudante por día
- Transporte
- Alojamiento
- Dietas

Para la estimación de los costes de los sueldos del Ingeniero Técnico y del ayudante se han estimado unos sueldos mensuales de 1.500 € y 1.100€ respectivamente. Posteriormente se consideraron 15 pagas anuales más costes de la seguridad social del 36%. Se tuvieron en cuenta 260 días laborales a los que tuvimos que restar 20 días de vacaciones por lo que el resultado es un total de 240 días.

Para la valoración de los gastos de transporte se consideró un supuesto de una distancia media de 300 km de la oficina de trabajo para la realización de cada trabajo y 20 km desde el lugar de alojamiento hasta el lugar de medición. Se tuvieron en cuenta 0,20€ por kilómetro de coste en los que se incluyeron gasolina y mantenimiento del coche.

Para las dietas se tuvieron en cuenta unos importes de 21 € que corresponde a media dieta, debido a que se consideran unos costes medios de 40€ de alojamiento que incluirían desayuno y/o cena.

Por último para el UX5 y GNSS se tuvieron en cuenta unas amortizaciones a 5 años. Se incluyeron unos costes de mantenimiento del 10% anual al UX5 y del 5% anual al GNSS debido a que el avión tiene un factor de riesgo por el hecho de estar volando y poder sufrir algún accidente que el GNSS no tiene. El UAS no tiene opción de contratación de seguro ya que en este momento no existe ninguna aseguradora que lo realice.

	CAMPO
€ GNSS	20.000,00 €
ING TECNIC/DIA	127,50 €
AYUDANTE/ DIA	93,50 €
HOTELES/DIA	40,00 €
DIETAS/DIA	21,00 €
TRANSPORTE	120,00 €
ALQUILER GNSS (€/día)	200,00 €
€ UX5	50.000,00 €

Realizamos varios supuestos de mediciones para realizar una comparativa entre ambos métodos:

- El primero consiste realización de trabajos de 120 hectáreas de forma continuada durante el periodo de un año (240 días hábiles)

Levantamiento GNSS a escala 1/1000

Trabajo de oficina				
	Actividad	Días	Días totales	€ totales
Ing. Técnico	Preparación previa	1	26	3.315,00 €
	Productos finales	2	52	6.630,00 €
Total		3	78	9.945,00 €

Trabajo de campo				
	Actividad	Días	Días totales	€ totales
GNSS	compra	-	-	20.000,00 €
Ing. Técnico	medición	6	156	19.890,00 € *
Ayudante Ing.	medición	6	156	14.586,00 € *
Hoteles (2 pers)		6	156	12.480,00 € *
Dietas (2pers)		6	156	6.552,00 € *
Transporte		6	156	4.368,00 € *
GNSS AÑO			0	5.000,00 €
GNSS DIA		6	156	5.000,00 € *
Total		6	156	62.876,00 €

*€ individuales que se tienen en cuenta para el cálculo del total (en todo un año)

	Días	Nº trabajos	Hectáreas
Preparación previa	1		
Trabajo de campo	6		
Productos finales	2		
Total	9	26	3120

En el levantamiento mediante GNSS se consideró 1 día de preparación previa, 6 días de medición (se ha considerado un supuesto una media de levantamiento de 20 hectáreas diarias) y 2 días dedicadas a la realización de productos finales que hacen un total de 9 días. Al coste total añadimos un beneficio industrial del 15% con el cual obtuvimos el precio de venta. Éste, dividido entre las hectáreas medidas totales nos da un precio de venta por hectárea.

Coste total	72.821,00 €
Beneficio Industrial	15%

hectáreas medidas	3120
--------------------------	-------------

Precio venta	83.744,15 €
---------------------	--------------------

P.V./Ha	27 €/Ha
----------------	----------------

Levantamiento UX5

Altura vuelo	Recubrimiento	Superf. 1 Vuelo (Ha)	Días	Vuelos/día	Superficie total (Ha)
125 m	80%	115	1	5	575
300 m	80%	470	1	5	2350

En el levantamiento con UX5 lo primero que tuvimos que tener en cuenta es la altura de vuelo que se pretendía tener, en nuestro caso observamos a 125 metros y 300 metros. El vuelo realizado a 125 metros es en el que nos centraremos ya que en éste se obtienen unas precisiones más parecidas.

Levantamiento UX5

Trabajo de oficina				
	Actividad	Días	Días total	€ totales
Ing. Técnico	Preparación previa	1	48	6.120,00 €
	Productos finales	2	96	12.240,00 €
Total		3	144	18.360,00 €

Trabajo de campo				
	Actividad	Días	Días	€ totales
GNSS	alquiler	2	96	19.200,00 € *
UX5	compra	-	-	50.000,00 €
Ing. Técnico	medición	2	96	12.240,00 € *
Ayudante Ing.	medición	2	96	8.976,00 € *
Hoteles (2 pers)		1	48	1.920,00 € *
Dietas (2pers)		2	96	2.016,00 € *
Transporte		2	96	6.528,00 € *
UX5 AÑO			240	15.000,00 €
UX5 DIA			240	15.000,00 € *
Total		2		65.880,00 €

*€ individuales que se tienen en cuenta para el cálculo del total (en todo un año)

	Días	Nº trabajos	Hectáreas
Preparación previa	1		
Trabajo de campo	2		
Productos finales	2		
Total	5	48	5760

Para la realización del trabajo con el UAS hemos tenido en cuenta 1 día de preparación previa, 2 días para desplazamiento al lugar y medición y 2 días para el procesado y creación de los productos finales los cuales hacen un total de 5 días.

Coste total	€	84.240,00
Beneficio Industrial		15%

125 m	En 5 días 120 hectáreas	5760
300 m	En 5 días 470 hectáreas	22560

Precio venta	€	96.876,00
---------------------	---	-----------

P.V./Ha	
125 m	17 €/Ha
300 m	4 €/Ha

P.V./Ha	27	€/Ha
----------------	----	------

P.V./Ha	125 m	17	€/Ha
----------------	--------------	----	------

Observando ambos precios se advierte que ya en superficies no excesivamente grandes como son 120 hectáreas el precio por hectárea es 10 € inferior en el UAS. Pero el coste de amortización del avión, el cual es muy superior al del GNSS, hace que esa diferencia solo sea rentable en el caso de la realización de trabajos continuados en los que la máquina no tenga periodos largos de inactividad.

Manteniendo este periodo de actividad en el periodo de un año se puede realizar por un lado 5760 hectáreas mediante el UX5 y 3120 hectáreas utilizando GNSS. La diferencia es de 2640 hectáreas, esto es una gran ventaja a la hora de obtener resultados mucho más rápidos si el cliente los requiere.

