

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE

INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA

TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA



PROYECTO FIN DE CARRERA

**Obtención de una Ortoimagen del yacimiento de
Los Yesares mediante equipos UAV.**

Madrid, Septiembre 2015

Alumno:
Carlos Ruiz Serrano

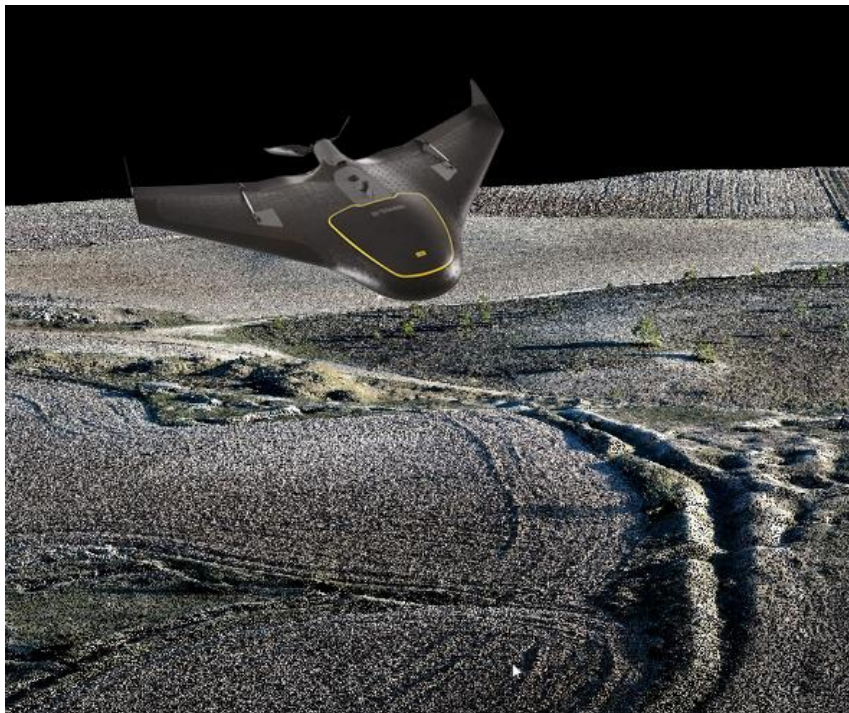
Tutor: Mercedes Farjas Abadía
Cotutores: Carlos Acevedo
Abel Varela Abelleira



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA

TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA



PROYECTO FIN DE CARRERA

Obtención de una Ortoimagen del yacimiento de
Los Yesares mediante equipos UAV.

Madrid, Septiembre 2015

Alumno:
Carlos Ruiz Serrano

Tutor: Mercedes Farjas Abadía
Cotutores: Carlos Acevedo
Abel Varela Abelleira



Agradecimientos

Aprovecho estas líneas para dar las gracias a mis compañeros, que me han ayudado durante estos años de universidad en especial a Jesús Lopez por acompañarme durante todo el viaje.

A mis profesores y a mi tutora Mercedes Farjas por estar siempre disponible cuando la he necesitado para este proyecto.

A la empresa Geotronics S.L. por proporcionarnos el material para realizar el proyecto.

A los arqueólogos de Cota 667 Ángela Crespo y Miguel Ángel Díaz por mostrarnos el yacimiento, su historia, y dejarme aportar mi grano de arena a su proyecto.

A mis amigos, a Estefanía y a mis padres Carlos y Regina por apoyarme y motivarme en todo momento.



1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 LOS VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS	5
1.3.1 Utilización y desarrollo de los UAV	5
1.3.2 Regulación legal en España de las operaciones civiles con RPAS	6
2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA	15
2.1 ESPACIO NATURAL.....	16
3. CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA	21
4. MATERIAL EMPLEADO	31
4.1 INSTRUMENTAL TOPOGRÁFICO.....	31
4.2 INSTRUMENTAL FOTOGRAMÉTRICO	32
4.3 SOFTWARE	34
4.3.1 Trimble Access™ Aerial Imaging	34
4.3.2 Trimble Business Center (TBC).....	36
4.3.3 Quick Terrain Reader.....	37
4.3.4 Leica Geo Office	37
5. METODOLOGÍA	41
5.1 PLANIFICACIÓN FOTOGRAMÉTRICA	41
5.2 PREPARACIÓN DEL EQUIPO	52
5.3 COLOCACIÓN Y TOMA DE COORDENADAS DE LAS DIANAS.....	58
5.4 EJECUCIÓN DEL VUELO	60
5.5 CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA.....	67
5.6 PROCESADO EN GABINETE	68
6. UN PROYECTO EN EL CONJUNTO DE LA MUSEALIZACIÓN	81
7. CONCLUSIONES	85



ANEXO I. Lista de puntos	91
ANEXO II. Informe de ajuste de misión de vuelo	95
ANEXO III. DERIVACIONES DE PUNTOS	99
ANEXO IV. RESUMEN DE IMPORTACIÓN	103
ANEXO V. Presupuesto.	107
1. INTRODUCCIÓN.....	107
2. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES.....	107
3. COSTES UNITARIOS.....	108
4. PRESUPUESTO POR ACTIVIDAD	109
5. PRESUPUESTO TOTAL	111
ANEXO VI. Bibliografía	115



1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal del presente proyecto es la obtención de una Ortoimagen del yacimiento arqueológico de la Guerra Civil Española de Los Yesares en Pinto, Madrid, para su estudio y valoración. El proyecto se realiza en colaboración con el equipo arqueológico cota 667, mediante los datos adquiridos por un dispositivo UAV proporcionado por la empresa Geotronics.

Para alcanzar este objetivo principal se plantearon las siguientes tareas:

- Creación del proyecto de vuelo.
- Distribución en campo de las dianas para los puntos de apoyo y toma de coordenadas de estas mediante equipo GNSS.
- Materialización del vuelo. Preparación del dispositivo de despegue, carga de los datos del vuelo en el UAV y lugar aterrizaje.
- Procesado de las fotografías y datos obtenidos y obtención del producto final para proporcionar a los arqueólogos información cartográfica del yacimiento.

Gracias a la rapidez y precisión de las nuevas herramientas de documentación geométrica tales como los equipos UAV o los equipos laser escáner, cada vez es más habitual su utilización en todo tipo de ámbitos, incluidos la documentación de elementos patrimoniales como es el caso de este proyecto. Por ello es esencial conocer estas nuevas herramientas, su correcta utilización y los diferentes flujos de trabajo para cada tipo de proyecto.

1.2 ANTECEDENTES

En la arqueología sobre el terreno, en las excavaciones, como en este caso, en yacimientos, de dimensiones complejas, es necesario una cartografía adecuada donde se puedan situar los elementos y hallazgos de forma cuantitativa, aportando su dimensión y disposición espacial.

En ocasiones, y como en este proyecto ocurre, uno de los objetivos es musealizar el yacimiento y esto implica que el público no siempre será especializado, por esto un documento como una ortofotografía u otros como el escaneado 3D de algunos componentes del yacimiento, facilita mucho la comprensión y ubicación de sus elementos ya que pueden verse tal como son en la realidad.

Los productos generados por estas técnicas: los modelos tridimensionales y las fotografías; son una fuente muy valiosa de cara a la difusión de los resultados.

La fotogrametría en concreto es una técnica utilizada habitualmente en la arqueología debido a la versatilidad en el trabajo de campo tanto en elementos altimétricos como en áreas abiertas y todo tipo de superficies, sobre todo en procesos de cambio continuo como pueden ser las excavaciones donde, además se encuentran restos de muros y superficies irregulares.

Gracias a las nuevas tecnologías de la fotogrametría como son los vehículos aéreos no tripulados, se consigue poder documentar todo tipo de yacimientos arqueológicos a bajo coste y con rapidez, pudiendo detener al mínimo imprescindible el trabajo de excavación, además se puede documentar individualmente cada zona en caso de que no se encuentren todas unidas o alguna merezca un especial interés o necesite más precisión.



Figura 1.2.1 Escaner laser. Fuente propia

1.3 LOS VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS

Según la definición de la Federación Internacional de Plataformas Aéreas No Tripuladas (*UVS INTERNATIONAL*) un UAV (Unmanned Aerial Vehicle) es una plataforma aérea diseñada para operar sin piloto humano a bordo.

1.3.1 Utilización y desarrollo de los UAV

En un principio el desarrollo de este tipo de plataformas estaba estrechamente ligado a la industria militar, en aplicaciones como espionaje, vigilancia o la obtención de cartografía de zonas aéreas enemigas. Es en la década de los 80 cuando se realizan las primeras aplicaciones geomáticas de ámbito civil (Wester- Ebbinghaus, 1980).

Poco a poco aumentan las aplicaciones de este tipo de dispositivos hasta que, ahora, el uso de esta tecnología está experimentando un crecimiento exponencial, ya que poseen un gran potencial para mediciones fotogramétricas de bajo coste en diferentes campos, en comparación con la fotogrametría aérea tradicional. Este desarrollo se debe fundamentalmente al aumento de la calidad y resolución actual de las cámaras fotográficas y a la integración de sistemas GNSS/INS que permiten establecer previamente al vuelo las posiciones donde se desea realizar la adquisición de las imágenes.

Concretamente, en las excavaciones arqueológicas al estar sometidas a procesos de cambio continuos, o requerir técnicas de documentación no inmersivas debido a la dificultad de acceso, o bien para no entorpecer las labores arqueológicas, los UAV presentan una solución más rápida que los métodos tradicionalmente utilizados como el GNSS o las soluciones aportadas mediante estación total.

A pesar de las numerosas ventajas de estos dispositivos, al ser relativamente nuevas es necesario prestar especial atención a las precisiones que lograremos en nuestros resultados para evaluar si es la mejor opción para cada tipo de proyecto.

1.3.2 Regulación legal en España de las operaciones civiles con RPAS

Según la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA), www.seguridadaerea.gob.es encontramos que existe un marco temporal para regular los trabajos realizados con este tipo de tecnología. En España se denominan Sistema de aeronave pilotada por control remoto (RPAS, *Remotely Piloted Aircraft System*).

Según el Artículo 11 de la Ley 48/1960, de 21 de Julio, sobre Navegación aérea (modificado por el artículo 51, de la Ley 18/2014, de 15 de Octubre):

Se entiende por aeronave:

- a) ...
- b) Cualquier máquina pilotada por control remoto que pueda sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra.

CLASIFICACIÓN DE LOS RPAS, SEGÚN LEY 18/2014, DE 15 DE OCTUBRE				
MTOM	Ámbito normativo	Régimen administrativo	Condiciones y limitaciones operativas	Cobertura de seguro de r.c.
< 2 kg	Nacional	Habilitación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VLOS, BVLOS (NOTAM) ▪ Altura 120 m. ▪ Alcance: el del enlace de radio. 	Ley 48/1960
>= 2 Kg < 20 kg			<ul style="list-style-type: none"> ▪ VLOS ▪ Alcance 500 m. ▪ Altura 120 m. 	
>= 20 kg <= 25 kg		Autorización	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Según certificado de aeronavegabilidad. ▪ Espacio aéreo no controlado 	Reglamento (CE) nº. 785/2004
> 25 kg <= 150 kg				
> 150 kg (salvamento, rescate, incendios)				
> 150 kg (resto de actividades y trabajos aéreos)	Europeo		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Según certificado de aeronavegabilidad ▪ Autorización ATC 	

Es importante tener en cuenta, en caso de ser usuario de un RPAS en España que están sometidos a la legislación aeronáutica, debido a que en el momento que la aeronave pierde el contacto con el suelo se encuentra en el espacio aéreo, incluso en recintos cerrados que carezcan de techo. Por lo tanto los operadores de RPAS son usuarios del espacio aéreo y deben saber que el espacio aéreo español es de dominio público, sobre el que tiene competencias exclusivas el Estado.

La seguridad es lo primero.

En cuanto a en qué escenarios o qué puede hacer un operador de RPAS se contemplan:

- Actividades aéreas de trabajos técnicos o científicos (artículo 50.3; con o sin ánimo de lucro).
- Vuelos especiales (Artículo 50.4).
- Situaciones de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública (artículo 50.8).



Figura 1.2: Octokopter. Fuente propia.

Limitaciones Operativas:

- Sólo se puede operar de día (de orto a ocaso).
- Condiciones meteorológicas visuales (VMC, *visual meteorological conditions*):
 - El volumen de operación debe estar libre de nubes.
 - Ausencia de precipitaciones.
 - Visibilidad de 1.500 metros o más.
- En espacio aéreo no controlado (clase G o TSA).
- Fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre. Altura de vuelo sobre el terreno inferior a 400 pies (120 m). Salvo en TSA.
- No se precisa hacer uso de aeródromos o aeropuertos.

Hasta 25 Kilos de MTOM:

Dentro del alcance visual del piloto (VLOS, *visual line of sight*) y hasta 500 metros de distancia de éste.



Figura 1.3: RPAS de más de 25 kg, Hermes 450 (www.milmae.net).

Hasta 2 kilos de MTOM:

Vuelos VLOS y posibilidad de vuelos más allá del alcance visual del piloto (BVLOS, *beyondvisual line of sight*).

Dentro del alcance de la emisión de radio de la estación de control.

Se debe contar con medio para conocer en todo momento la posición de la aeronave.

Condicionada a la emisión de un NOTAM por el proveedor de servicios de información aeronáutica (AIS; ENAIRE en España). Por ahora, no es posible.

En cuanto al el **operador civil**, éste debe cumplir los siguientes requisitos:

- Estar en posesión del Manual de Operaciones (apéndice E).
- Estudio aeronáutico de seguridad (apéndice F).
- Condiciones o limitaciones para garantizar la seguridad de las operaciones o vuelos.
- Disponer de una póliza de seguro de responsabilidad civil o garantía financiera. Los requisitos de esta varían si se trata de una aeronave con un MTOW superior o inferior a 20 kilos.
- Haber presentado la Comunicación previa y declaración responsable (apéndice A1).
- Disponer de acuse de recibo fechado y sellado (apéndice B1).

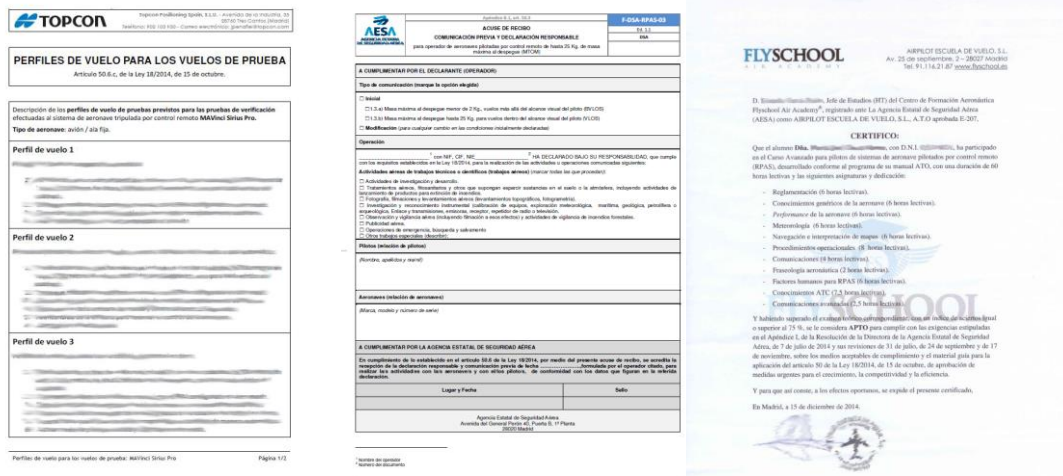


Figura 1.4: Ejemplos de Documentos. (Fernando Luis Sánchez Casado)

Además el **piloto** deberá:

- Ser mayor de 18 años.
- Acreditar los conocimientos teóricos, debiendo estar en posesión de una licencia de piloto, incluida la de piloto ultraligero, o un certificado de conocimientos teóricos para la obtención de una licencia de piloto, expedido por una ATO, o un certificado de haber superado la parte teórica de la licencia de piloto ultraligero, expedido por AESA, o un certificado de haber superado un curso básico (MTOM hasta 25 kilos; línea de vista), expedido por una ATO habilitada, o, por último, poseer un certificado de haber superado un curso avanzado (MTOM hasta 2 kilos; más allá de la línea de vista), expedido por una ATO habilitada.
- Disponer de un certificado de conocimiento adecuado de la aeronave y sus sistemas. Esto se consigue mediante un curso práctico para cada modelo de RPAS, que puede ser impartido por el operador a sus pilotos y para su RPAS, el fabricante, una organización designada por él, o una ATO.
- Un certificado Médico aeronáutico, que debe ser expedido por un examinador aéreo autorizado (certificado médico de Clase 2 o LAPL).

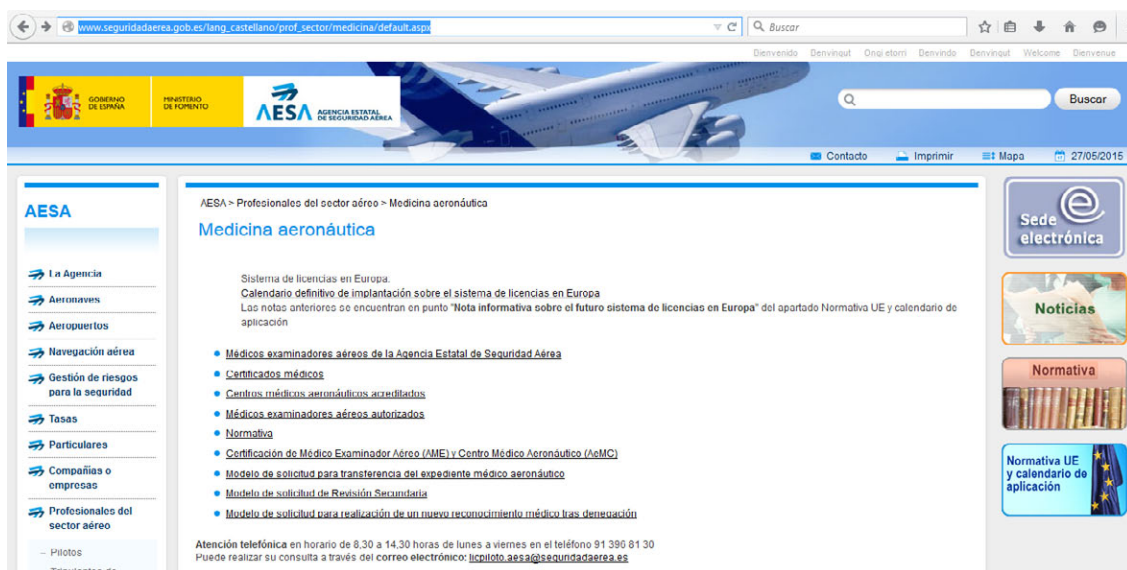


Figura 1.5: http://www.seguridadaerea.gov.es/lang_castellano/prof_sector/medicina/default.asp

Por otra parte **el sistema de la aeronave** tendrá que cumplir los siguientes requisitos:

- Portar una placa de identificación indeleble, legible a simple vista, fijada a la estructura, con los datos del RPAS y del operador.
- Documento de caracterización del sistema (apéndice D).
- Programa de mantenimiento (apéndice H).
- Certificado de vuelos de prueba (apéndice G).
- Perfiles de vuelos de prueba (apéndice G).
- Seguro de responsabilidad civil.
- Debe cumplir la normativa de uso del espectro radioeléctrico.
- El piloto al mando debe poder tomar el control manual de la aeronave en todo momento.



Figura 1.6: UX-5 de Trimble. Fuente propia.



INTRODUCCIÓN



Por último es necesario conocer el proceso administrativo a seguir para poder realizar este tipo de actividades, comenzando con una comunicación previa de inicio de actividades, realizando una declaración de responsabilidad y entregando la documentación necesaria del operador, el piloto y la aeronave que se utilizará. Una vez realizado esto, no es necesario ningún tipo de autorización más, y el operador podría comenzar las actividades transcurridos cinco días desde la fecha que figure en el acuse de recibo (apéndices B dentro del recibo).

Además, salvo que se haya indicado una fecha concreta y un área específica, la habilitación es para los tipos de actividad declarada, el espacio aéreo español y por tiempo indefinido.



2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El yacimiento de Los Yesares donde se ha realizado el proyecto se encuentra en el norte de Pinto, una localidad de la Comunidad Autónoma de Madrid. Pinto se encuentra a aproximadamente 20 kilómetros de Madrid. La localidad de Pinto limita con Getafe al Norte, con Torrejón de Velasco y Valdemoro al Sur, con San Martín de la Vega al Este y con Parla y Fuenlabrada al Oeste. Tiene un total de 62.7 kilómetros cuadrados y más de 48.000 habitantes.

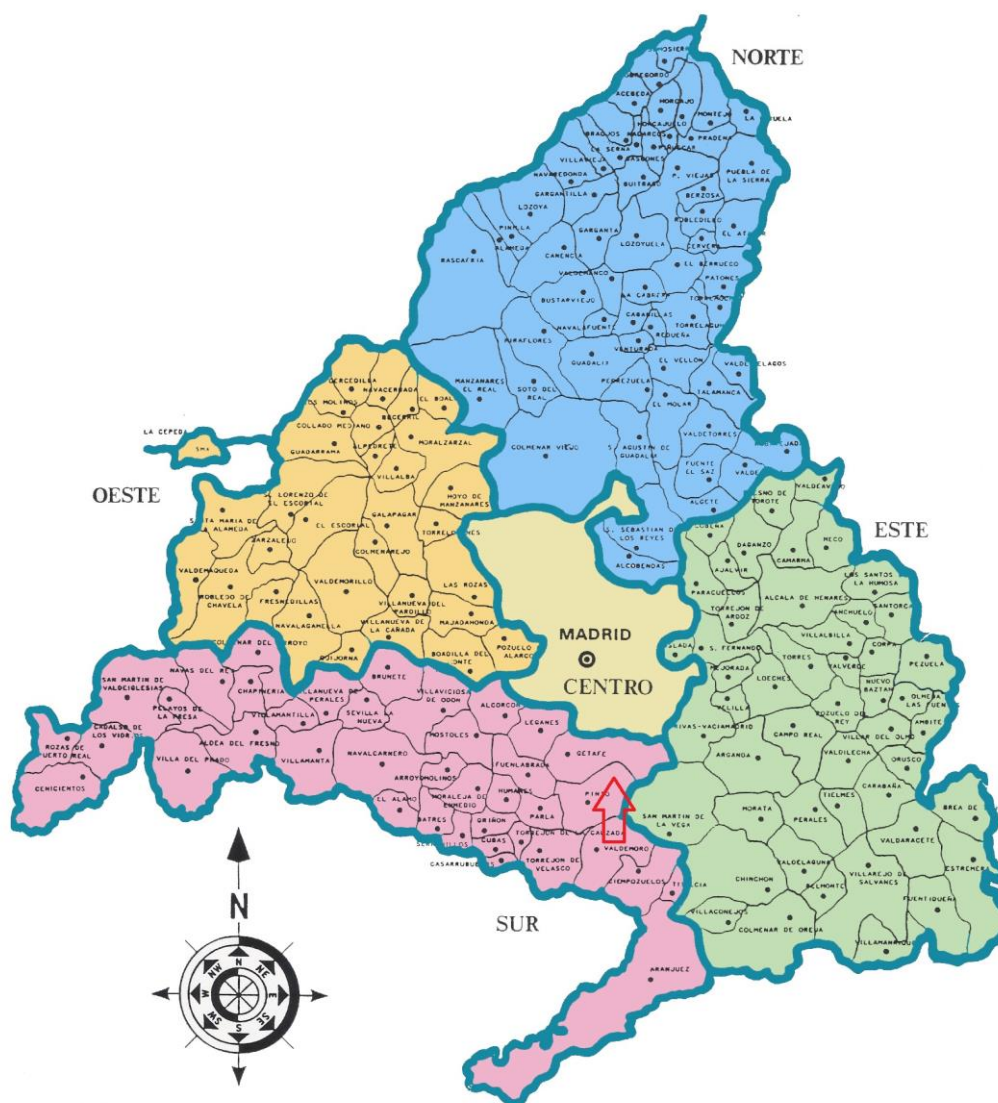


Figura 2.1 Situación de Pinto en un Mapa de municipios de Madrid. Fuente www.madrid.org



Figura 2.2 Situación del yacimiento. Fuente Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Dirección General de Urbanismo y Estrategia territorial. Centro Regional de Información Cartográfica.

2.1 ESPACIO NATURAL

Parte del municipio se encuentra dentro del Parque Regional del Sureste, este parque comprende 31.550 hectáreas, es uno de los espacios naturales protegidos de la Comunidad de Madrid situado entre los ejes de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama. En esta zona se encuentra a una altitud baja en comparación con otras zonas de la Comunidad no llegando a superar los 700 metros, dónde se consiguen temperaturas altas más propias del clima mediterráneo que del atlántico.



Esta zona posee gran cantidad de agua desde el Terciario, la que ha ido modelando el territorio. Actualmente en el parque se unen las aguas del Jarama y sus tres afluentes, el Manzanares, el Henares y el Tajuña, además se han creado numerosas lagunas artificiales favoreciendo la presencia del agua en algunas zonas del parque. Es en estas lagunas donde numerosas especies, mayoritariamente de aves, encuentran un lugar idóneo para reproducirse.

A pesar de toda esta diversidad biológica, el parque está altamente humanizado, el cincuenta por ciento de su territorio está destinado a cultivos agrícolas, la mayoría situado en el fondo del valle del bajo Jarama, donde el maíz es el cultivo principal.

Bajo tierra se encuentran depósitos de gravas silíceas de la sierra formados durante el cuaternario por la fuerte erosión fluvial. Estos depósitos son extraídos por la minería, destinando el material conseguido mayoritariamente a la construcción.

Para proteger todo esto, junto con las zonas donde se encuentran elementos de valor arqueológico y paleontológico, se creó el Parque Natural en torno a los ejes del bajo Manzanares y Jarama, mediante la Ley 6/94 el 28 de Julio.



3. CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA

3. CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA

Durante la Guerra Civil Española, tras una respuesta poco efectiva por parte de las autoridades republicanas ante el golpe de estado del 18 de Julio de 1936, los generales sublevados confiaban en que con la ocupación de Madrid podrían finalizar rápidamente el conflicto y hacerse con el poder.

El General Mola, al mando del constituido recientemente “Ejercito del Norte”, se dirigía hacia Madrid con intención de ocuparla cuando fue detenido en las cumbres del Sistema Central.

Al mismo tiempo, en el Sur, se constituyó la denominada “Columna Madrid”, que partió hacia Madrid dirigida por el General Varela el 3 de Agosto de 1936.

Durante ese verano tuvieron lugar varios episodios importantes de la contienda. La ocupación de Badajoz el 14 de agosto, la ocupación de Talavera de la Reina el 3 de Septiembre y la ocupación de Toledo, con el episodio del fin del asedio de Alcázar el 27 de Septiembre, desde donde partieron las tres columnas dirigidas por Varela y comandadas por los coroneles Yagüe, Barrón y Monasterio, que a principios de Octubre iniciaron el asalto de la capital siguiendo las líneas de las carreteras de Extremadura, Toledo y Andalucía respectivamente, en lo que sería el germen lo que se conoce como “Batalla de Madrid”.

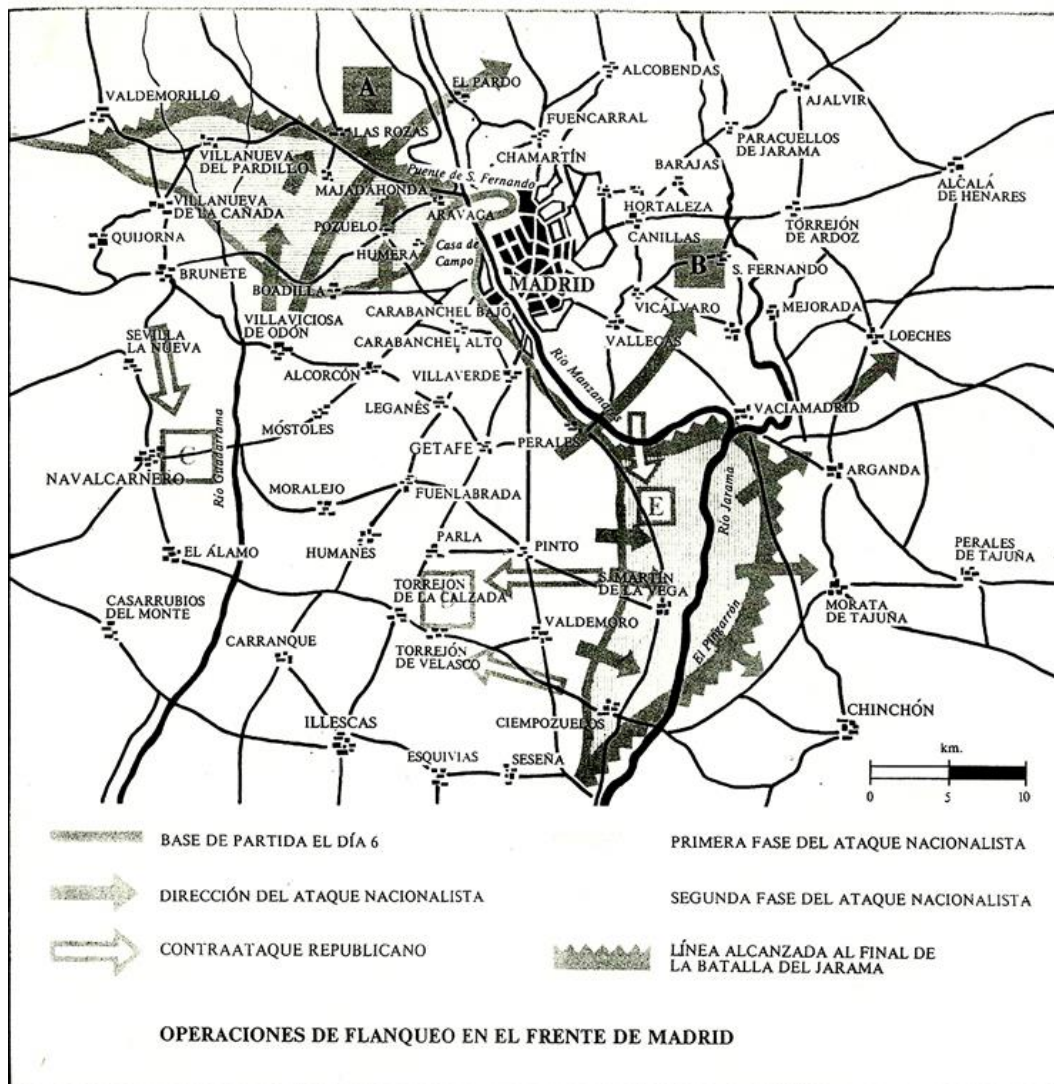
Hasta estos momentos el avance del ejército sublevado había sido rápido debido a la desintegración del ejército en el bando republicano y a la mala actuación de las milicias populares. Pero esta situación cambio con la creación del “Ejército Popular de la Republica” que combinó a las milicias con los restos del ejército regular y organizaron de modo más efectivo la defensa de la capital.

Entre otras medidas, el gobierno republicano planificó la defensa de la capital creando cuatro anillos defensivos concéntricos que serían fortificados con la construcción de numerosos fortines de hormigón. El operativo fue ideado por el general Masquelet, y de ahí el nombre por el que se conoce (“Plan Masquelet”) y ejecutado por la Comisión de Fortificaciones, a cargo del coronel Ardid, que a su vez dependía de la Consejería de Milicias de la Junta de Defensa de Madrid.

El segundo de estos anillos discurría por la línea Brunete-Villaviciosa de Odón-Fuenlabrada-Pinto-San Martín de la Vega.

El plan se quedó prácticamente en el aspecto teórico, llegando a construirse únicamente algunas de las fortificaciones en Madrid, Getafe o el Cerro de los Ángeles.

Tras la ocupación de los pueblos del Norte de la provincia de Toledo, en Noviembre de 1936 se comienza a combatir en los alrededores de Madrid.



Croquis, inspirado y en parte transcrito del general Vicente Rojo, sobre las operaciones ofensivas de Franco-Mola para el desbordamiento, por los dos flancos, del frente de

Madrid, tras el fracaso del ataque frontal de Noviembre. Se trata de las batallas de la niebla (diciembre-enero) y del Jarama (febrero de 1937).

Figura 3.1 Operaciones de flanqueo en el frente de Madrid. Fuente: Historia de España. Juan de la Cierva.

Pinto, Getafe y Fuenlabrada fueron ocupados el día 2, Móstoles el día 3, y el 6 de Noviembre ya se combatía en Villaverde.

Los combates continuaron en las afueras de la capital durante todo el mes de Noviembre en un frente que abarcaba desde la Ciudad Universitaria por el Norte, hasta la carretera de Andalucía a la altura de Usera por el Sur.

A B C. MIÉRCOLES 25 DE NOVIEMBRE DE 1936. EDICIÓN DE LA MAÑANA. PAG. 5 *

EL ENEMIGO, QUE PRESIONO VIOLENTAMENTE EN LA MA- DRUGADA DE AYER POR DISTINTOS SECTORES DEL FRENTE DE MADRID, FUE RECHAZADO ENERGICAMENTE Y SUFRIÓ GRANDES PERDIDAS

En un avance sobre Pinto sufren los facciosos muchas bajas y pierden fusiles, mulos y ganado lanar.

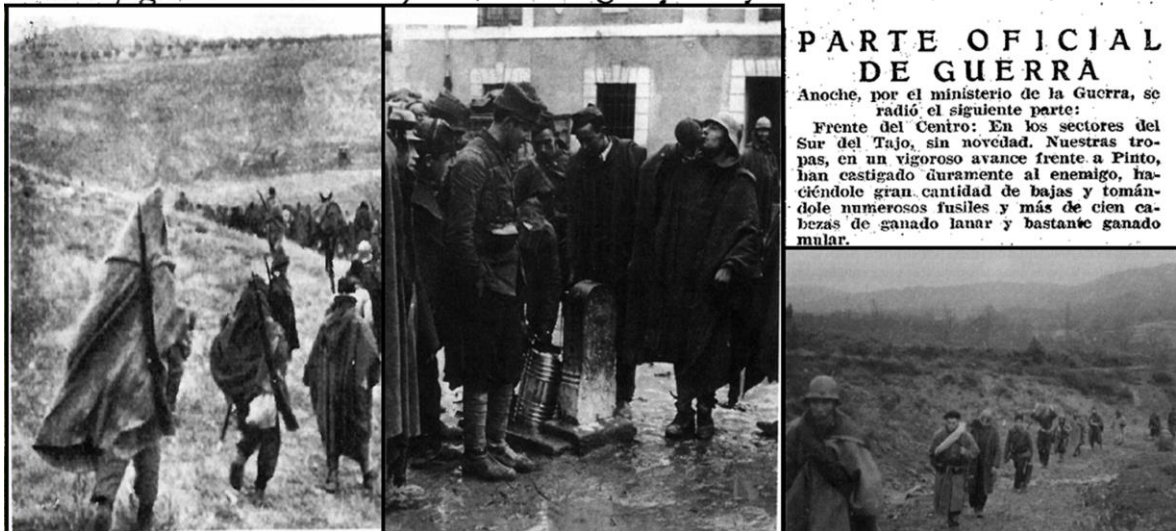


Figura 3.2 Periódico ABC 1936 Fuente Blog de Miguel Ángel García.