Si consideramos que mediante UX5 medimos las 3120 hectáreas medidas mediante GNSS, el coste total ascendería a 45.782€ y el precio de venta 52.650€ lo que supone que sea un 37% de ahorro en ambos. Esto supone que se pueda aumentar el precio de venta aumentando considerablemente el margen de beneficio. Considerando un precio de venta un 20% inferior mediante UAS que con metodología GNSS el precio de venta sería de 66.995,32€ lo que nos daría un margen de beneficio de 21.213,32€ con el avión frente a 10.923€ del GNSS, lo que supone el doble de beneficio a igualdad de hectáreas medidas. Hay que tener en cuenta que ese beneficio se produce además reduciendo el precio de venta y tiempo de ejecución, lo que resultará más atractivo al cliente.

- El segundo consiste en la realización de trabajos de 540 hectáreas de forma continuados durante el periodo de un año (240 días hábiles)

Levantamiento GNSS a escala 1/1000

Trabajo de oficina				
	Actividad	Días	Días totales	€ totales
Ing. Técnico	Preparación previa	1	8	1.020,00 €
	Productos finales	2	16	2.040,00 €
Total		3	24	3.060,00 €

Trabajo de campo				
	Actividad	Días	Días totales	€ totales
GNSS	compra	-	-	20.000,00 €
Ing. Técnico	medición	27	216	27.540,00 € *
Ayudante Ing.	medición	27	216	20.196,00 € *
Hoteles (2 pers)		27	216	17.280,00 € *
Dietas (2pers)		27	216	9.072,00 € *
Transporte		27	216	1.728,00 € *
GNSS AÑO			0	5.000,00 €
GNSS DIA		27	216	5.000,00 € *
Total		27	216	80.816,00 €

*€ individuales que se tienen en cuenta para el cálculo del total (en todo un año)

En el levantamiento mediante GNSS se consideró 1 día de preparación previa, 27 días de medición (se ha considerado un supuesto una media de levantamiento de 20 hectáreas diarias) y 2 días dedicadas a la realización de productos finales que hacen un total de 30 días. Al coste total añadimos un beneficio industrial del 15% con el cual obtuvimos el precio de venta, éste dividido entre las hectáreas medidas totales nos da un precio de venta por hectárea.

	Días	Nº trabajos	Hectáreas
Preparación previa	1		
Trabajo de campo	27		
Productos finales	2		
Total	30	8	4320

Coste total	83.876,00 €
Beneficio Industrial	15%

Hectáreas medidas	4320
--------------------------	------

Precio venta	96.457,40 €
---------------------	-------------

P.V./Ha	22 €/Ha
----------------	---------

En el levantamiento con UX5 tuvimos que tener en cuenta es la altura de vuelo que se pretendía tener, que fue de 125 metros como en el caso anterior. Para la medición de 540 hectáreas se realizan un total de 5 vuelos, los cuales se pueden ejecutar en un día.

Levantamiento UX5

Trabajo de oficina				
	Actividad	Días	Días total	€ totales
Ing. Técnico	Preparación previa	1	48	6.120,00 €
	Productos finales	3	144	18.360,00 €
Total		4	192	24.480,00 €

Trabajo de campo				
	Actividad	Días	Días	€ totales
GNSS	alquiler	2	96	19.200,00 €
UX5	compra	-	-	50.000,00 € *
Ing. Técnico	medición	2	96	12.240,00 € *
Ayudante Ing.	medición	2	96	8.976,00 € *
Hoteles (2 pers)		1	48	1.920,00 € *
Dietas (2pers)		2	96	2.016,00 € *
Transporte		2	80	5.440,00 € *
UX5 AÑO			240	15.000,00 €
UX5 DIA			240	15.000,00 € *
Total		2		64.792,00 €

*€ individuales que se tienen en cuenta para el cálculo del total (en todo un año)

	Días	Nº trabajos	Hectáreas
Preparación previa	1		
Trabajo de campo	2		
Productos finales	3		
Total	6	40	23000

Para la realización del trabajo con el UAS hemos tenido en cuenta 1 día de preparación previa, 2 días para desplazamiento al lugar y medición y 3 días para el procesado y creación de los productos finales, se añadió un día más debido a que la realización de 5 vuelos produce mayor cantidad de información y por tanto mayor tiempo para procesar los datos. La suma de todos los días hace un total de 6 días.

Coste total	89.272,00 €
Beneficio Industrial	15%

Precio venta	102.662,80 €
---------------------	--------------

125 m	En 5 días 575 hectáreas	En 240 días	23000
300 m	En 5 días 2350 hectáreas	En 240 días	94000

P.V./Ha		
125 m	4	€/Ha
300 m	1	€/Ha

P.V./Ha	22	€/Ha
----------------	----	------

P.V./Ha	125 m	4	€/Ha
----------------	--------------	---	------

Observando ambos precios se advierte que ya en superficies grandes como son 540 hectáreas el precio por hectárea es un 80% inferior en el UAS. En este caso las superficies son tan grandes que incluso con periodos de inactividad no excesivamente grandes pueda resultar más rentable el uso del UX5.

En este supuesto de un año (sin periodos de inactividad) se puede realizar por un lado 23000 hectáreas mediante el UX5 y 4320 hectáreas utilizando GNSS. La diferencia es de 18.680 hectáreas. Como se puede observar el avión realiza el levantamiento de la misma superficie 5 veces más rápido. Este hecho provoca una mejora a la hora de la productividad el UAS pudiéndose realizar hasta 5 trabajos en el periodo en el que mediante GNSS se realiza 1. Por otro lado esta mejora en el tiempo de ejecución supone una ventaja a la hora de ofrecer al cliente resultados mucho más rápidos que mediante metodología GNSS.

En este caso si consideramos que mediante UX5 medimos las 4320 hectáreas medidas mediante GNSS, el coste total ascendería a 17.854 € y el precio de venta 20.532,56 € lo que supone que sea un 78% de ahorro en ambos. Este porcentaje es muy superior al 37% que se ofrece con superficies de 120 hectáreas, supone que se pueda aumentar con mayor medida el precio de venta con respecto al que teníamos estipulado con el 15% de beneficio industrial aumentando cuantiosamente el margen de beneficio. Considerando un precio de venta un 20% inferior mediante UAS que con metodología GNSS el precio de venta sería de 67.100,8 € lo que nos daría un margen de beneficio de 49.246,8 € con el avión frente a 12.581 € del GNSS, lo que supone un 391% más de beneficio a igualdad de hectáreas medidas.

Hay que tener en cuenta que ese beneficio se produce además reduciendo el precio de venta como en el caso anterior y tiempo de ejecución en un 80% muy superior al ahorro de tiempo que se produce en levantamientos de 120 hectáreas.

Se tiene que tener en cuenta otra ventaja muy significativa de la metodología mediante UAS que es la generación de modelos digitales de superficie y la generación de ortofotos. Esto ofrece un valor añadido a la hora de ofrecer nuestros productos a posibles clientes.

La estimación del tiempo empleado en el levantamiento de una superficie de 150 hectáreas mediante GNSS y avión de ala fija UX5 está presente en la siguiente tabla.