Los restos asociados a los combates de estos primeros momentos que han sobrevivido en Pinto son escasos, y están localizados en el casco urbano del municipio, relacionados con la ocupación, el asentamiento de infraestructuras logísticas y el acuartelamiento de tropas. Sin embargo hay que destacar que una de las zonas en las que se conservan aun vestigios de la guerra, el Cerro Cabeza Fuerte, comenzó a ser fortificados por las tropas republicanas en este momento, siendo continuada la labor por las tropas franquistas tras su posterior ocupación.

Aunque el asalto directo a la capital no pudo culminar con éxito, la idea de asediar Madrid y ocuparla no se abandonó, y en los siguientes meses, ya en el año 1937, tuvieron lugar varias ofensivas por parte de ambos bandos encaminadas a tomar la ciudad en un caso y a aliviar el cerco en el caso contrario.

En este sentido acaecieron las batallas del Jarama, Guadalajara y Brunete durante los meses de Febrero, Marzo y Julio de 1937 respectivamente.

En el caso de la zona de estudio que nos ocupa, los acontecimientos que tuvieron lugar en ella están en relación con la Batalla del Jarama.

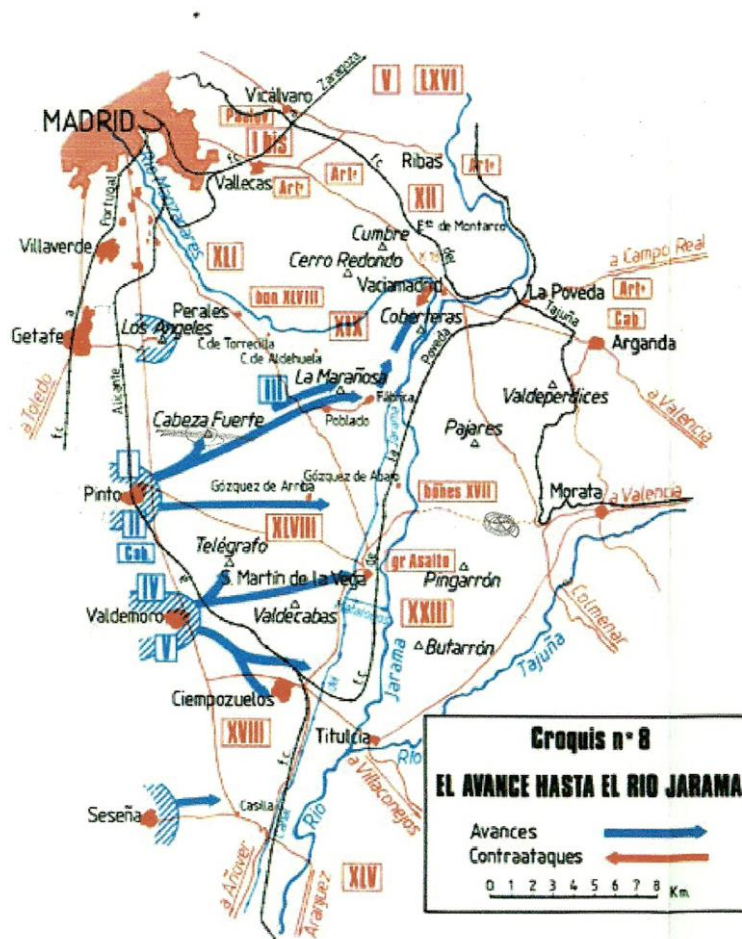


Figura 3.3 Primera Fase Batalla del Jarama. Fuente: La lucha en torno a Madrid. Martínez Bande.

Ya a mediados de enero de 1937 ambos bandos eran conscientes de la importancia que tenía la carretera de Madrid-Valencia, pues había quedado como importante corredor por el que llegaban suministros a la capital. Por ello habían estado acumulando tropas y

realizando movimientos de las líneas en la zona para ser los primeros en iniciar la ofensiva, aunque finalmente fueron las tropas sublevadas las que tomaron la iniciativa.

En este sentido tuvo lugar la ocupación el 19 de enero, por parte de las tropas de la 4ª División republicana al mando de coronel Modesto, del Cerro de los Ángeles (“Cerro Rojo”), en un movimiento que pretendía mover las líneas defensivas desde Villaverde al otro lado del Manzanares y enlazar por el este con los efectivos de la 48 Brigada Mixta en la zona de Rivas.

Los combates en el cerro, a escaso kilómetro y medio de nuestra zona de estudio, fueron muy intensos y finalmente fue recuperado por varios tabores de regulares.

En este punto, aprovechando la inercia, las tropas franquistas continuaron su avance hacia el este, llegando a ocupar el cerro Cabeza Fuerte, pero debieron retroceder y tomar posiciones a lo largo de la carretera de Andalucía debido a la intensidad de las lluvias que hicieron impracticable el terreno.

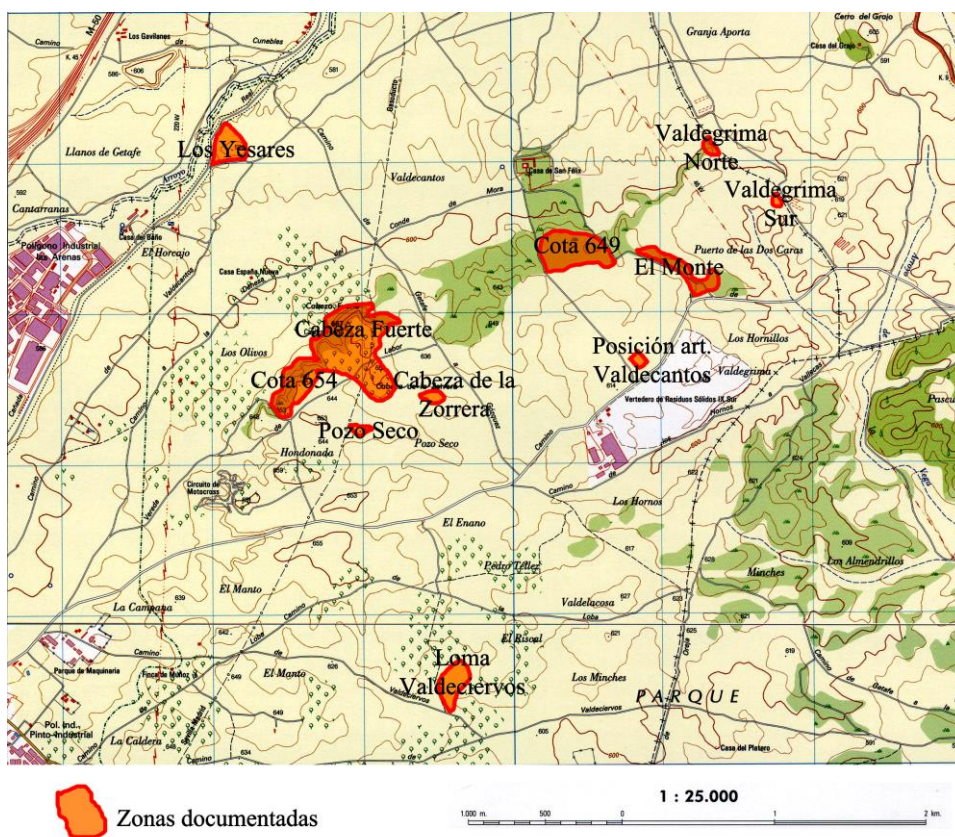


Figura 3.4 Mapa IGN 1:25.000 con las zonas documentadas en Pinto, con restos de la Guerra Civil
Fuente: Miguel Ángel Díaz y Ángela Crespo Fraguas.



Los planes de ataque se ralentizaron pero siguieron ejecutándose y para ello se acantonaron cinco brigadas en el eje Norte-Sur que constituía la carretera de Andalucía, en los pueblos de Pinto y Valdemoro, al mando del general Varela, que iniciarían su avance el día 6 de Febrero.

Desde Valdemoro partieron las brigadas de los coroneles Asensio y García-Escámez, mientras que desde Pinto partieron las brigadas de los coroneles Rada y Sáez de Buruaga, quedando la de Barrón en reserva, que apoyaría más adelante a ambas.

El coronel Rada fue el primero en iniciar el avance en dirección Noreste ocupando los vértices que se extienden desde la carretera de Andalucía hasta la unión de los ríos Manzanares y Jarama. Estas alturas son (de SW a NE); Los Yesares, Cabeza Fuerte, Cota 649, Monte del fraile, La Marañoso y Coberteras.

Su misión era proteger el flanco Norte de la ofensiva franquista ante cualquier respuesta republicana que viniese desde el sur de la capital para que las demás brigadas pudiesen operar en la zona central. En este sentido, el coronel Sáez de Buruaga comenzó su avance igualmente desde Pinto en dirección Este con la intención de ocupar San Martín de la Vega, ya a las orillas del río Jarama.

En cuanto a la zona donde se ha realizado el proyecto, Los Yesares, no está muy claro en qué momento se ocupó exactamente. Pudo haber sido en los combates que tuvieron lugar en torno al 19 de enero en la zona del Cerro de Los Ángeles o en el primer intento a finales de enero por ocupar el Cerro Cabeza Fuerte que acabó con la vuelta a las posiciones de partida debido al mal tiempo o si por el contrario se ocupó al iniciarse la ofensiva del Jarama el 6 de Febrero de 1936. En todo caso fueron las tropas de la I Brigada del Coronel Rada las que se ocuparon de su defensa a lo largo de toda la ofensiva.

Los combates más intensos en el flanco norte del avance franquista se concentraron principalmente en “La Marañoso” y “Coberteras”, por su proximidad a la carretera de Valencia, sufriendo la zona que nos ocupa numerosos bombardeos de artillería y protagonizando alguna “descubierta” de las tropas en dirección norte pero de nula repercusión.



La línea del frente en esta zona permanecería desde este momento sin alteración alguna hasta el final de la guerra, realizándose únicamente tareas de fortificación y protagonizando ataques esporádicos.

Los restos que han llegado hasta nuestros días se corresponden con la “fossilización” del frente al finalizar la guerra.

La posición de Los Yesares se corresponde con la posición “Vega Baja” perteneciente al VI núcleo de resistencia denominado “Centro de resistencia Cerro de los Ángeles”, que fue ocupado hasta final de la guerra por las tropas de la División 18. En él encontramos los elementos de fortificación típicos dictados por las órdenes del Estado Mayor que son:

- Fortines para armas automáticas (4).
- Pozos de tirador (51).
- Red de trincheras (1308 m conservados)
- Caminos fortificados/Zanja antitanque (2).
- Puesto de tiro de mortero (1).
- Abrigos de hábitat (17).
- Refugio para oficiales (1).



4. MATERIAL EMPLEADO

4. MATERIAL EMPLEADO

A continuación se describe el material utilizado en la realización de este trabajo, tanto instrumental como de software.

En el primer apartado se tratará el instrumental topográfico, en el segundo el material utilizado en el área de fotogrametría y, por último, un tercer apartado donde se mostrarán los programas informáticos utilizados a lo largo del proyecto.

4.1 INSTRUMENTAL TOPOGRÁFICO

El instrumental utilizado para la toma de las coordenadas de los puntos de apoyo fueron los equipos Leica GPS System 500 y Leica GPS System 1200, que proporcionan unas prestaciones similares y datos compatibles entre sí. Consiguiendo una precisión de 20mm+1ppm en RTK.

Leica GPS System 1200 formado por los siguientes componentes:

- Antena AX1202 SmartTrack de doble frecuencia L1/L2 y plano de tierra.
- Receptor GX1230 bifrecuencia 12 L1 y 12 L2, fase, código C/A y P, tarjeta de memoria CompactFlash.
- Antena de radio y un radio modem.
- Terminal 1200 con interfaz táctil.
- Baterías y cables.
- Bastón GPS y mochila.

Leica GPS System 500 formado por los siguientes componentes:

- Antena AT502 de doble frecuencia L1/L2 y plano de tierra.
- Receptor SR530 bifrecuencia con 12 canales en L1, código C/A y fase y otros 12 en L2 con código P y fase; al que se conecta la tarjeta de memoria PCMCIA.
- Antena de radio y un radio modem.



- Terminal TR500 que ofrece una interfaz completa para el usuario.
- Baterías y cables.
- Bastón GPS y mochila.

4.2 INSTRUMENTAL FOTOGRAMÉTRICO

El material utilizado para la parte relacionada con la fotogrametría se compuso de:

UX-5 Trimble: Proporcionado por la casa Geotronics (www.geotronics.es).

Características:

HARDWARE

- Tipo *Ala fija*
- Peso..... *2,5 kg*
- Envergadura..... *1 m*
- Superficie alar..... *34 dm²*
- Dimensiones *100 cm x 65 cm × 10'5 cm*
- Material..... *Espuma de polipropileno expandido; 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 espejo, sensor APSC, con objetivos personalizados de 15 mm.*
- Controlador..... *Robusta Trimble Tablet PC*

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

- Tipo..... *Catapulta de lanzamiento*
- Ángulo 30 grados

ATERRIZAJE

- Tipo..... *De vientre*
- Ángulo 14 grados

ESPACIO DE ATERRIZAJE (L X A)³

- Típico..... 20 m x 6 m
- Recomendado 50 m x 30 m
- Límite climático..... 65 km/h y lluvia ligera
- Comunicaciones y frecuencia de control..... 2.4 GHz
- Comunicaciones y distancia de control Hasta 5 km

RENDIMIENTO DE LA ADQUISICIÓN

- Resolución (GSD) *De 2,4 cm a 24 cm*
- Altura sobre la ubicación de despegue (AGL) *De 75 m a 750 m.*

4.3 SOFTWARE

Para la programación del vuelo, los procesamientos fotogramétricos y la visualización de los datos obtenidos, los programas utilizados son los siguientes.

4.3.1 Trimble Access™ Aerial Imaging

Es el programa utilizado en el equipo Trimble Tablet PC para programar el vuelo y controlar el UAV desde el terreno.

El programa se ejecuta en el sistema operativo Windows, en este caso en Windows 7.

Permite planificar el vuelo desde una imagen georreferenciada, como por ejemplo una imagen del Google Maps, o un mapa de la zona que puede obtener mediante conexión a internet o si se le proporciona mediante alguna memoria externa.

Permite la posibilidad de planificar más de un vuelo si la autonomía no fuera suficiente para cubrir toda el área deseada.

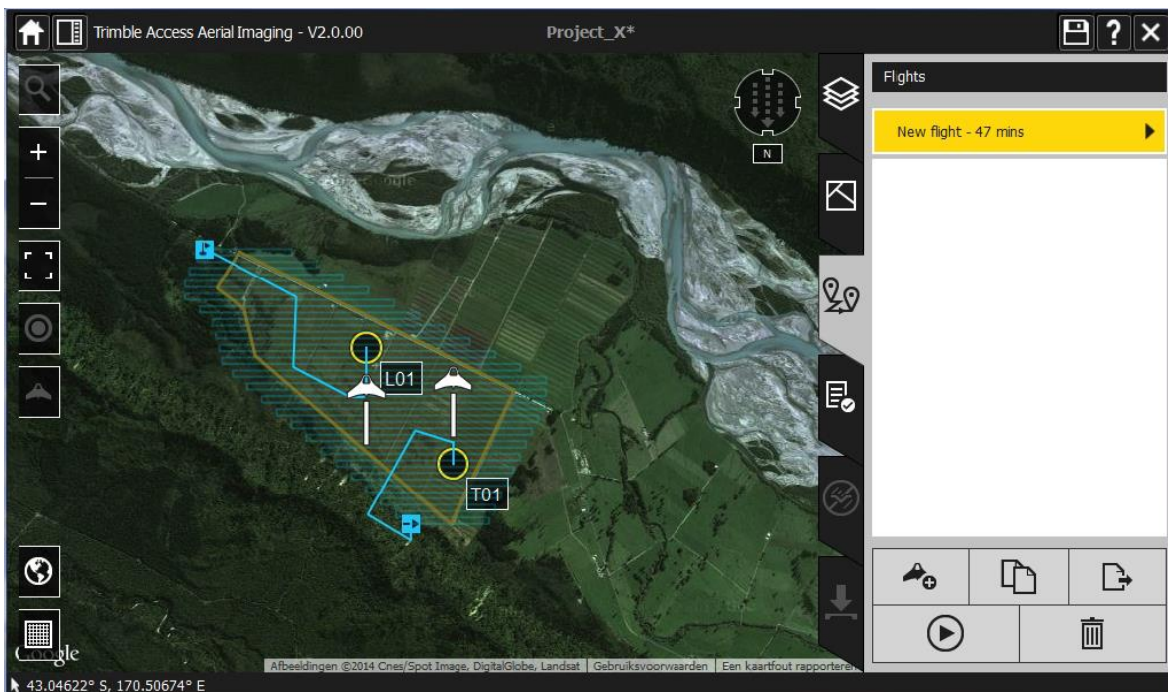


Figura 4.3.1 Interfaz de Trimble Access Aerial Imaging. Fuente www.trimble.com.

Además permite realizar una simulación del vuelo para comprobar que la dirección de despegue es la correcta, el UAV no entra en ninguna zona aérea restringida, los giros y trayectorias son correctas y la zona de aterrizaje es la adecuada.

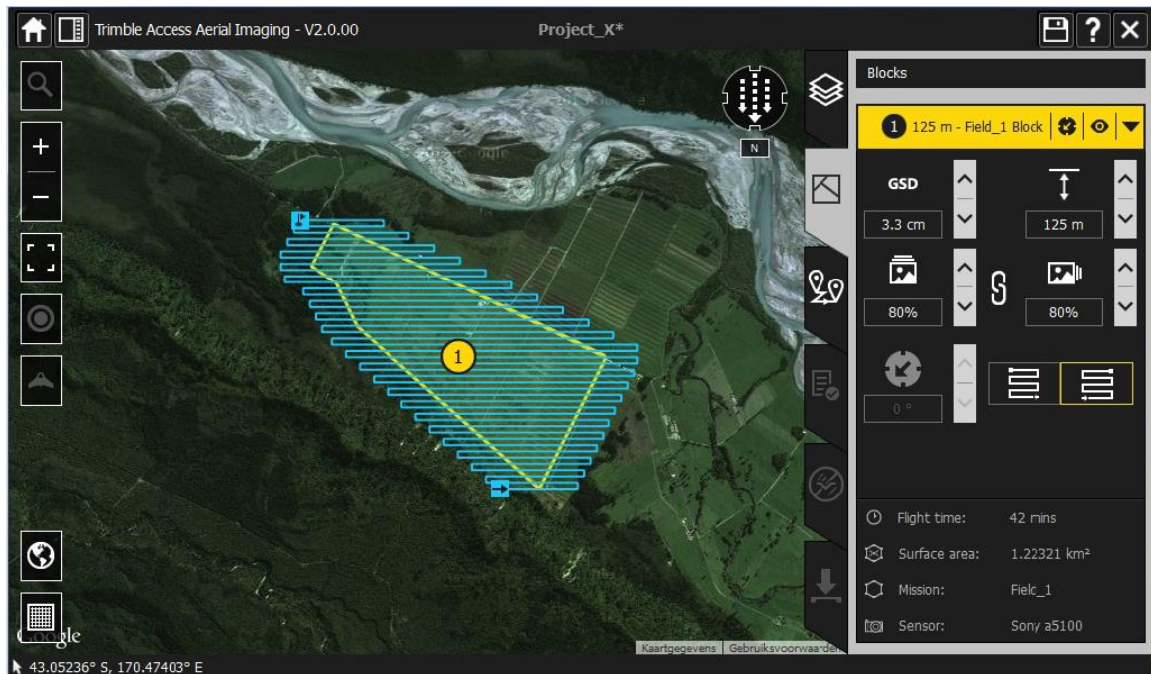


Figura 4.3.2 Interfaz de Trimble Access Aerial Imaging. Fuente www.trimble.com

Antes de despegar, el programa está preparado para avisar en caso de que la duración de la batería del UX5 sea menor del 75%, la duración de la batería de la Tablet sea menor de 90 minutos o el número de satélites sea entre 4 y 8; o para cancelar la realización del vuelo si la eBox no presenta el estado correcto, la señal GPS no es correcta, el sensor de despegue no es correcto (esto significa que todavía no se han estabilizado la guiñada, el cabeceo y el alabeo), no se ha iniciado el registro de datos o la GCS no tiene conexión GPS.

Durante el vuelo es posible ver la situación del UAV, los parámetros de vuelo (como la altura de vuelo, la velocidad, la aceleración), además, la superficie fotografiada y la restante, el tiempo restante para finalizar el vuelo, entre otros datos.

Más adelante se explican los pasos a seguir para configurar el vuelo.

4.3.2 Trimble Business Center (TBC)

Este programa está preparado para editar, procesar y ajustar datos topográficos.

Existen varias versiones y módulos que permiten realizar diversos trabajos topográficos y fotogramétricos.

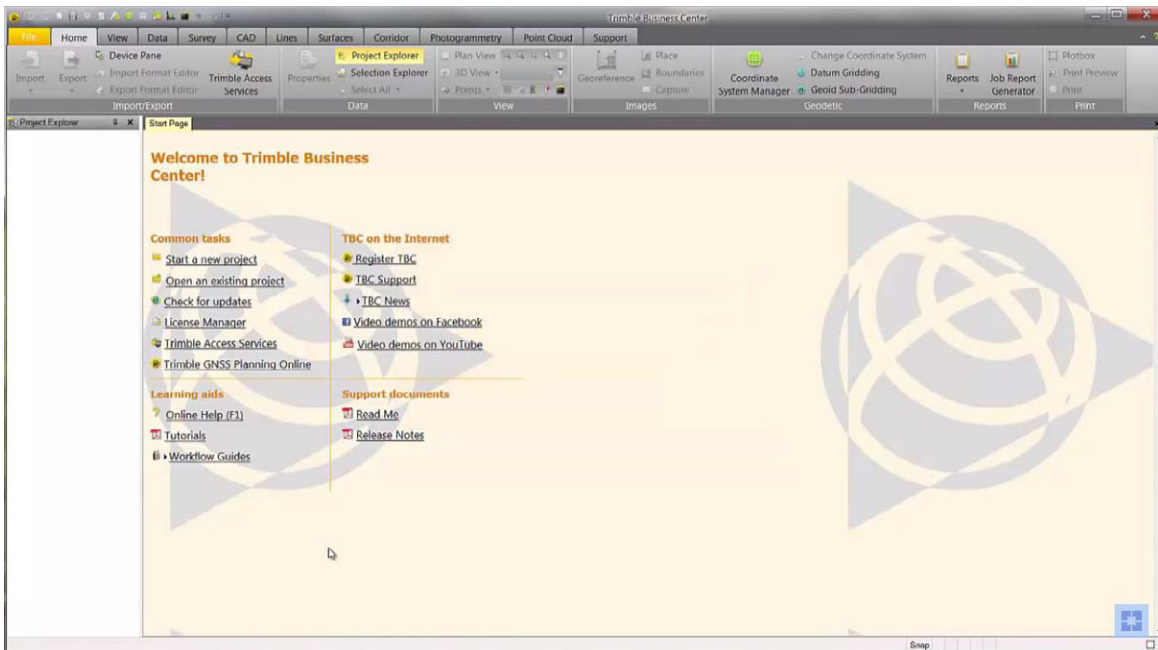


Figura 4.3.3 Interfaz de Trimble Business Center.

Para este proyecto se utilizó el módulo de fotogrametría, que es el que nos permite importar y trabajar con los datos del vuelo y las imágenes tomadas por nuestro UAV. Está preparado para manejar una gran cantidad de imágenes y generar mosaicos con ellas, cambiando la resolución mostrada en pantalla según el zoom seleccionado. Con él seremos capaces de generar la Ortofotografía, la nube de puntos 3D y los modelos digitales del terreno.

El programa ofrece de manera ordenada las acciones que te conducen a la obtención de cada uno de estos productos. Una vez generados permite su visualización en plano, en 3D o, incluso, simular la vista desde una de las estaciones.



4.3.3 Quick Terrain Reader

Es un programa que permite la visualización de nubes de puntos de una manera rápida y sencilla.

Debido a que únicamente cargamos en él la nube de puntos utiliza menos recursos que el programa TBC y por eso ayuda a acceder y navegar por ella más rápidamente.

Tiene varias funciones para examinar la nube de puntos, tales como aplicar color según la altura de cada punto, cambiar el tamaño de los puntos, exagerar las alturas, realizar medidas o incluso generar un informe del modelo, entre otras.

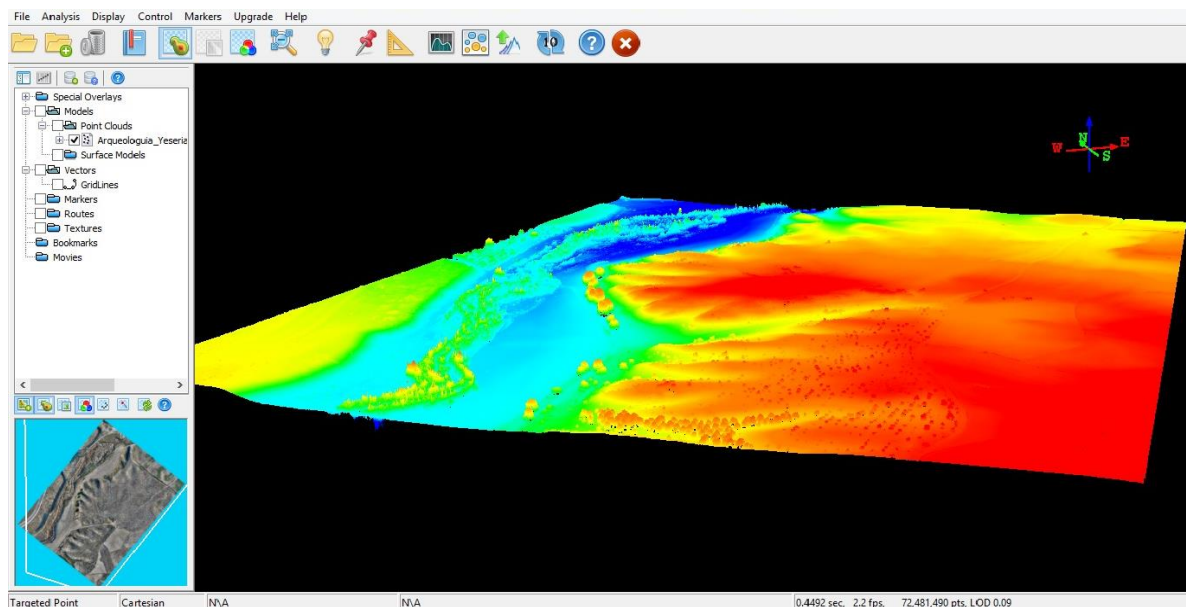


Figura 4.3.4 Interfaz de Quick Terrain Reader.

Más adelante se describen algunas de las vistas que es capaz de generar, útiles para la comprensión del terreno.

4.3.4 Leica Geo Office

Es un programa para la visualización y manejo de los datos obtenidos mediante una estación total, un nivel o como es nuestro caso un GPS.

Aunque no fue utilizado directamente en este proyecto, es importante nombrarlo porque con él se calculó la red que dio soporte a este proyecto dotando de coordenadas a los puntos del terreno.



MATERIAL EMPLEADO





5. METODOLOGÍA

5. METODOLOGÍA

A continuación se exponen los pasos realizados durante este proyecto para la obtención de una ortoimagen del yacimiento.

5.1 PLANIFICACIÓN FOTOGRAMÉTRICA

Antes de salir a campo es necesario realizar un estudio previo del lugar para poder planificar los vuelos necesarios para obtener las fotografías correctas de la zona, óptimas para los trabajos posteriores. Es decir, conocer la superficie total de interés y sus desniveles, pues esto es imprescindible para decidir el número de vuelos y su duración, con lo que podremos planificar las baterías y horarios de vuelo.

Gracias al programa Trimble Access parte de este proceso pasa a realizarse en campo, pero es importante realizar una estimación para no encontrarse en terreno con imprevistos si es la primera vez que se acude al lugar.

Puede realizarse consultando Google Maps y Street View si es una zona con alguna carretera cercana. Si no quedara claro como es el terreno se podría incluso consultar algún mapa topográfico.

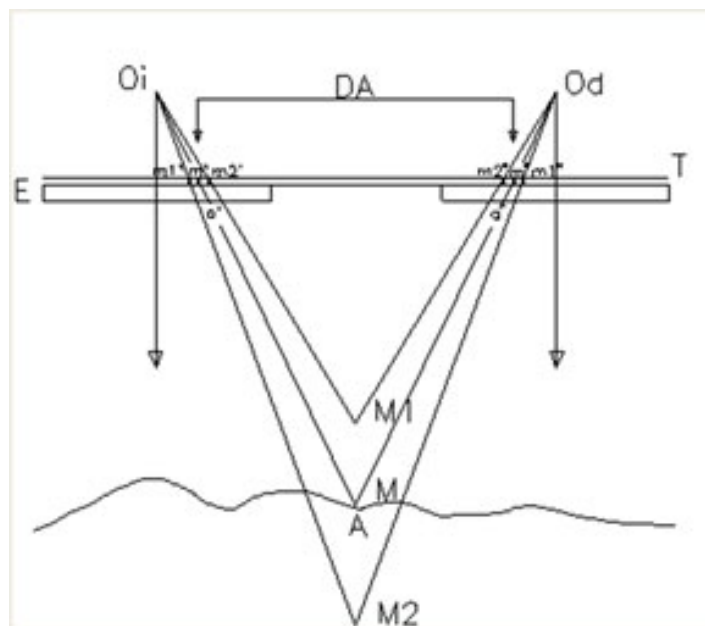


Figura 5.1.1 Esquema de distancias en la fotogrametría. Fuente Carlos Juan Vidal

Los parámetros utilizados en la planificación del vuelo son:

Parámetro	Abreviatura
Escala de la imagen	m_b
Altura de vuelo	H_v
Distancia focal	f
Tamaño de la imagen en el terreno	$S(x,y)$
Tamaño del sensor	$S'(x,y)$
Recubrimiento longitudinal y transversal	$p \ q$
Distancia entre pasadas	a
Área del modelo	F_m
Escala de los productos derivados	Escala
Límite de precepción visual	Límite de PV
Ground Sample Distance	GSD
Número de píxeles	N_{px}
Tamaño del píxel	T_{px}
Número de Waypoints	N_w
Longitud de la pasada	L_v

Tabla 5.1 Parámetros en Fotogrametría.

- Escala de la imagen. Se define por la altura de vuelo sobre el terreno entre la distancia focal de la cámara.

$$m_b = \frac{H_v}{f}$$

- Altura de vuelo. Definida por la focal por el GSD entre el tamaño del píxel.

$$H_v = \frac{f * GSD}{T_{px}}$$

- Dimensiones de la imagen en el terreno. Determinadas por el tamaño del sensor:

$$S_x = \frac{S'_x * H_v}{f}$$

- Longitud de la Baseline. Que se calcula a partir del porcentaje de recubrimiento longitudinal:

$$B = S(1 - \frac{p}{100})$$


- Distancia entre dos pasadas.


$$a = S(1 - \frac{q}{100})$$

- Área cubierta por el modelo.



$$F_m = S^2 - S * B$$

Una vez en campo, recurrimos a la Tablet Pc de Trimble y comenzamos a planificar el vuelo siguiendo el procedimiento dentro del Trimble Access™ Aerial Imaging.


En primer lugar creamos un nuevo proyecto, para ello pinchamos en la pantalla de inicio en  y le damos un nombre a nuestro proyecto. Nos aparecerá la capa Mapas del nuevo proyecto.





Colocamos un mapa de fondo georreferenciado. Podremos utilizar un mapa online si disponemos de conexión a internet, de esta manera simplemente tendremos que pulsar en  y nos cargará automáticamente un mapa de la zona donde nos encontremos desde el proveedor de mapas que tengamos predefinido.

Podremos hacer zoom hasta identificar claramente la zona de interés.



En caso de no disponer de conexión a internet en campo, podremos descargar un mapa offline antes de ir al lugar (mientras si tenemos conexión a internet) para disponer de él una vez allí y poder visualizarlo en una capa durante el vuelo. Para esto pulsamos en  y luego en , mediante la barra de herramientas es posible seleccionar el área a descargar.


El programa proporciona un nivel de zoom de 10 que corresponde aproximadamente a 95m por píxel en el área máxima que es capaz de descargar.


Otra opción es cargar nuestra propia cartografía, para ello deberemos generar un archivo GeoTiff mediante otro software, como por ejemplo Trimble Business Center. Este archivo debe estar georreferenciado en el datum WGS84 y ocupar menos de 120 MB. Una vez introducido el archivo en la Tablet Pc, podremos utilizarlo como mapa seleccionando crear un ortomosaico, seleccionando la resolución “BAJA” y el tipo de archivo “TIFF”. Pulsaremos en el icono , buscaremos el archivo creado anteriormente en la ubicación donde lo guardamos y lo cargaremos. Pudiendo así visualizarlo mientras se realiza el vuelo.




Todas estas cartografías e imágenes se organizan en capas, pudiendo de esta manera tener acceso a varias, para activar o desactivar la visualización de una u otra simplemente tendremos que pulsar en el icono  o . Podremos bloquearlas mediante el botón  o eliminarlas mediante . Es posible cambiarlas de nombre.


Siempre tendremos la capa de mapa online situada debajo de las demás, esta capa no podrá ser eliminada ni cambiada de nombre.

Podremos hacer zoom en el mapa con los botones de + y - , y en área mediante , o visualizar la cuadrícula con .


Si tenemos el GPS conectado aparece el botón  y si lo pulsamos colocará el mapa en la situación de la señal GPS.

Durante el vuelo se activará la opción de  y si la pulsamos nos colocará en la situación del UAV en ese momento.

Una vez tengamos el mapa, se debe crear, al menos, una misión. Para ello, lo primero es delimitar el área de esta. Se pulsa en  y después en , aparece una barra de herramientas sobre el mapa y permitirá dibujar el área de forma poligonal o rectangular. Una vez terminamos de dibujar, pulsaremos en  y se nos creará una capa nueva de

misión. Si quisiéramos editar la misión, simplemente pulsamos en  y podremos modificarla.

Para añadir más de una misión únicamente deberemos repetir este proceso.

Una vez creada, deberemos pulsar en  y seleccionar el tipo de sensor, es decir nuestra cámara, en nuestro caso Sony a5100.

A continuación podremos configurar la resolución del píxel (GSD), que viene dada por defecto para un vuelo a 100 m. El GSD especifica la distancia en el terreno que representa cada píxel. Cuanto más pequeño sea el valor en el campo de la resolución del píxel, más detalladas serán las imágenes. Siempre se debe especificar un valor equivalente o inferior a la resolución requerida en las ortofotografías finales, una vez que se han procesado las imágenes.