	UX5	GNSS
Área	150 Ha	150 Ha
Planificación previa y mediciones	1h 15 min	-
Tiempo de planificación en campo	15 min	15 min
Tiempo de trabajo	45 min	60 horas
Tiempo de descarga de datos	15 min	15 min
Tiempo de procesado de datos	4 horas	-
Tiempo total	6 h 30 min	60 h 30 min

Tabla 23. Comparativa de tiempos empleados en un levantamiento de 150 Ha

Observando estos datos se llega a las siguientes conclusiones:

- La rentabilidad económica del UX5 frente a GNSS depende fundamentalmente de las hectáreas de levantamiento por trabajo y la continuidad en la realización de tareas evitando periodos de inactividad.
- La rentabilidad económica que se puede obtener de los productos obtenidos con el UX5 es superior a la que se puede conseguir con el GPS. Ya que con los datos obtenidos y el correspondiente software podemos obtener ortofotos y nubes de puntos más densas.
- Para la realización de este PFC resulta más económico el uso de GPS ya que la superficie medida fue de aproximadamente 30 hectáreas y no resulta rentable el uso del avión para un solo vuelo.

Los siguientes gráficos muestran la superficie medida en función de los días de trabajo en los dos casos vistos anteriormente.

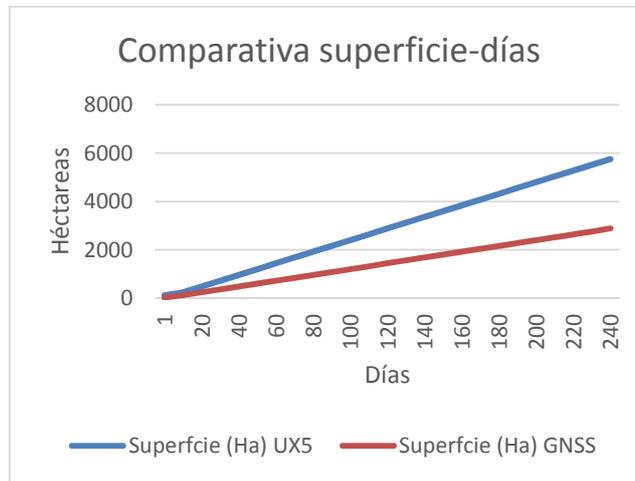


Gráfico 1. Comparativa superficie-días realizando trabajos de 120 hectáreas.

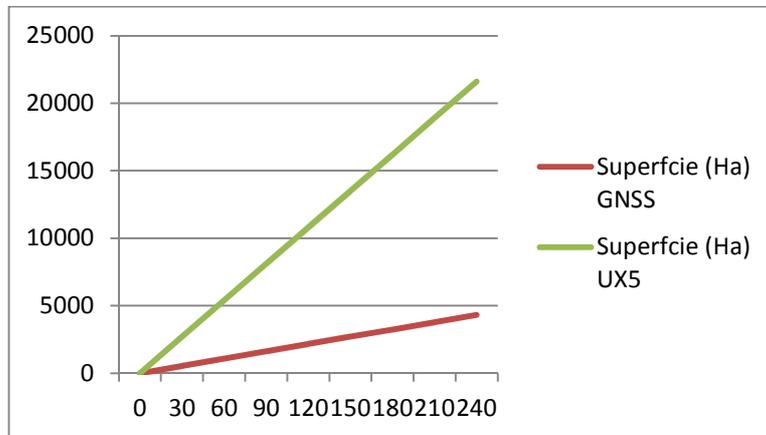


Gráfico 2. Comparativa superficie-días realizando trabajos de 540 hectáreas.

En estos gráficos se observa que cuanto mayores sean las superficies a medir en los trabajos realizados mayor superficie medirá el UX5 con respecto a la metodología GNSS, la cual mide más despacio.

11. Conclusiones

Desde el punto de vista de la fotogrametría, encontramos en los vehículos aéreos no tripulados una nueva solución para la captura de imágenes aéreas y generación de productos topográficos.

La ampliación de su uso en aplicaciones civiles, la integración de los mismos o la puesta en marcha de aplicaciones y basadas en su uso sigue en pleno desarrollo.

Uno de los inconvenientes que encontramos en el uso de los UAS es la estructura legal que no ha alcanzado a la tecnología, ya que sigue a la espera de una legislación que regule su uso que se encontraba en un marco de alegalidad cuando se realizó el proyecto. A día de hoy se ha regularizado de forma significativa aunque todavía quedan aspectos por legislar.

Durante la realización de este Proyecto Fin de Carrera, encontramos en el UX5 una potente herramienta para la realización de un levantamiento topográfico, así como para la generación de los productos obtenidos derivados de la fotogrametría como las ortofotos, sin necesidad de tener grandes conocimientos en el uso de los vehículos aéreos no tripulados y su correspondiente software.

Pero, todo esto no habría tenido sentido sin los conocimientos sobre topografía clásica. Ya que es necesario para la obtención de buenos productos contar también con un buen equipo y haber realizado buenas mediciones, como en este caso con el GPS, de los puntos de apoyo.

Desde el punto de vista topográfico, el uso de equipos GNSS con metodología RTK VRS Now nos permitió obtener correcciones en tiempo real eliminando los errores con respecto a la distancia a la base y mejorando las precisiones. Las mediciones se realizan de manera rápida y con muy buenas precisiones utilizando esta metodología.

La realización de un vuelo mediante el UAS UX5 requiere una planificación previa. Se debe observar la zona a medir con los lugares sobre los cuales no se debe volar, altura de vuelo en función de las precisiones que se deseen obtener, verificación del buen estado del equipo y comprobación en el lugar de despegue y aterrizaje los posibles obstáculos que puedan dificultarlos.

El UX5 es capaz de volar en condiciones meteorológicas adversas, con vientos de hasta 65km/h. En la práctica observamos que en condiciones de viento fuerte no siempre se podrán obtener resultados útiles para generar los productos deseados. Los resultados serán buenos o malos en función de la altura de vuelo, cuanto más altura mayor será la separación entre pasadas y mayor espacio tendrá el avión para poder rectificar la trayectoria y seguir la pasada determinada previamente. Durante la realización del proyecto observamos que en dos vuelos realizados en las mismas condiciones de viento, el vuelo realizado a 300 metros ejecutó las pasadas programadas mientras que en el efectuado a 75 metros las pasadas se superponían no pudiéndose obtener los productos deseados.

Durante la realización del estudio comparativo entre GNSS y UX5 advertimos que los puntos donde mayor diferencia en la coordenada "Z" existía era donde había objetos de gran altura. La buena distribución y medición de las lonas es fundamental para obtener unas buenas precisiones. Los mejores resultados se obtuvieron en zonas sin masa forestal ni matorral con precisiones muy altas.

En relación a las precisiones, el UX5 nos dio peores precisiones que el equipo GNSS pero suficientes para generar la cartografía a escala 1/1000 en el vuelo a 300 metros y 1/500 en el vuelo a 125 metros, con una nube de puntos más densa que la generada mediante topografía clásica.