Si el valor en el campo de la resolución de píxel es mayor que la resolución final requerida, las imágenes adquiridas durante el vuelo no serán lo suficientemente detalladas y el software de procesamiento de imágenes tendrá que interpolar píxeles adicionales. Esto generará imágenes que no tienen la resolución que se espera.

Lógicamente la altura de vuelo y el GSD están vinculados, cuanto más alto se vuele mayor será la distancia en el terreno que cada píxel representa en las imágenes adquiridas durante el vuelo.

Resolución del píxel Sony a5100	Resolución del píxel NEX-5	Altura
2.0	2.4	Mínima 75 m
2.6	3.2	100 m
3.9	4.8	150 m
19.6	23.9	Máxima 750 m

Tabla 5.2 Relación resolución del píxel y altura.

En cuanto al solape entre fotografías, éste puede ajustarse desde un 60% hasta un 90%. Viene configurado por defecto en un 80%, la cual consideramos la mejor opción. Si se

configurara un solape menor puede no tengamos suficientes puntos de enlace en zonas de vuelo bajo o con árboles.

En función del solape que configuremos variará la precisión o el tiempo de procesado, de tal manera que a mayor solape conseguiremos una mayor precisión, una mayor densidad de líneas de vuelo en el área, mayor duración del vuelo, un número mayor de imágenes y por lo tanto necesitaremos más tiempo para el procesado.

El solape hacia adelante y el solape lateral vienen vinculados por defecto, pero podemos desvincularlos y configurar cada uno en los valores que deseemos pulsando en e introducir los solapes deseados desde para el de hacia adelante y para el lateral.

Por defecto el área de la misión estará cubierta por un bloque, al seleccionar el bloque aparecen las líneas de vuelo en color azul, es importante saber que este tipo de UAV debe volar siempre en la dirección perpendicular al viento predominante y que los giros deben realizarse en contra del viento. Por defecto viene seleccionado como predominante el viento del Norte, en caso de que no sea así deberemos modificar el vuelo mediante la herramienta .

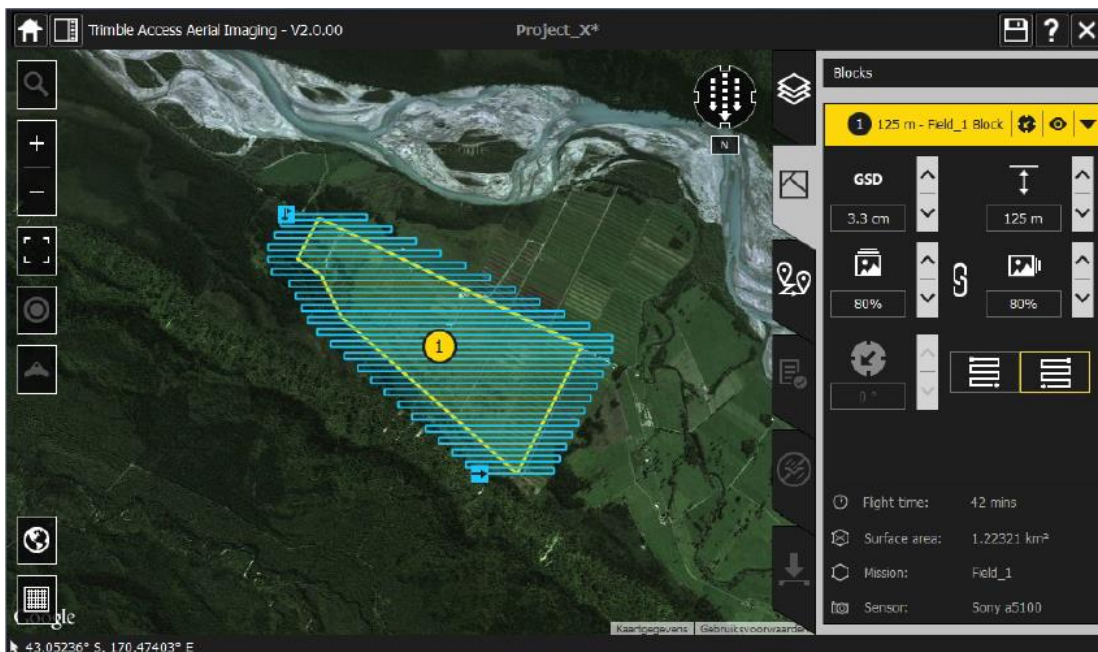



Figura 5.3. Interfaz de Trimble Access Aerial Imaging

Si en algún caso salieran líneas rojas, es que el UAV entra en alguna zona restringida. Además, en caso de que el vuelo supere los 50 min de duración aparecerá una advertencia . Ambos problemas se solucionarían modificando el bloque.

El software también requiere que seleccionemos el lugar de despegue y de aterrizaje. Para el despegue se necesita una distancia inicial de 50 m libre de obstáculos en un ángulo de 30°. A partir de los 50 m hasta los 280 m no debe haber obstáculos que sobrepasen en altura una línea imaginaria que parta del lanzador con 15°.

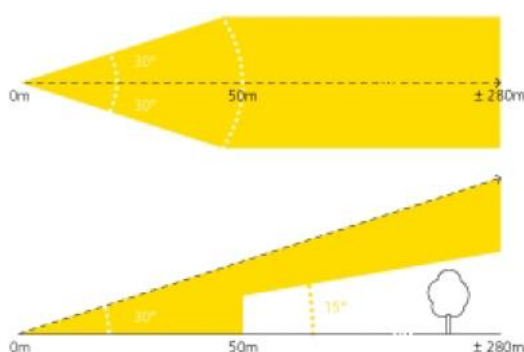


Figura 5.4 Esquema de despegue.
Fuente www.trimble.com

En nuestro caso, tuvimos la suerte de que el terreno presentaba varias zonas libres de todo impedimento.

Durante el vuelo, por seguridad, no debe haber ningún obstáculo 25m por debajo de la altura de vuelo establecida, tampoco tuvimos ningún problema en este aspecto.

Para el descenso y el aterrizaje es necesario saber que este UAV, el UX5, desciende realizando orbitas, para las cuales, durante los primeros 25 m desde la altura de vuelo necesita un espacio de 300 m libre de obstáculos, a partir de estos 25 m necesita tan solo la mitad, 150 m libres.



Figura 5.5 UX5 en el lanzador.
Fuente propia

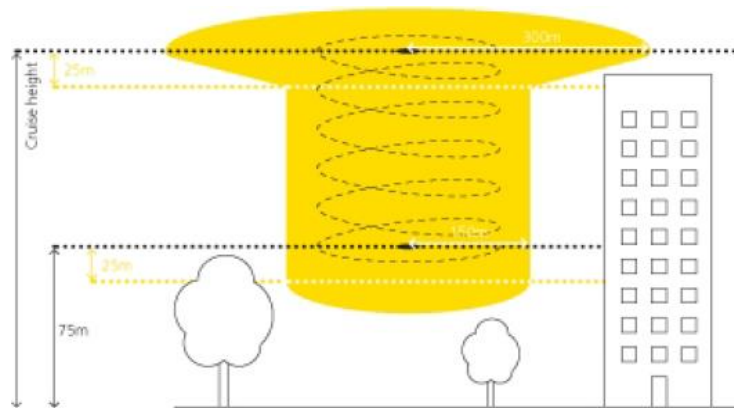


Figura 5.6 Esquema de aterrizaje.
Fuente www.trimble.com

Por último para el aterrizaje debemos tener en cuenta que, en función del tipo de aterrizaje, necesita:

- Aterrizaje en Línea: Una línea libre de 12° desde el punto de aterrizaje (o 78° desde la vertical desde que desciende a los 75 m de altura), y un área de 50 m por 30 m en el punto de aterrizaje.

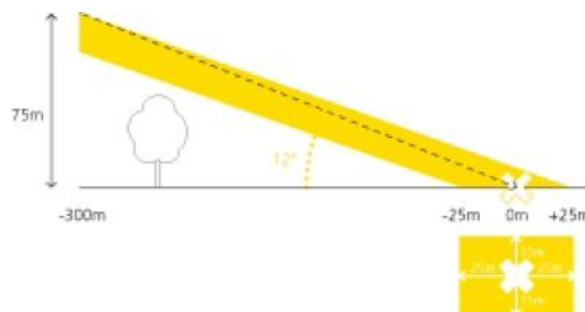


Figura 5.7 Esquema de aterrizaje 2. Fuente www.trimble.com

- Aterrizaje en curva: Una línea de 19° de inclinación desde haber descendido a los 75 m hasta llegar a 12 m (en ese momento se encontrará a 165 m sobre el terreno del punto de aterrizaje), después, una línea de inclinación de 6° hasta llegar a el punto de aterrizaje donde necesita un área de 75 m por 30 m, de manera que se dejen 25 m hacia exceso y 50 m por defecto respecto al punto seleccionado.

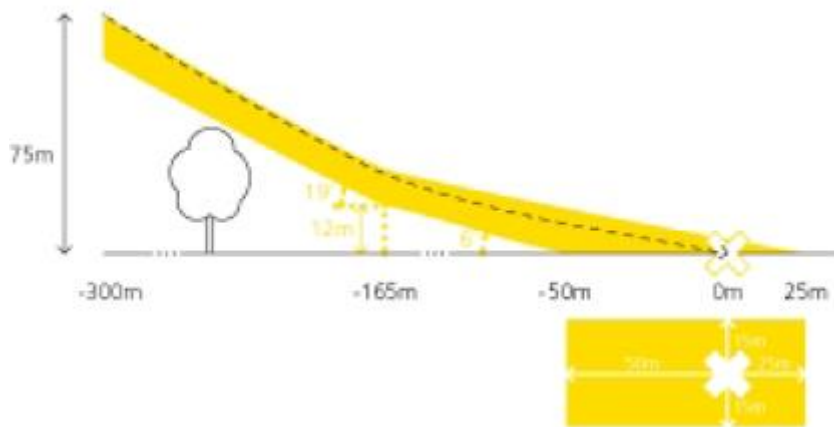


Figura 5.8 Esquema de aterrizaje. Fuente www.trimble.com

En caso de necesitar un aterrizaje de emergencia, para abortar las misión sin problemas, hay que añadirle a ambos tipos de aterrizaje un área de seguridad a partir del punto de aterrizaje en el terreno de una línea de 30° durante los 33 primeros metros y a continuación una de 15°.

Una vez determinadas el área de despegue y el área de aterrizaje se pasa a definir los vuelos.

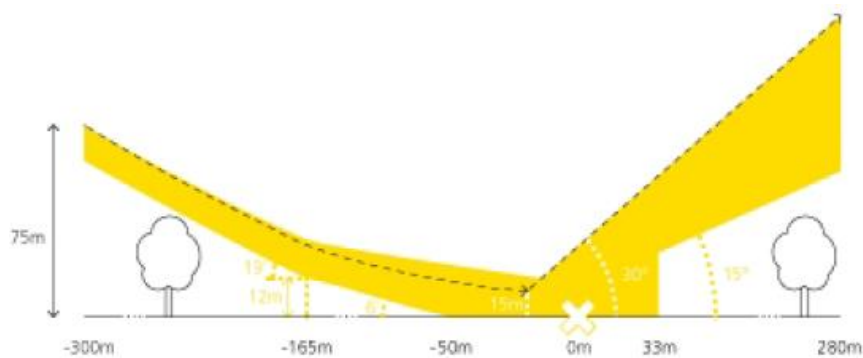



Figura 5.9 Esquema de vuelo. Fuente www.trimble.com

El vuelo puede haber sido definido en la oficina previamente pero aún así deberá ser convalidado en campo.

El software es capaz de generar automáticamente un vuelo que incluya el bloque que tenemos creado, pero para comprender el proceso en su totalidad lo creamos manualmente.

Los pasos importantes a seguir son los siguientes:

- Configurar los parámetros de despegue: Podremos definir, editar o eliminar el lugar y la dirección sin GPS mediante el Aerial Imaging Desktop o Tablet, o mediante GPS, acudiendo directamente al lugar con el Aerial Imaging Tablet. Podremos definir más de una situación de despegue.
- Configurar los parámetros de aterrizaje: Podremos definir editar o eliminar los lugares y direcciones de aterrizaje. Es muy útil tener más de una alternativa de aterrizaje para los casos en los que surja algún impedimento en el definido como primera opción, como podría ser algún obstáculo imprevisto o el cambio de la dirección del viento durante el vuelo. Al igual que las situaciones de despegue, éstas se pueden configurar con o sin GPS. Podremos decidir también qué tipo de aterrizaje utilizar, en línea si disponemos de menos espacio y el terreno es más blando o en curva utilizando más espacio y consiguiendo que la aeronave sufra un impacto menor.
- Añadir bloques de vuelo: Con esta opción podremos añadir áreas diferentes a fotografiar, siempre que el tiempo de vuelo no exceda los 50 minutos. Esto es útil para conseguir por ejemplo fotografías a diferentes alturas del mismo lugar para conseguir resultados diferentes.
- Administrar rutas entre bloques: Podremos configurar la ruta por la que el UAV va de un bloque a otro.
- Simulación de vuelo: Pulsando en  podremos simular el vuelo y comprobar que el despegue, la altura de vuelo, la trayectoria, los giros y el aterrizaje son correctos y no entra en ningún área restringida.

Los vuelos pueden guardarse como archivos .KML para verse en otro momento en algún software capaz de abrir este tipo de extensión, por ejemplo el Google Earth. También es posible guardar el proyecto entero como archivos .GWT.

A continuación habría que comprobar que disponemos de los permisos necesarios para realizar los vuelos y acceso a las fincas privadas, en este proyecto el trámite corrió a manos del piloto y, en cuanto al acceso a las parcelas, del grupo Cota 667.

También es importante realizar una comprobación de la previsión del clima el día antes de salir. Conociendo las limitaciones técnicas del UAV que vayamos a utilizar, podremos evitar accidentes o la pérdida del equipo. El UX5 tiene establecido un límite climático de seguridad en unos 65 km/h de viento y lluvia ligera, por nombrar otros ejemplos, el SIRIUS PRO de Topcon permite una condiciones similares pudiendo volar también con lluvia ligera y viento de 50 km/h, un Octocopter, más rudimentario, no permite realizar vuelos seguros con tanto viento ni con lluvia estableciendo un límite seguro en un viento de 40 km/h de velocidad.








Bft	km/h	m/s	kn	SM	
1	1-5	0.3-1.5	1-3	1-3	
2	6-11	1.6-3.3	4-6	4-7	
3	12-19	3.4-5.4	7-10	8-12	
4	20-28	5.5-7.9	11-16	13-18	
5	29-38	8.0-10.7	17-21	19-24	
6	39-49	10.8-13.8	22-27	25-31	
7	50-61	13.9-17.1	28-33	32-38	

Figura 5.10 Tabla de velocidad del viento en diferentes unidades

Se debe evitar volar con granizo, nieve o lluvia intensa, y aunque el UAV sea capaz de volar en estas condiciones la calidad de las imágenes se verá afectada, por lo que siempre se debe evaluar las condiciones climáticas para cancelar el vuelo y esperar a otro momento para obtener los mejores resultados.

En nuestro caso, el día fue soleado, totalmente despejado de nubes y con un viento por debajo de 11km/h.

5.2 PREPARACIÓN DEL EQUIPO

Antes de salir a campo también es necesario comprobar que disponemos de todo el equipo para realizar la toma de datos y fotografías, asegurarnos de que las memorias de los GPS están vacías o tienen espacio suficiente para la toma de coordenadas, que las baterías están cargadas y llevamos las suficientes para el tiempo que pasaremos allí, y comprobar que disponemos de las dianas suficientes para colocar sobre el terreno con sus estacas o clavos.

En cuanto al UAV deberemos comprobar que todo el material se encuentra en el estuche.

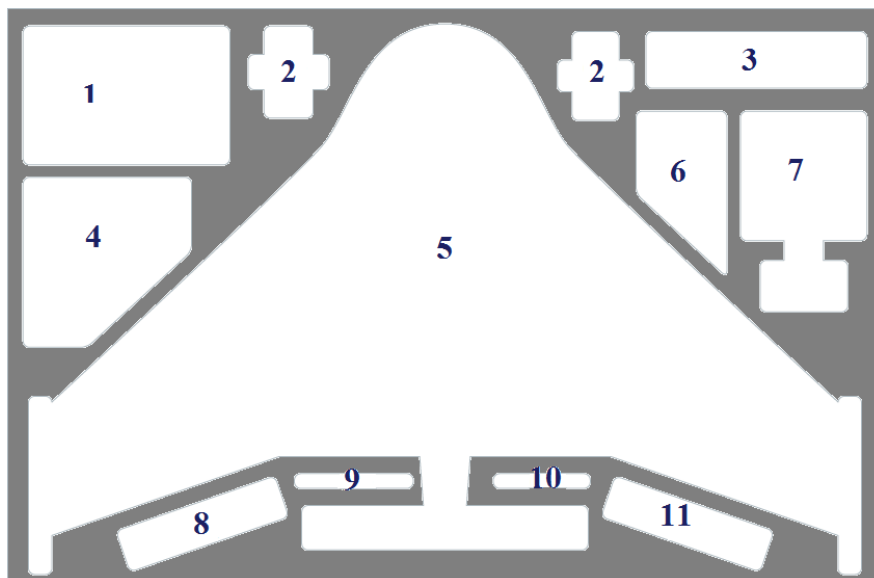


Figura 5.11 Esquema estuche UAV. Fuente www.trimble.com

1. Tablet, Cargador de Tablet, Modem y Antena RF y cable de descarga.
2. Batería UX5.
3. Transmisor y receptor de rastreador.
4. Toma múltiple y cable de alimentación.
5. Cuerpo del UX5 con cámara, eBox y tapa superior.
6. Piezas adicionales (aletas, winglets, hélices...).
7. Cargador de baterías del UX5 y cable de recarga.
8. Batería de repuesto de la cámara y su cargador.