Si tuviéramos que destacar algo, sería en el ámbito económico. Debido a que este tipo de equipos tienen un costo elevado y su amortización tiene que ser estudiada en función de los trabajos que vayamos a realizar. Es evidente que para la realización de este Proyecto Fin de Carrera el empleo de metodologías más clásicas sería la opción más conveniente ya que se trata de una superficie pequeña y de un solo trabajo.

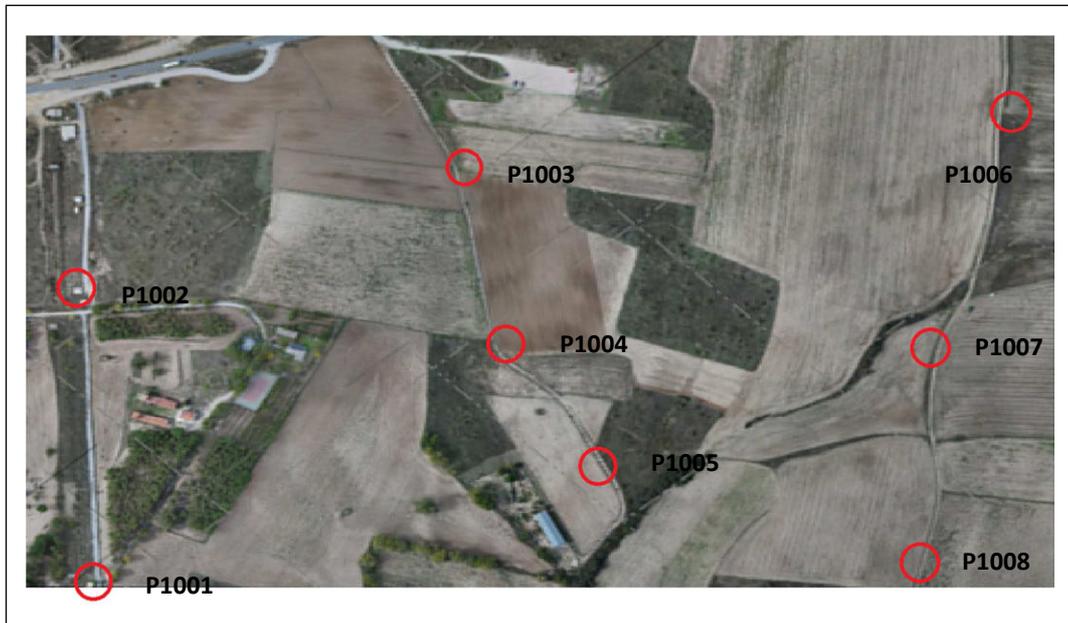
12. Bibliografía consultada y páginas web

- *Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones.* (A. Barrientos, J del Cerro, P. Gutiérrez, R. San Martín, A. Martínez, C. Ross. Grupo de Robótica y Cibernética, Universidad Politécnica de Madrid).
- *Integración en el espacio aéreo no segregado de UAVs.* (Ministerio de Defensa)
- *Manual de usuario Trimble UX5*
- *Presentación de la solución de Trimble UX5.* (Abel Varela)
- *Cálculo de las coordenadas de las estaciones de referencia del servicio Trimble VRS Now de la Comunidad de Madrid aplicando técnicas de cálculo de EUREF*
- www.Trimble.es
- www.geotronics.es
- www.microdrones.com
- www.avionypiloto.es
- www.airvoile.com
- www.dronair.es
- www.grupoacre.com
- www.inda.aero/aplicaciones-uav.html
- www.iuavs.com/pages/aplicaciones_y_usos
- www.geoforma.com.mx/productos/gnss/trimble-r8-detail

i. ANEXOS

*i.i. Reseñas de los puntos
de apoyo
vuelo a 125 m*

ORTOFOTOGRAFÍA DE LA ZONA



LEYENDA



PUNTO P1001

RESEÑA LITERAL

Lona sobre el centro de depósito

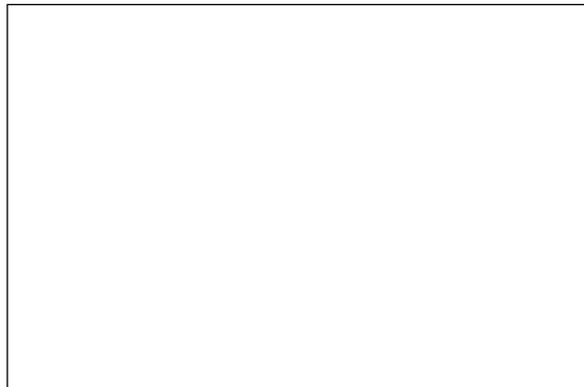
FOTOGRAMA: DSC00878



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422.180,470

Y = 4.481.681,880

Z = 726,608

PUNTO P1002

RESEÑA LITERAL

Lona sobre depósito

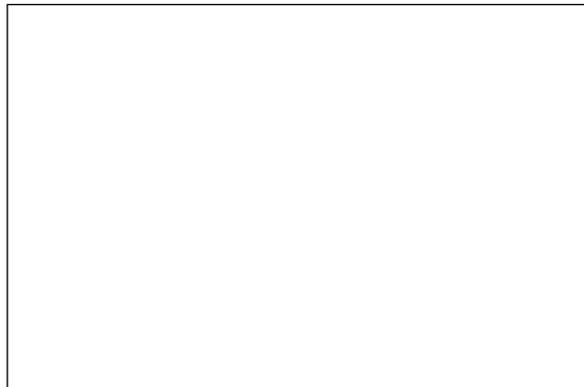
FOTOGRAMA: DSC008



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 421.971,340

Y = 4.481.864,328

Z = 721,681

PUNTO P1003

RESEÑA LITERAL

Lona situada en la linde de una parcela agraria. Cota dada en el suelo.