9. Papel para limpiar el objetivo.
10. Toallita húmeda para el objetivo.
11. Tapa del tubo de Pitot, herramientas y repuestos opcionales.

También debemos comprobar el lanzador, que va en otro estuche. Para esto lo más importante es asegurarse de que el lanzador está en buenas condiciones y la plataforma de lanzamiento se mueve libremente por los raíles. Que la cuerda está en buenas condiciones y conserva su elasticidad, y por último que las ruedas del lanzador giran libremente.

El estuche debe contener: pin de seguridad, la plataforma de lanzamiento con su pasador, el soporte en V, la manivela, la catapulta de lanzamiento con elásticos, y un pequeño manual rápido del lanzador.



Figura 5.12 Bolsa con el lanzador plegado. Fuente propia.

En cuanto al UAV, también deben revisarse los siguientes puntos. Se tiene que examinar el cuerpo del UAV y comprobar que no tiene desperfectos que puedan afectar a la aerodinámica ocasionados en vuelos anteriores; comprobar que el tubo de Pitot se encuentra en perfecto estado y que nada lo bloquea, extrayéndolo de la eBox, pues con él

se mide la presión atmosférica total durante el vuelo; comprobar que los winglets o aletas están intactas y bien atornilladas; comprobar que las hélices están igualmente intactas, bien atornilladas y posicionadas; revisar que la unidad de control esté bien conectada y sin desperfectos; hacer una comprobación de los servos pues con ellos se controla la aeronave, deben de responder de la manera correcta y estar bien conectados.

En caso de que algo del material esté defectuoso o gastado y deba ser cambiado, se deberá consultar la guía de mantenimiento del UX5 o ponerse en contacto con Trimble para conseguir los recambios.



Figura 5.13 Estuche UAV y operador programando el vuelo. Fuente propia.

Siempre debemos comprobar que la cámara no tenga el objetivo rayado y esté configurada de manera correcta para la toma de imágenes con la calidad necesaria para el proyecto. La configuración idónea para la toma de fotografías, y es así como viene configurada de forma predeterminada la cámara Sony a1500 es:

Configuración de la cámara:

Modo de toma: Priorid. tiempo expos.
Tamaño de imagen: L:24M
Relación de aspecto: 3:2
Calidad: Fina
Formato de archivo: AVCHD
Ajustes Grabación película: 50i 17M (FH)
GRA vídeo doble: Desactivar
Modo manejo: Toma simple
Modo flash: Flash relleno
Comp. Flash: $\pm 0,0$
Reducción ojos rojos: Desactivar
Área de enfoque: Centro
Iluminador AF: Desactivar
Compensar exp.: $\pm 0,0$
ISO: ISO AUTO
Modo medición: Multi
Balance blanco: Auto
DRO/HDR automat.: Opt.gama diná. - AUTO
Estilo creativo: Estándar
Efecto de foto: Desactivar
Aumento de enfoque: –
Reducción de ruido de ISO Alto: Normal
Detección de cara/Captador de sonrisa.: Desactivar
Efecto piel suave: Desactivar
Rango color: sRGB
Auto obturador vídeo lento: Desactivar
Grabación audio: Desactivar
Reducc. ruido viento: Desactivar
Consejos de toma: –
Configuración Personalizada:
Zebra: Desactivar



Asistencia MF: Desactivar
Aum. enfoque Tiempo: No hay límite
Línea de cuadrícula: Cuad. diag.+cuadr.
Pantalla Ajustes Grabación película: Desactivar
Ajustes Grabación película:
 Centro: Desactivar
 Aspecto: Desactivar
 Zona segura: Desactivar
 Marco guía: Desactivar
Rev. automática: Desactivar
Botón DISP (monitor): Mostrar toda info.
Nivel de resalte: Alto
Color de resalte: Rojo
Aj. exposición Guía: Desactivar
Visualización en directo: Efecto ajustes activ.
Disp. (Mostrar) Cont. Área enf. auto.: Desactivar
Ajuste Zoom: Zoom óptico solamente
Liberar sin objetivo: Habilitar
AEL con obturador: Desactivar
Autodisp. Autorretrato: Desactivar
Exp. Comp. Aj.: Ambiente solamente
Registro de rostros: –
Micro ajuste AF:
 Micro ajuste AF: Desactivar
 Borrar: –
Comp. Objetivo:
 Comp. sombras: Desactivar
 Ab. Crom. Comp.: Desactivar
 Comp. distorsión: Desactivar
Ajuste tecla personalizado
Botón centro: Cambie todos los elementos a "No ajustado" EXCEPTO
Aumento de enfoque

Botón PELÍCULA: Modo película solamente

Inalámbrico:

Modo avión: Activar

Aplicación: Sin configuración.

Reproducción:

Rotación pantalla: Desactivar

Ajustes:

Brillo monitor: Manual

Señal audio: Desactivar

Menú Azulejo: Desactivar

Confirm. Eliminación: "Cancelar" primero

Hora inicio ahorro ener.: 30 mins.

Selector PAL/NTSC: –

Operación táctil: Desactivar

Ajustes HDMI:

Resolución HDMI: Auto

Info. HDMI Pantalla: Desactivar

CTRL. POR HDMI: Desactivar

Conexión USB: Auto

Ajuste USB LUN: Multi

Idioma: Inglés

Ajuste fecha/hora: Configura la fecha y la hora correctas para su ubicación y el formato que utiliza su organización.

Configuración área: Configura el área correcta para su ubicación.

Formatear: –

Número archivo: Serie

Nombre carpeta: Forma fecha

Versión: –

Reponer ajuste: –

Si la configuración es ésta, la pantalla de la cámara muestra los siguientes símbolos, lo que ayudará a ahorrar tiempo evitando tener que comprobar todos los campos citados anteriormente:

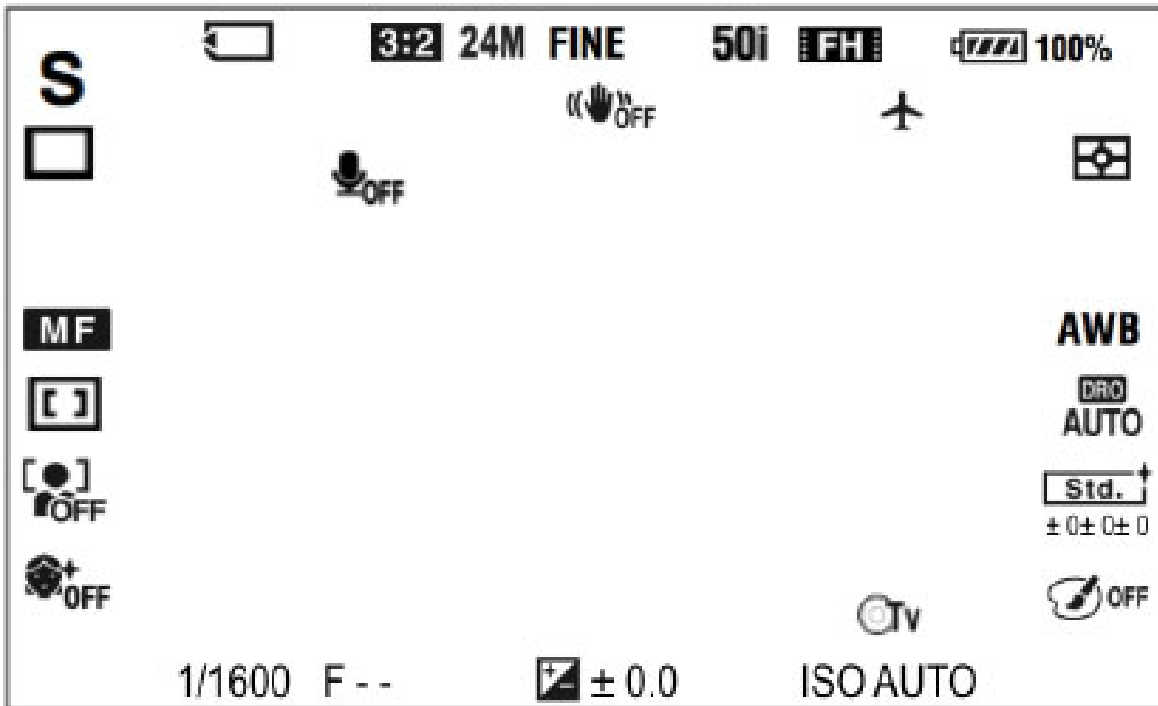


Figura 5.14 Pantalla de la cámara. Fuente propia.

Si es la primera vez que se va a utilizar el equipo, es necesario sincronizar el rastreador del UX5 con el receptor. Este proceso solo es necesario realizarlo una vez, y básicamente consiste en guardar en la memoria del receptor el número ID del transmisor del UAV. Los pasos para realizar el emparejamiento también se encuentra en el Manual.

Con esto habremos finalizado los preparativos necesarios para la toma de datos.

5.3 COLOCACIÓN Y TOMA DE COORDENADAS DE LAS DIANAS

Para facilitar el procesado, y encontrar puntos claros para hacer las punterías una vez tengamos las imágenes, se colocan dianas en el suelo. Para este proyecto se utilizaron unas dianas impresas en unas lonas resistentes de 1 m por 1 m.

Se colocaron un total de 10 dianas, procurando rodear la zona de interés y algunas por el interior.

Mediante los equipos GPS se les dio coordenadas a 9 de las 10 dianas gracias a la red establecida por nuestro compañero. Se las numeró del 7001 al 70010, saltando el 7004 pues no fue localizada por uno de los equipos de GPS debido a la gran extensión de terreno y sus desniveles.

Este último paso puede realizarse antes, después o incluso durante el vuelo del UAV, siempre y cuando conozcamos la posición de la aeronave y evitemos aparecer en las fotografías encima de las dianas.

Cabe mencionar que, como apoyo, se incluyeron las coordenadas de otras dianas más pequeñas de otro proyecto con un UAV diferente.



*Figura 5.15 Diana.
Fuente propia.*



*Figura 5.16 Toma de coordenadas de la diana.
Fuente propia.*

5.4 EJECUCIÓN DEL VUELO

Para ejecutar el vuelo con el UX5 se deben seguir los siguientes pasos: importar el proyecto a la Tablet (si se realizó desde el Aerial Imaging Desktop), convalidar los bloques y vuelos, comprobar que no han ocurridos cambios climáticos repentinos y en caso de que ocurrieran modificar la configuración del vuelo incluyendo despegue y aterrizaje, y por ultimo completar la CheckList que consiste en una serie de pasos que guían para el resto de la ejecución del vuelo.

Este proceso se compone de las siguientes etapas:

- Conexión de la GCS: si no estuviera conectada simplemente hay que conectar la antena al modem y estos a la Tablet por debajo de la correa y comprobar de nuevo con el software la conexión (botón >).
- Conexión de la batería en el UAV. Cuando la eBox se inicializa envía una señal, cuando es recibida el software te permite avanzar (botón >).
- Preparación de la cámara. Limpiar el objetivo utilizando las toallitas húmedas primero y después las secas comprobando que no quedan gotas de polvo o humedad. Comprobar también el filtro de la cámara en el UX5, que esté limpio y bien atornillado. Introducir la memoria SD, y que al encender la cámara este configurada de la manera citada en el apartado anterior. Tomar siempre una fotografía antes de acoplarla al UAV para comprobar que no hay sobreexposición o subexposición. Al acoplar la cámara se debe colocar la pieza de adaptación específica de la cámara utilizada, conectar mediante cable USB la cámara al eBox y por ultimo acoplar la cámara en la cavidad y asegurarla con la cinta de velcro.
- Inserción del transmisor rastreador. Después de encenderlo y comprobar que se escucha el transmisor se puede acoplar al UAV.
- Colocación de la tapa superior.
- Cubrir el tubo de Pitot. Además hay que comprobar que la velocidad que marque sea menor de 20 km/h.
- Comprobación de los alerones. Los exteriores deben estar nivelados con los interiores. La precisión debe ser menor a 1mm.

- Comprobación de la respuesta de los alerones. Al presionar el botón que manda la orden de Mover alerón debemos observar que se mueven libremente y al mismo tiempo.
- Montaje del Lanzador. Este proceso es importante para evitar cualquier accidente. Utilizando la guía de montaje rápida evitaremos olvidarnos de asegurar alguna de las piezas mediante los enganches de seguridad que poseen. Básicamente el proceso consiste en desplegar la catapulta, y el soporte en V, acoplarlos, colocar las cuerdas, posicionar la plataforma de lanzamiento y deslizarla hasta el final de la catapulta, conectarla a las cuerdas asegurándose con un pasador y un pin que deberá retirarse únicamente antes del despegue para evitar que se dispare accidentalmente. Colocar el lanzador en el lugar de despegue decidido previamente en la dirección correcta.
- Colocación del UX5 en el lanzador. Además se debe controlar que el alabeo y el cabeceo en esa posición se encuentran, según el Ariel Imaging, entre 20° y 30° de cabeceo y +/-5° de alabeo, mediante el horizonte artificial del software.
- Transmisión del plan de vuelo. En caso de que no se haya realizado anteriormente.
- Inicialización del eBox, deberá recibir, al menos 4 señales de GPS, y el determina si son señales válidas automáticamente.
- Quitar la tapa del tubo de Pitot.
- Comprobación de la respuesta de la velocidad. Se realiza presionando el tubo de Pitot durante unos segundos (no más de 5), y comprobando que el valor de la flecha del horizonte artificial varía.
- Posicionamiento de las hélices. Deben colocarse apuntando hacia atrás.
- Ajuste de las cuerdas elásticas del lanzador. Mediante una manivela se estiran las cuerdas del lanzador y se comprueba que ofrecen resistencia para llegar hasta el estiramiento establecido, si no fuera así deberían cambiarse.
- Comprobar la posición del UAV en el lanzador.
- Retirar el pin de seguridad. Siempre desde detrás del lanzador y asegurándose de que nadie se encuentra en la trayectoria.

- Armado del sistema. En este paso se muestra en la pantalla todos los valores, en caso de que apareciera alguno en rojo es que no está correcto, y no permitirá el armado.

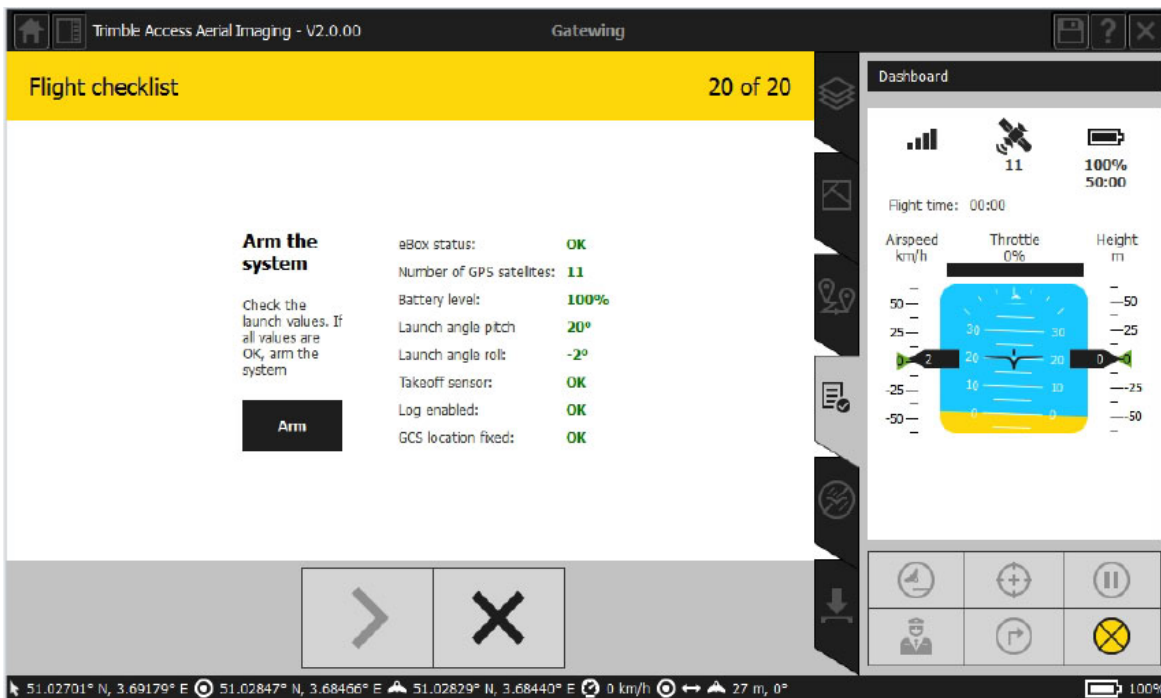



Figura 5.17 Confirmación de la checklist. www.trimble.com.

- Lanzamiento. Una vez armado se podrá ejecutar el lanzamiento, si se ha comprobado que la trayectoria está completamente despejada, se puede lanzar el UX5 presionando el asa de lanzamiento. Después de esto se deben aflojar las cuerdas del lanzador con la manivela para que no pierdan más durabilidad de la necesaria.
- Control de vuelo. El piloto deberá tener siempre en cuenta las siguientes directrices:
 - Tener contacto visual con la aeronave no tripulada en todo momento.
 - Observar la zona de operación de la aeronave no tripulada y comprobar si hay otros objetos aéreos.
 - Asegurarse de la distancia libre de obstáculos.
 - Estar pendiente de los cambios en las condiciones climáticas.