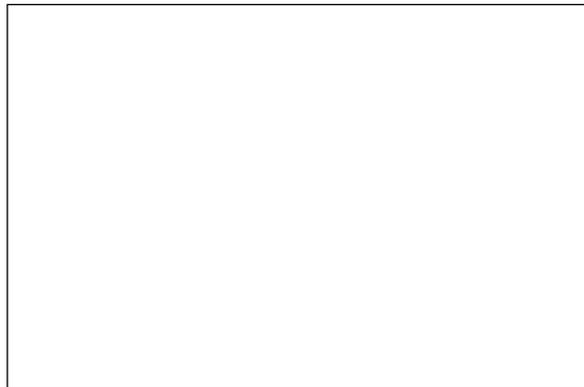
FOTOGRAMA: DSC00563



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422.079,798

Y = 4.482.146,952

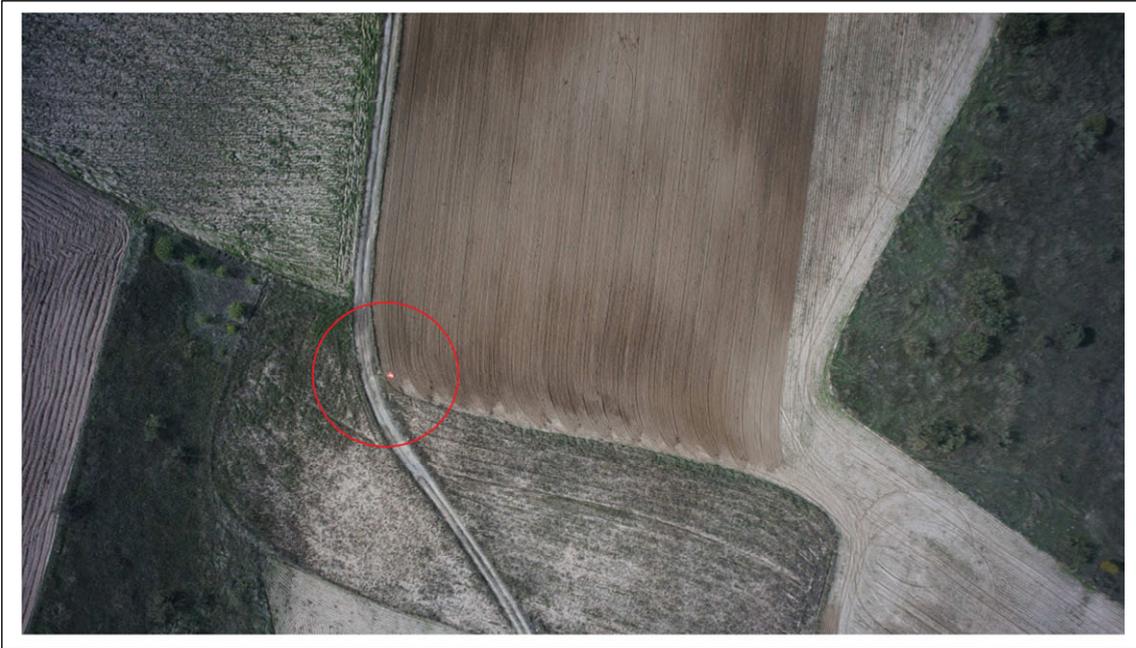
Z = 726,077

PUNTO P1004

RESEÑA LITERAL

Lona situada en la linde de superficie agraria. Cota dada en el suelo.

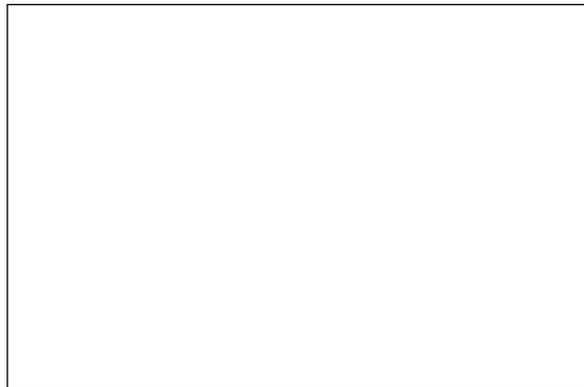
FOTOGRAMA: DSC00459



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422.223,768

Y = 4.482.048,973

Z = 721,709

PUNTO P1005

RESEÑA LITERAL

Lona situada en el margen izquierdo del camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC00361



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422.346,481

Y = 4.482.024,521

Z = 719,036

PUNTO P1006

RESEÑA LITERAL

Lona situada en la linde de parcela agraria, próxima a camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC00051



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422.308,681

Y = 4.482.467,367

Z = 729,550

PUNTO P1007

RESEÑA LITERAL

Lona situada en el margen izquierdo del camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC00082



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422.430,856

Y = 4.482.274,969

Z = 724,446

PUNTO P1008

RESEÑA LITERAL

Lona situada en el margen derecho del camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC00072



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422.572,582

Y = 4.482.129,261

Z = 724,600

*i.ii. Reseñas de los
puntos de apoyo
vuelo a 300 m*

ORTOFOTOGRAFÍA DE LA ZONA



LEYENDA

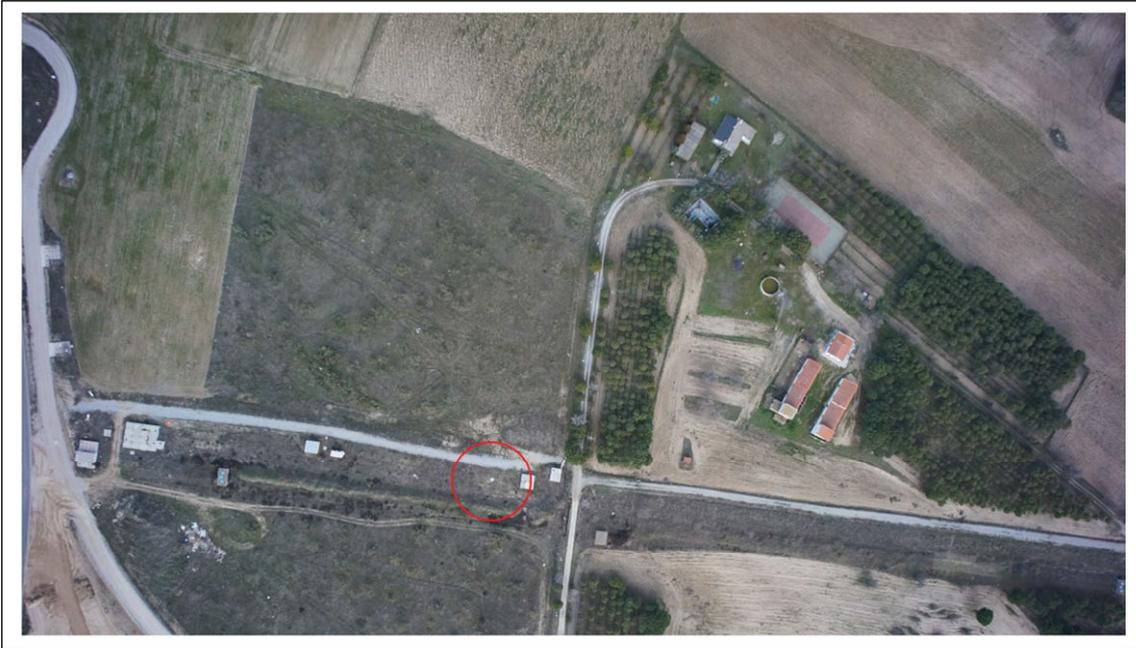
	Punto de apoyo
	Punto de control

PUNTO P1001

RESEÑA LITERAL

Lona de punto de apoyo situada en el margen izquierdo del camino. Cerca del depósito.
Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05230