- Ubicar la aeronave no tripulada en la pantalla del Tablet.
- Controlar la telemetría del vuelo en la pantalla del Tablet.

En caso de que surja algún imprevisto o impedimento que haga posible causar un accidente o la pérdida del UAV se deberá abortar la misión presionando en , y el UX5 se apagará inmediatamente y volverá a tierra.

Después del despegue, el UX5 alcanzará la altura de vuelo especificada para el primer bloque de la misión. A continuación se dirigirá al primer punto de ruta y comenzará a seguir la trayectoria del vuelo programado.

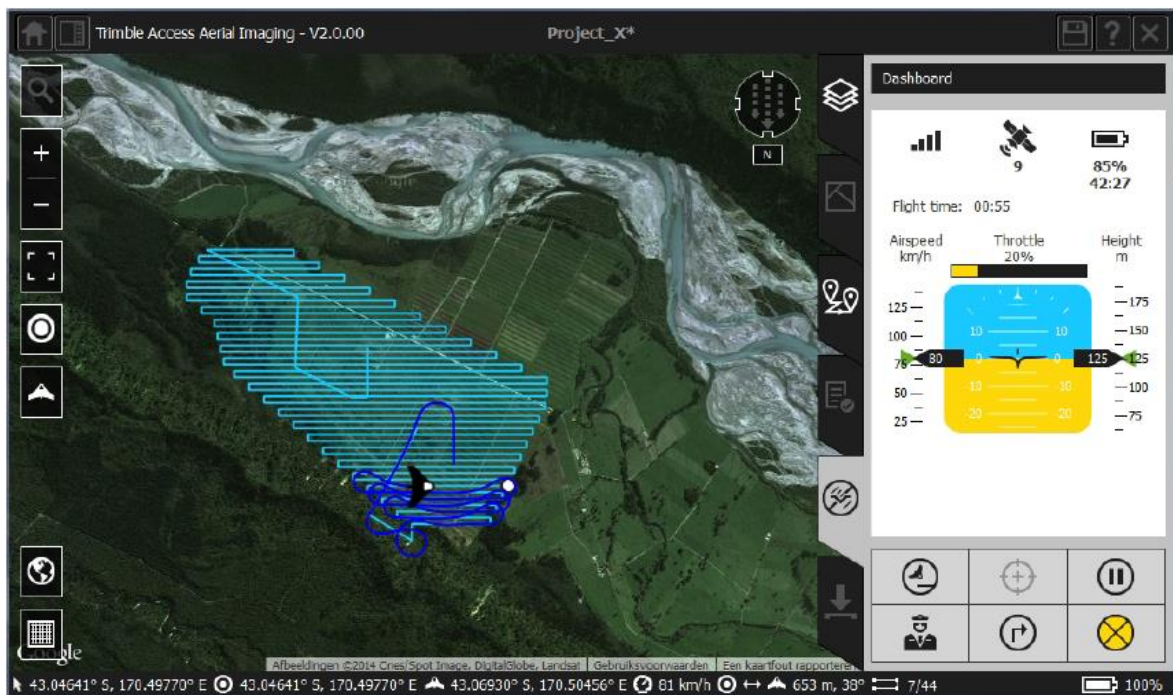


Figura 5.18. Interfaz Trimble Access durante el vuelo. www.trimble.com.

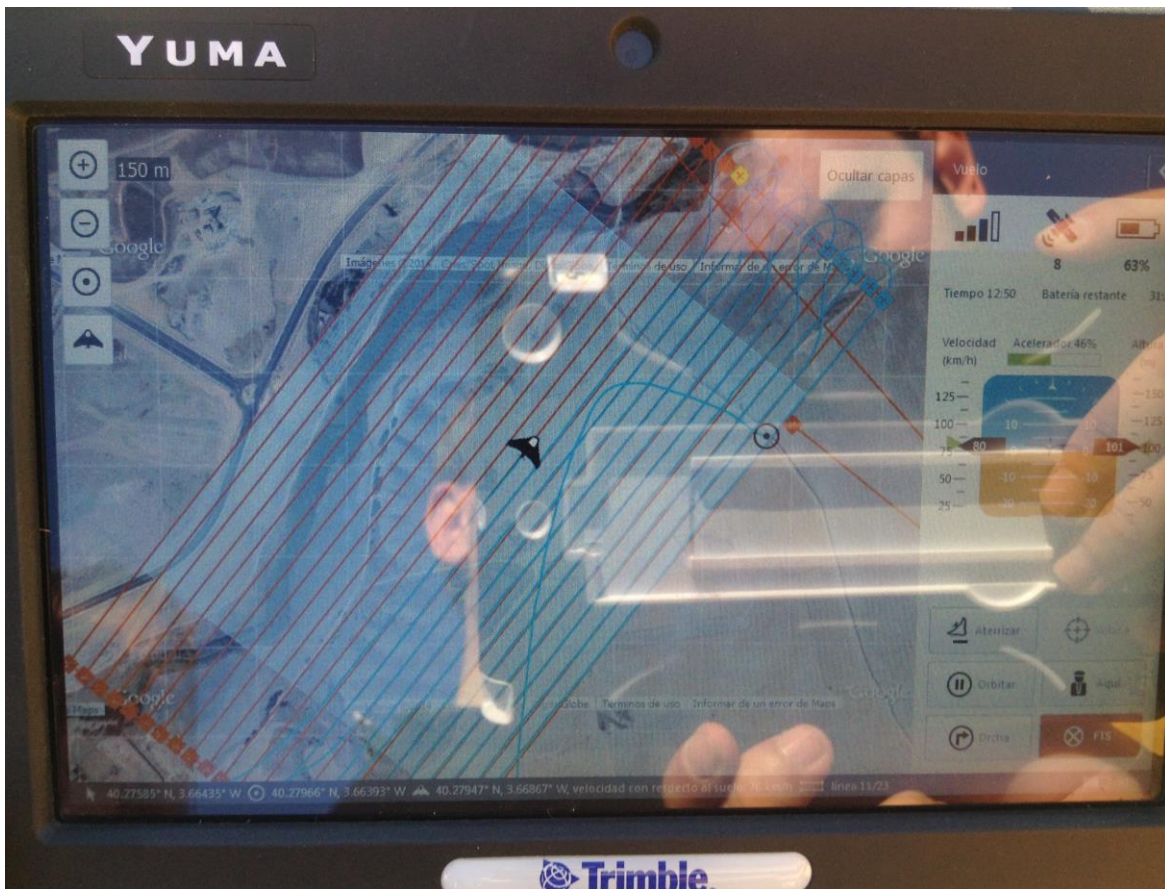


Figura 5.19. Interfaz Trimble Access durante el vuelo. Fuente propia.

Mediante la aplicación deberemos supervisar que la aeronave siga la trayectoria marcada, no se pierda el vínculo de comunicación (📶), el número de satélites utilizables (📡) siempre debe haber como mínimo 4 para que exista una línea de señal, y más de 6 para que existan 2. Observar el nivel de batería del UX5 (🔋) que viene expresado en un porcentaje y el tiempo que queda en minutos. Comparar periódicamente que la altura y velocidad efectivas corresponden aproximadamente con las planificadas, y comprobar que el acelerador, que durante vuelo de crucero debe encontrarse al 30% en condiciones normales. Controlar el número de líneas de pasada realizadas comparándolas con las programadas.

En caso de que surja algún contratiempo, el piloto deberá saber cómo proceder gracias a su formación como piloto y específica de este UAV, sabrá cómo reaccionar en caso de aproximación de otra aeronave, pérdida del vínculo con la aeronave o de visión de la misma. Evaluando si abortar la misión o realizar alguna maniobra como orbitar el UAV en alguna posición hasta que se pueda continuar el trabajo.

En caso de colisión con heridas o la muerte se deberá avisar a los servicios de emergencia, ayudar en donde sea necesario sin poner en peligro su vida, demarcar un perímetro alrededor del accidente y asegurarse de que no desaparezca ninguna prueba, y notificarlos a la Autoridad de Aviación Civil (AAC) local. En caso de que solo se produzcan daños materiales se debe avisar a los servicios de emergencia si el UAV impactó contra algún suministro de gas o electricidad, avisar al propietario y notificarlo a la AAC local. En cualquier caso se deben tomar fotografías y conservar los ficheros de vuelo.

En nuestro caso no sufrimos ningún contratiempo con el UX5 y el vuelo se realizó según lo previsto.

Una vez el UAV pase por el último punto de ruta en las líneas de escaneado volará a altura de crucero hasta el punto de entrada, situado en nuestro caso a 300 m del punto de aterrizaje. Descenderá haciendo círculos de 100 m de radio hasta los 75 m de altura, donde permanecerá haciendo círculos hasta que se confirme el aterrizaje desde la Tablet.

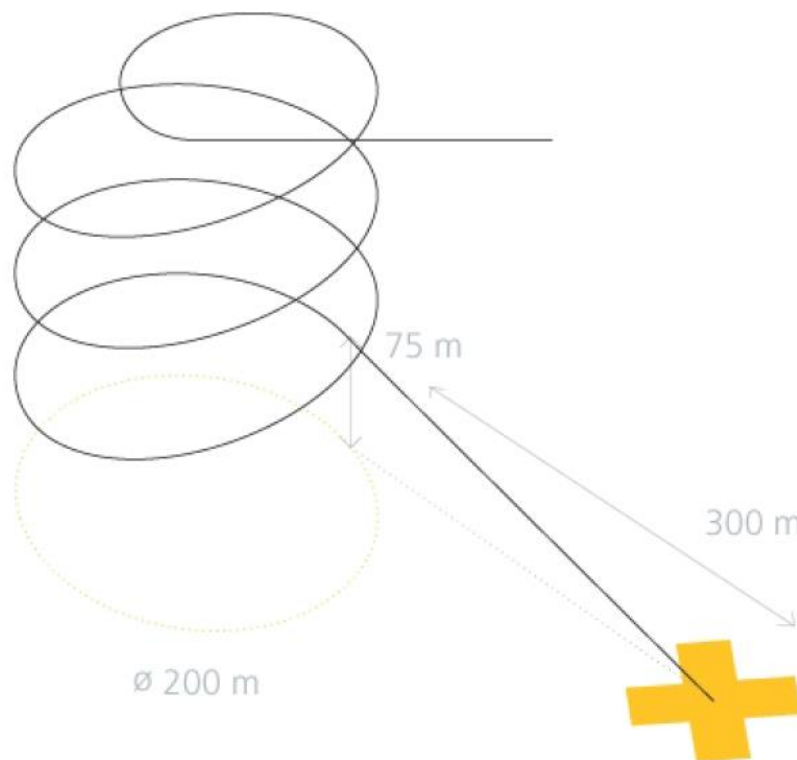


Figura 5.20 Esquema de movimientos del aterrizaje. www.trimble.com

Una vez enviada la confirmación el UX5 desciende dirigiéndose al punto de aterrizaje lo más horizontal posible para evitar caer en picado.

Nuestro aterrizaje se realizó también sin problemas, seleccionamos un área con algo de césped para que amortiguara en medida de lo posible el impacto, libre de cualquier obstáculo.



Figura 5.21 Aterrizaje. Fuente propia

Una vez el UX5 ha aterrizado podremos recogerlo y descargar los datos del eBox a la Tablet. Después se retira la cámara, y se comprueba que el número de imágenes corresponde con el número de aperturas de obturador que se han registrado en el registro de vuelo, sin contar con las imágenes de prueba que se realizaron antes del vuelo si no se eliminan.

En nuestro caso se tomaron 927 fotografías.



Figura 5.22 Fragmento de la ortofotografía. Fuente propia

A continuación, si se han finalizado los vuelos, como en nuestro caso, podremos desmontar el lanzador siguiendo la guía que lo acompaña, con especial atención a guardar en su lugar todas las piezas, para usos futuros.

5.5 CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA

Al utilizar una cámara no métrica como es la Sony a5100 es muy útil realizar una calibración imprimiendo una plantilla para este uso.

Una vez impresa la plantilla debe colocarse en una pared vertical y lisa a la altura de los ojos del operario. En un lugar iluminado sin objetos que proyecten sombras sobre ella.

Las imágenes se toman con el mismo enfoque y haciendo que la plantilla se vea completamente desde cada una de las tomas, realizando un total de 5 fotografías desde las posiciones de centro, desde la izquierda, derecha, arriba y desde abajo.



Por otra parte, el software que se va a utilizar para el procesamiento de las imágenes es capaz de realizar una calibración de la cámara mediante el gran número de imágenes buscando puntos comunes en el terreno.

5.6 PROCESADO EN GABINETE

Para obtener la ortofotografía que deseábamos para este proyecto utilizamos el software Trimble Business Center 3.2.1 con su módulo para trabajos fotogramétricos, siguiendo el proceso descrito a continuación.

Para comenzar deberemos importar al ordenador desde la Tablet y la tarjeta SD de la cámara los ficheros de vuelo e imágenes tomadas en campo.

Ejecutamos el programa TBC y creamos un nuevo proyecto.

A continuación, desde la página de www.geotronics.es/postventa descargamos los geoides y la cuadrícula que deseamos utilizar dependiendo de dónde se haya realizado el trabajo de campo. En nuestro caso utilizamos la EGMREDNAP del IGN del 2008.

De nuevo en el programa, en la pestaña de fotogrametría seleccionamos cambiar el sistema de coordenadas y configuramos el deseado. Para este trabajo se requería configurar UTM 30N REDNAP.

Una vez establecido el sistema de coordenadas, arrastramos el archivo de vuelo, con extensión .JXL a la ventana del proyecto. Después del tiempo de procesado necesario, aparecen las pasadas con cada fotografía asignada a cada punto donde se tomó pero todavía sin escalar.

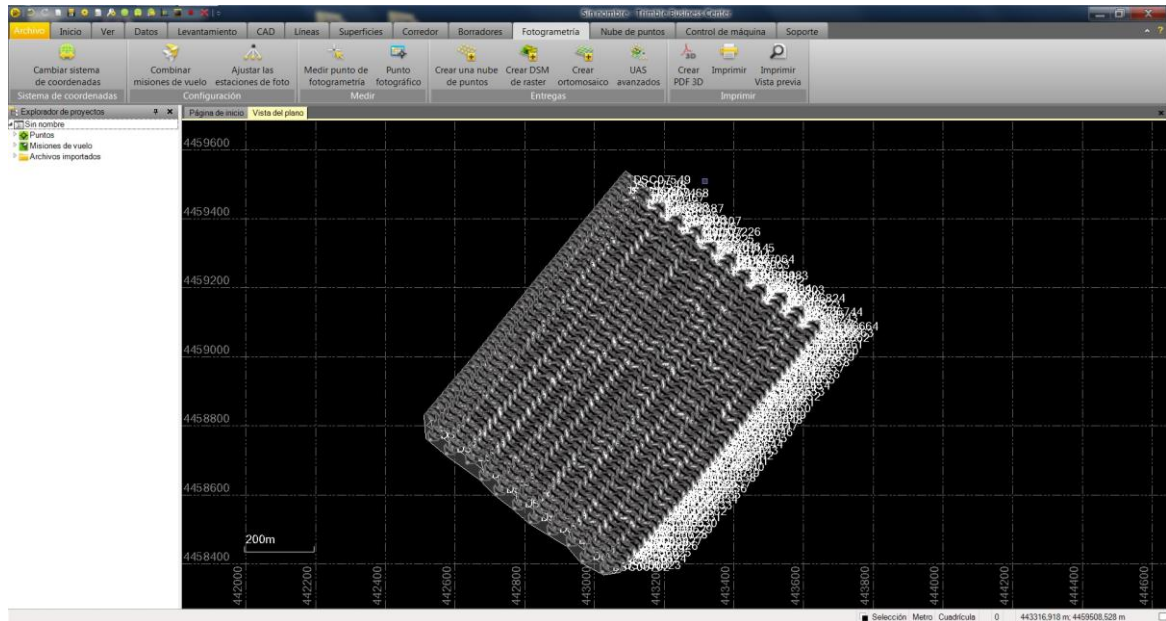


Figura 5.23. Interfaz Trimble Business Center Visualización general del vuelo. Fuente propia.

Si realizamos un zoom podremos apreciarlo mucho mejor.

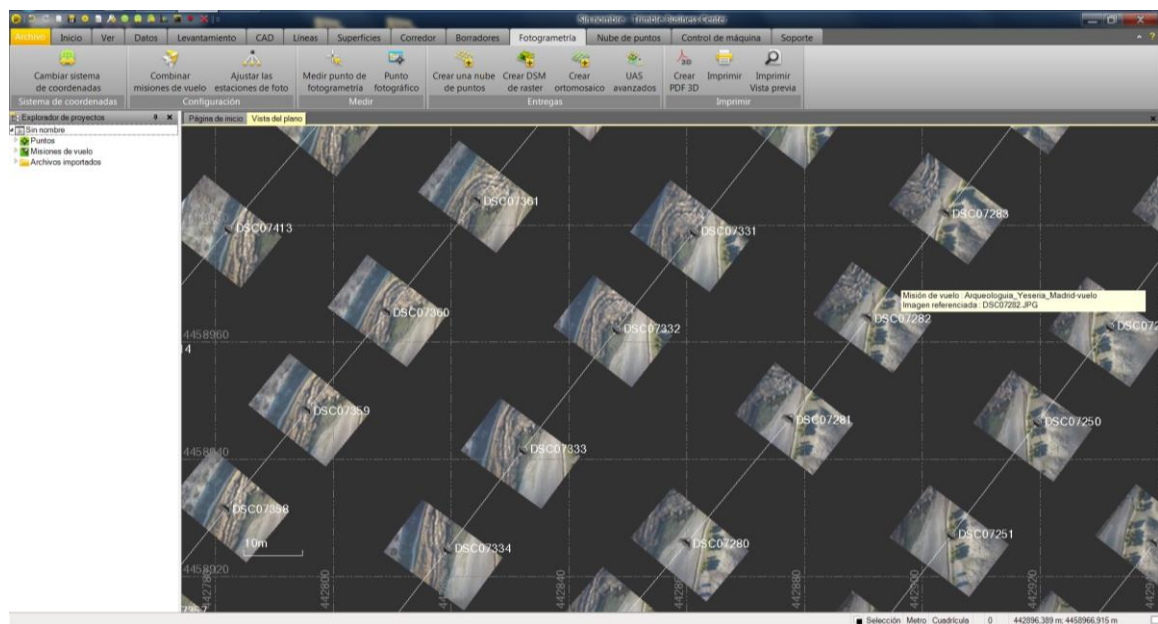


Figura 5.24. Interfaz Trimble Business Center, Visualización de las pasadas. Fuente propia.