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 421960,162

Y = 4481874,195

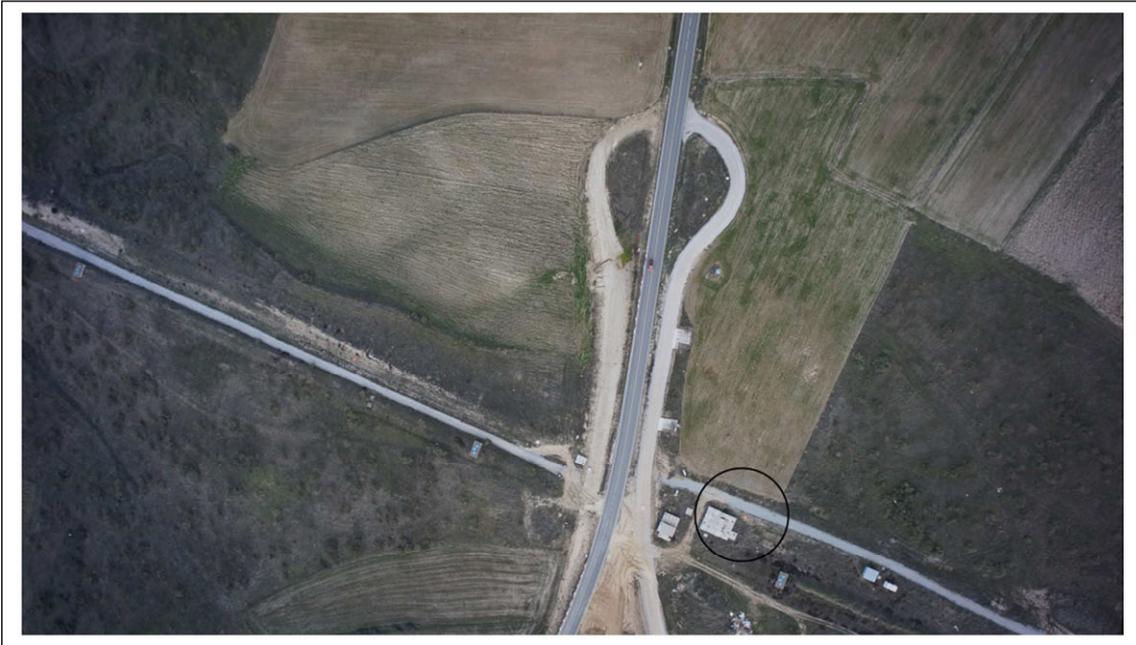
Z = 721,336

PUNTO C2001

RESEÑA LITERAL

Lona punto de control situada en el margen izquierdo del camino. Cerca de la esquina inferior derecha del depósito. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05260



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 421868,982

Y = 4481962,188

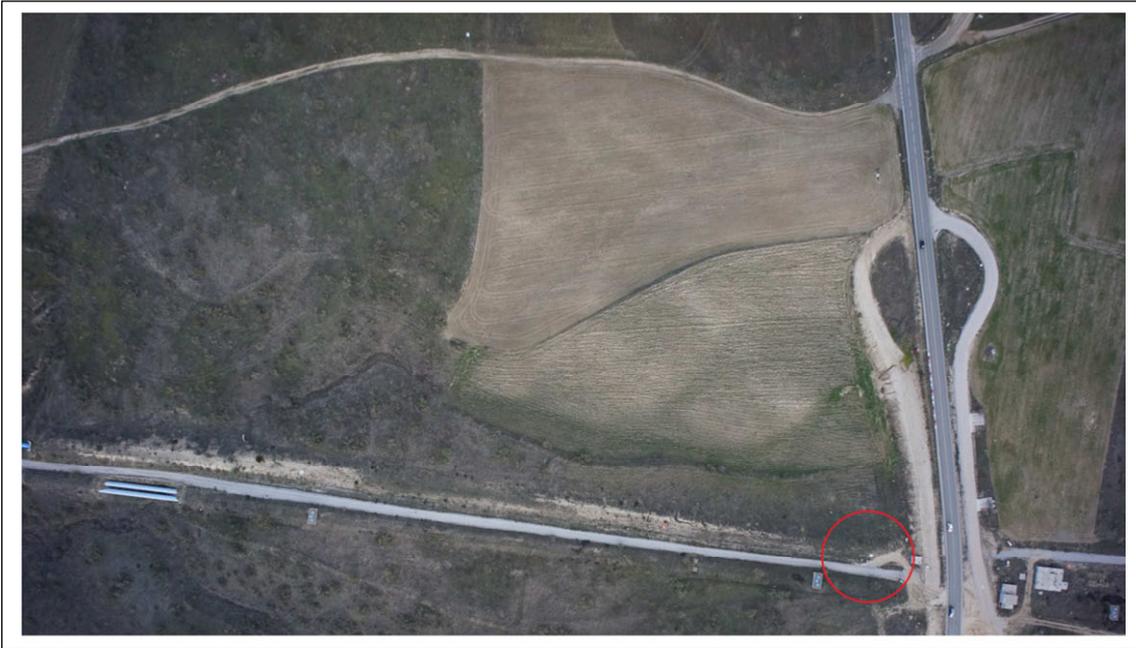
Z = 725,446

PUNTO P1002

RESEÑA LITERAL

Lona de punto de apoyo situada en el margen derecho del camino y cercana a la carretera.
Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05290



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 421797,131

Y = 4482018,255

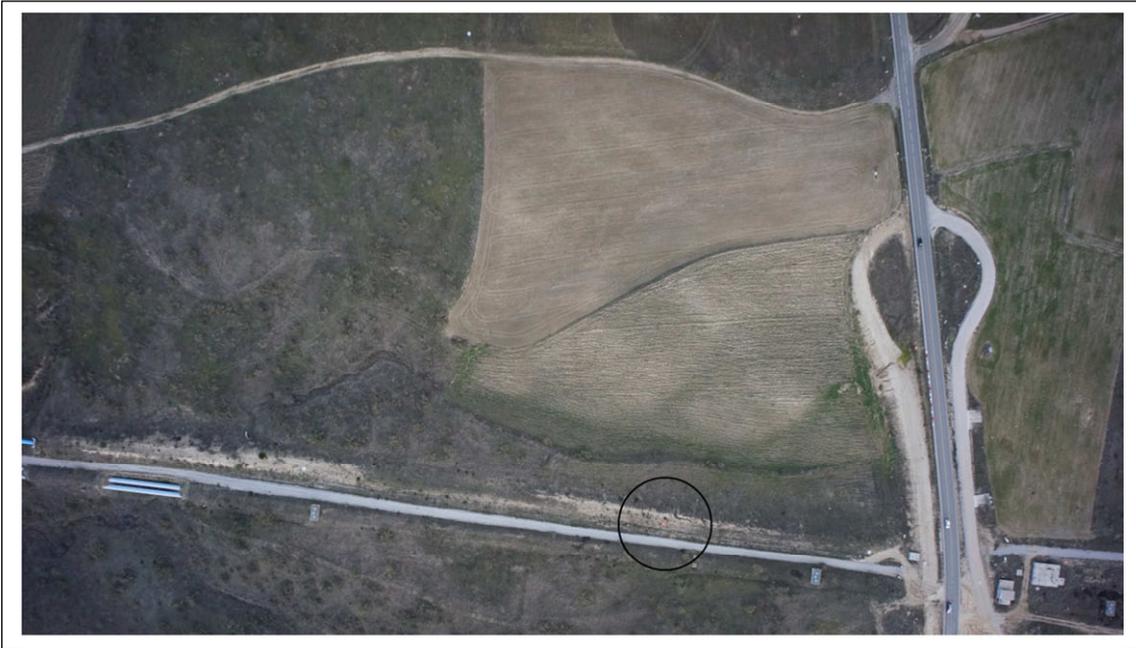
Z = 724,310

PUNTO C2002

RESEÑA LITERAL

Punto de control situado en el margen derecho del camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05290



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 421730,35

Y = 4482078,418

Z = 718,648

PUNTO P1003

RESEÑA LITERAL

Punto de apoyo situado en el margen derecho del camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05319



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 421616,361

Y = 4482182,497

Z = 707,750

PUNTO P1004

RESEÑA LITERAL

Punto de apoyo situado en el margen derecho del camino. Situada en la linde de una parcela. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05292



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 421776,869

Y = 4482297,025

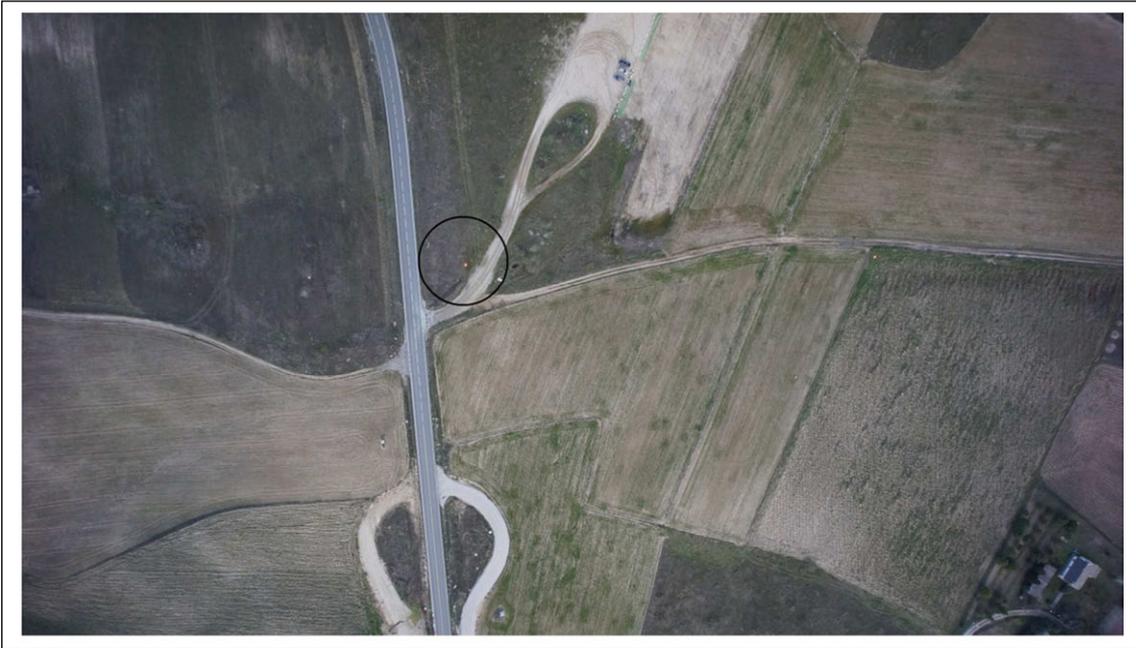
Z = 718,134

PUNTO C2003

RESEÑA LITERAL

Punto de control situado en el margen izquierdo del camino. Cerca de la carretera. Cota dada en el suelo

FOTOGRAMA: DSC05263



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 421957,141

Y = 4482198,736

Z = 728,011

PUNTO C2004

RESEÑA LITERAL

Punto de control situado en la linde de parcela agraria. Situado en el margen izquierdo del camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05234



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422107,209

Y = 4482113,470

Z = 724,148

PUNTO P1005

RESEÑA LITERAL

Punto de apoyo situado en el margen izquierdo del camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05235



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422202,448

Y = 4482047,537

Z = 721,379

PUNTO P1006

RESEÑA LITERAL

Punto de control situado en pista de vuelo. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05266



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422109,647

Y = 4482258,779

Z = 729,040

PUNTO C2005

RESEÑA LITERAL

Punto de control situado en la linde de la parcela. Cerca de la pista de vuelo. Cotada dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05266



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422170,267

Y = 4482301,465

Z = 726,123

PUNTO P1007

RESEÑA LITERAL

Punto de apoyo situado cerca del árbol. En el margen izquierdo de la carretera. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05295



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 421859,409

Y = 4482492,565

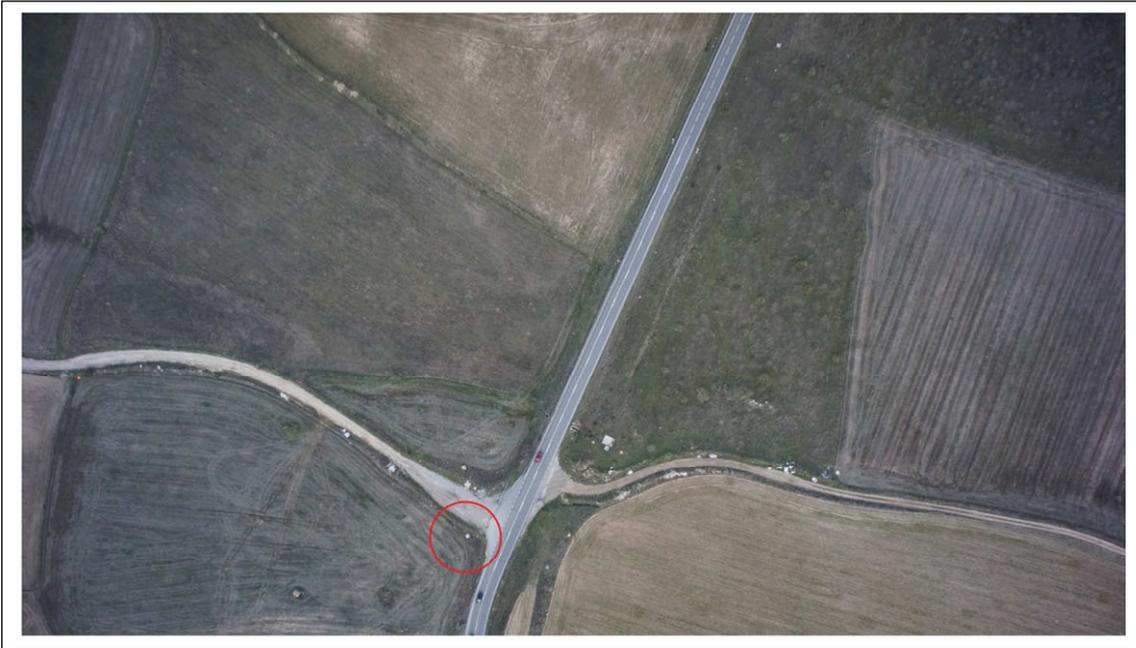
Z = 717,100

PUNTO P1008

RESEÑA LITERAL

Punto de apoyo situado en el margen izquierdo de la carretera y margen izquierdo del camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05300



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422081,593

Y = 4482606,820

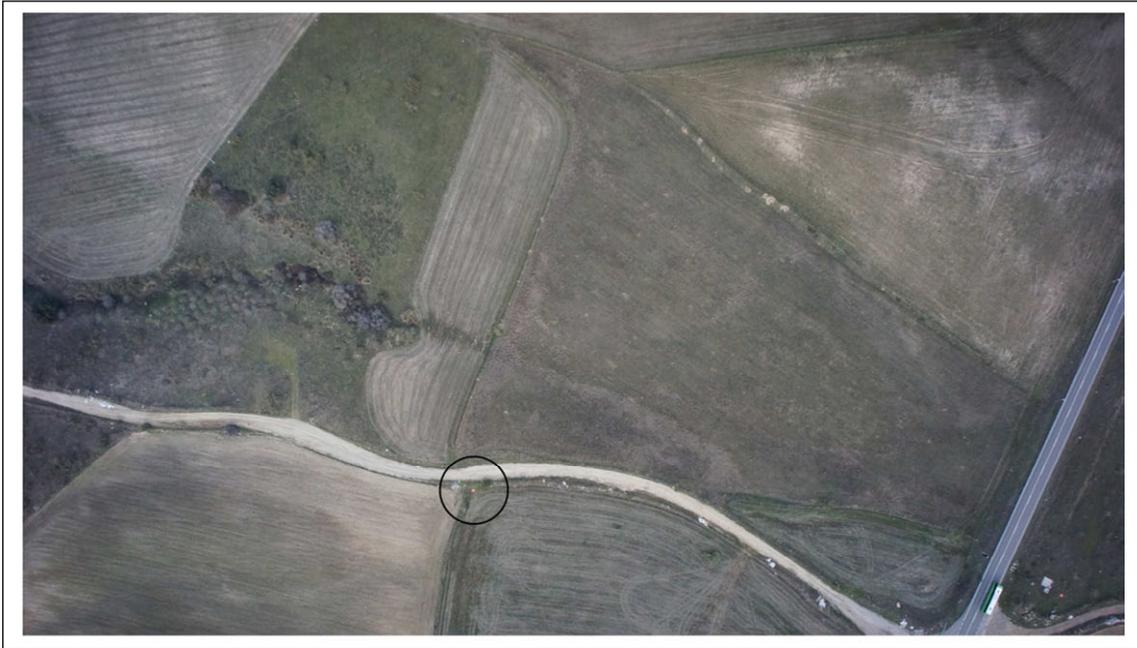
Z = 733,692

PUNTO C2006

RESEÑA LITERAL

Punto de control situado en el margen izquierdo del camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05300



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 421970,150

Y = 4482747,366

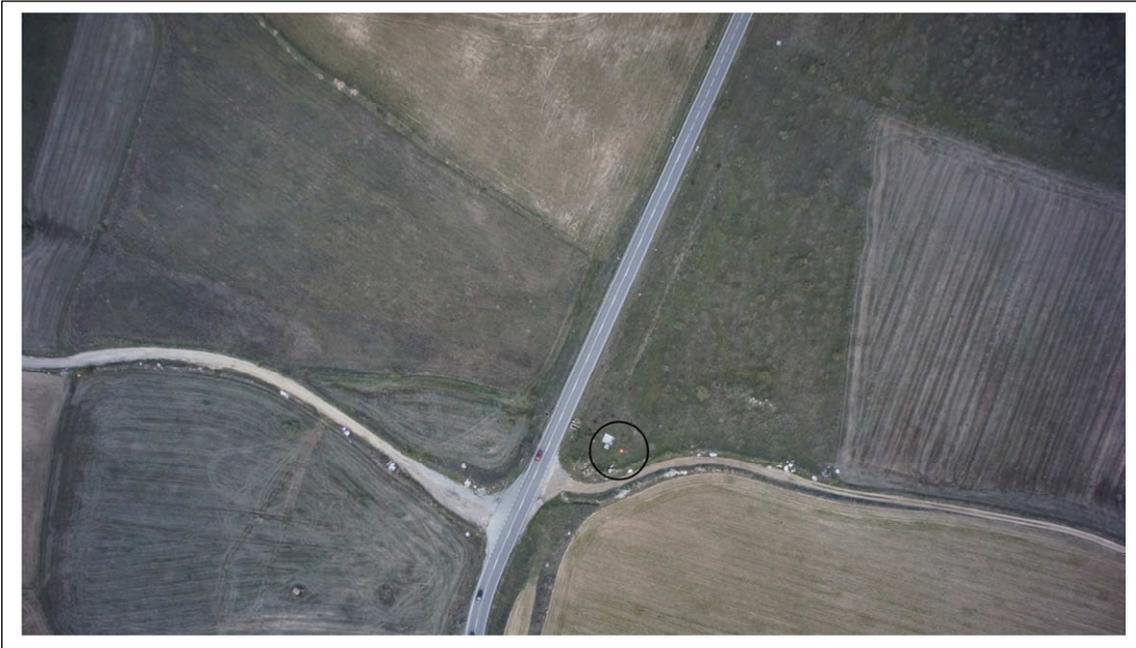
Z = 722,516

PUNTO C2007

RESEÑA LITERAL

Punto de control cercano a depósito situado en margen derecho del camino. Cota dada en el suelo

FOTOGRAMA: DSC05300



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422149,603

Y = 4482604,132

Z = 735,001

PUNTO P1009

RESEÑA LITERAL

Punto de apoyo situado en la linde de parcela agraria. Situada en el margen derecho del camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05270



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422216,617

Y = 4482554,228

Z = 734,451

PUNTO C2008

RESEÑA LITERAL

Punto de control situado en la linde de parcela agraria. Situado en el margen derecho del camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05270



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422307,044

Y = 4482466,857

Z = 729,603

PUNTO P1010

RESEÑA LITERAL

Punto de apoyo situado en el margen izquierdo del camino. Cota dada en el suelo.

FOTOGRAMA: DSC05240



AMPLIACIÓN



CROQUIS



COORDENADAS

X = 422404,090

Y = 4482333,342

Z = 724,814