A continuación seleccionamos el comando “Ajustar las estaciones de foto” y después “Ajustar con puntos de paso”. Comenzará entonces un procesado de aproximadamente 3 h, en función del equipo informático del que dispongamos, en el que el programa busca puntos homólogos entre las imágenes y las correlaciona de tal modo que las estaciones de fotografía aérea, es decir las fotografías georreferenciadas, queden orientadas correctamente entre sí. Para esta búsqueda de puntos homólogos identifica los valores de

gris y RGB de cada celda de 9 píxeles y busca las diferencias identificando los puntos de paso. Por otro lado georreferencia los puntos utilizando las posiciones que registró el UX5 durante el vuelo.

El programa proporciona un informe del proceso, detallando un desplazamiento inicial medio de las estaciones de fotos aéreas, la desviación estándar y máxima de los puntos de enlace.

Misión:
Arqueologia_Yeseria_Madrid-vuelo

Puntos de paso | Puntos de control | Resultados

Resumen

Misión de vuelo:	Arqueologia_Y...	Imágenes totales:	927
Fecha de ajuste:	01/10/2014 17:5...	Imágenes exclui...	0
Altura de vuelo ...	689,013 m	Imágenes fallid...	0
Resolución del t...	0,030 m	Imágenes ajust...	927

● Estado: Ajustado con pu...

Estadísticas de la estación

	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Elevación</i>
Desplazamient...	0,000 m	0,000 m	0,000 m

Estadísticas de puntos de paso

	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Elevación</i>
Desviación está...	0,030 m	0,030 m	0,010 m
Desviación máx...	0,100 m	0,110 m	0,050 m

Poblaciones de puntos de paso

<i>Observaciones ...</i>	<i>Número de punt...</i>
2	13846
3	15173
4	11979
5	9053
6	7723
7	5363
8	4632
9	4248
10	3337
11	2875
12	2314
13	1658
14	1288

Figura 5.25. Interfaz Trimble Bussines Center. Informe puntos de paso. Fuente propia.

El siguiente proceso es, una comparación entre las coordenadas resultantes de un ajuste mínimo cuadrático de los puntos de control con las coordenadas obtenidas mediante GNSS de los mismos, al que denominamos “Ajuste de estaciones de foto con puntos de control”.

Las precisiones alcanzadas en planimetría deben corresponderse con el GSD y en altimetría 1,6 el GSD. Por lo que para este proyecto con un GSD de 3.2 las precisiones en planimetría serán 3.2 cm y 5.12 cm en altimetría.

Al iniciar este proceso se abre una ventana en la que podremos escribir el ID del punto a medir, una vez introducido el ID aparecen las imágenes de una en una donde se detecta ese punto. Haciendo click en el punto podremos realizar la puntería. Conviene realizar este proceso en 10 imágenes para cada punto.

Las punterías pueden realizarse mediante dos mirillas distintas.

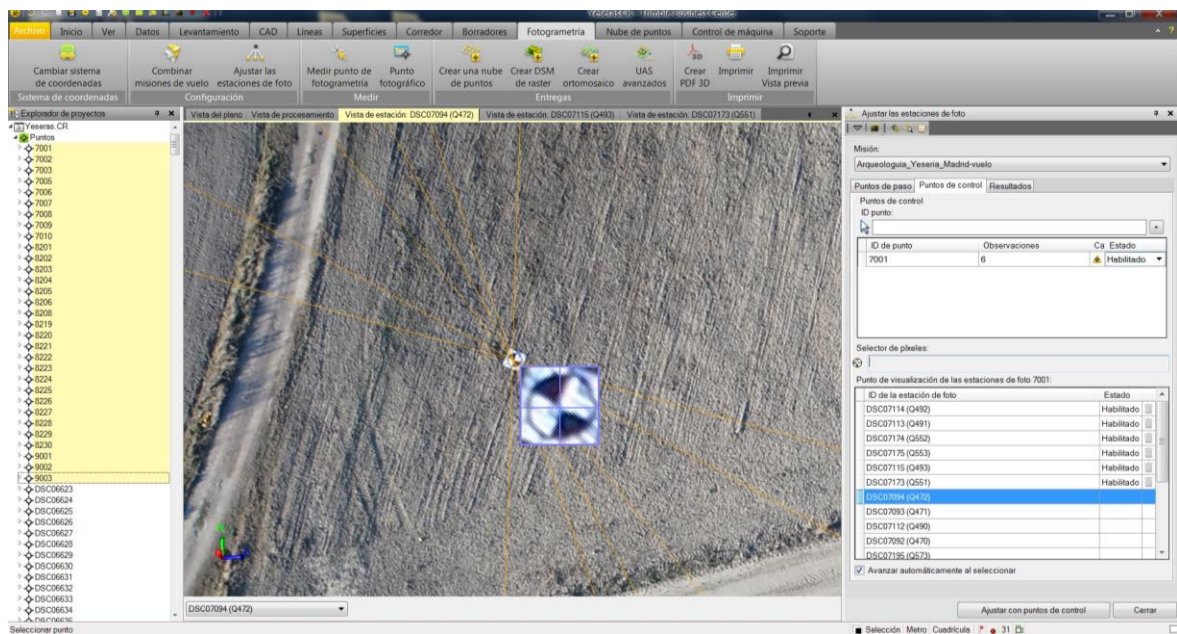


Figura 5.26. Interfaz Trimble Business Center. Puntería. Fuente propia.

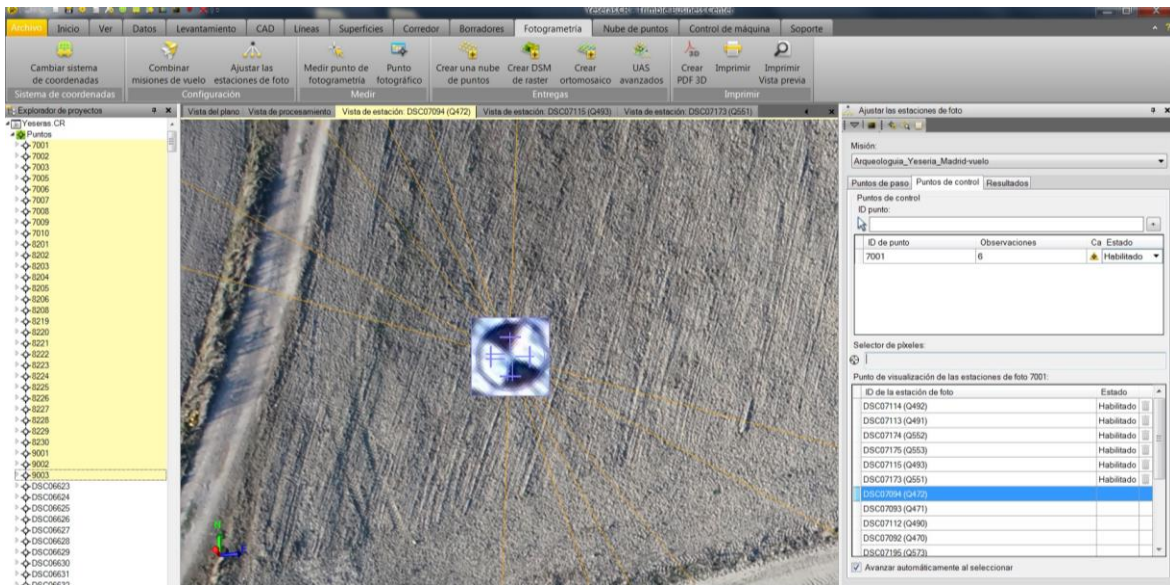


Figura 5.27. Interfaz Trimble Business Center. Puntería 2. Fuente propia.

También haremos puntería en las otras dianas menores que colocamos y de las que tomamos coordenadas para otro vuelo. Pero en este caso, debido a que son más pequeñas y las punterías más complicadas, cambiaremos su estado a “como comprobación” para que no entren en el cálculo como los medidos anteriormente que permanecerán habilitados.

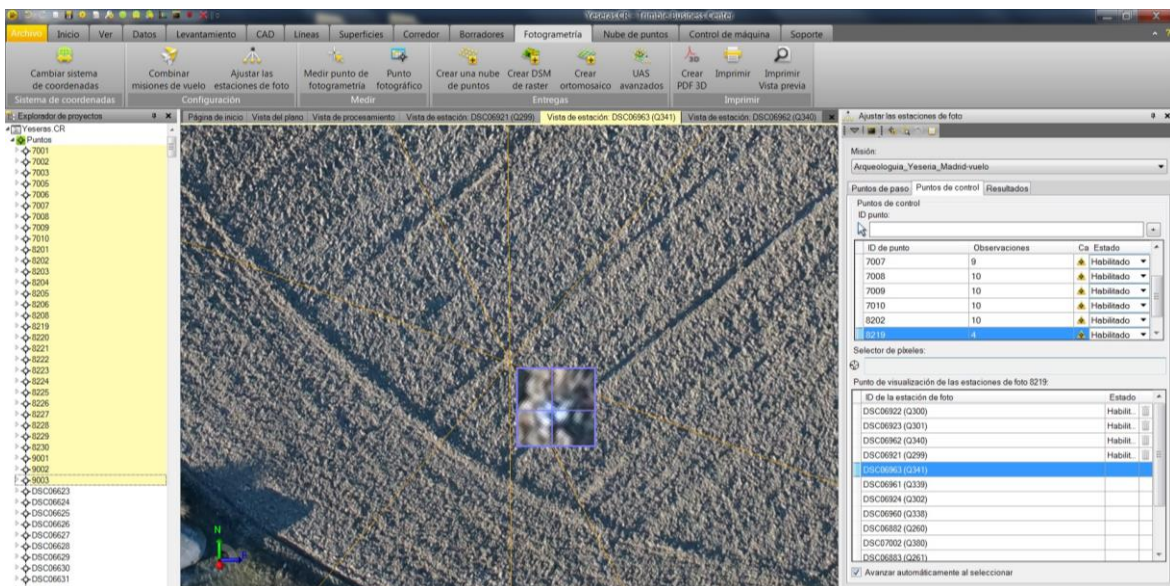


Figura 5.28. Interfaz Trimble Business Center. Puntería diana pequeña. Fuente propia.

Una vez realizadas las punterías de todas las dianas seleccionamos “ajustar con puntos de control” para que comience el cálculo.

A la vez estas punterías también sirven para que el programa realice una calibración de la cámara.

El proceso de ajuste con puntos de control ofrece un informe en el que podremos revisar los residuales de cada uno de los puntos de control y decidir si introducirlo en el cálculo o no. Además se puede comprobar la precisión de las punterías realizadas en el paso anterior, para saber si son tolerables, no deberán superar los 6.4 cm (GSDx2) en planimetría, ni 9.6 cm en altimetría.

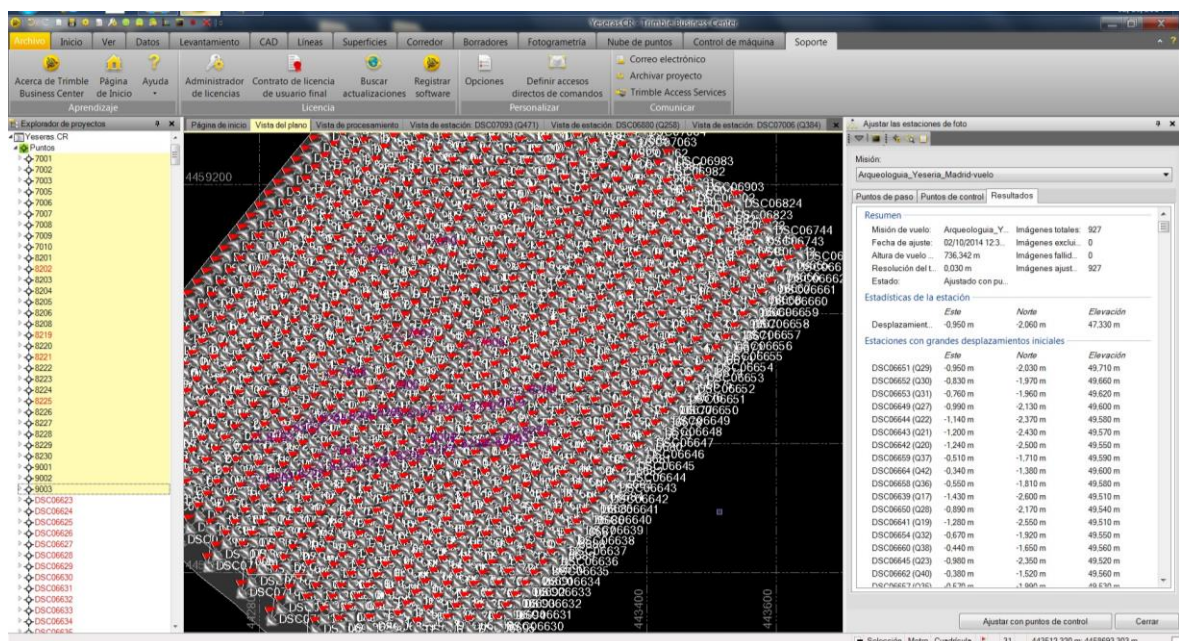


Figura 5.29. Interfaz Trimble Business Center. Resultado ajuste puntos de control. Fuente propia.

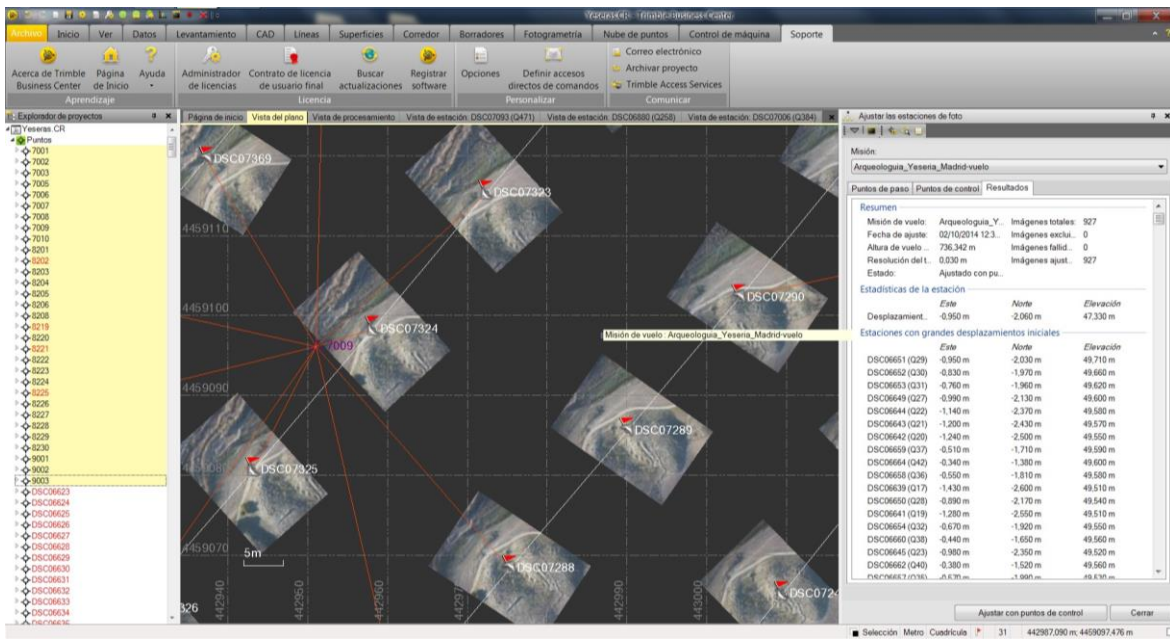



Figura 5.30. Interfaz Trimble Bussines Center. Fotografías colocados.. Fuente propia.

Una vez terminado el ajuste generamos un informe con toda la información del mismo.

Ya tenemos lo necesario para, mediante el Trimble Business Center, comenzar a generar los UAS Avanzados, es decir, crear una nube de puntos, un DSM (modelo de superficie digital) de Raster, y por último, un ortomosaico, que es nuestro objetivo en este trabajo.

Seleccionando el Icono de UAS avanzados () nos aparecerá una ventana en la que se puede seleccionar:

- Un límite para el trabajo, en nuestro caso lo dejamos en blanco para seleccionar todo el vuelo.
- Tipo de elevación: Seleccionamos Modelo del Terreno Digital para obtener la ortofoto que nosotros deseamos. La otra opción, Modelo digital de Superficie ofrece otro resultado, como los tiempos de procesado son altos, y disponía solo de unos días para realizar el trabajo no se llegó a generar.
- Densidad: Seleccionamos High (alta) para obtener la mejor calidad posible.
- La carpeta de salida donde se guardarán los archivos generados.
- Nombre.
- Archivos que deseamos generar:

Nube de puntos. Tipo de archivo LAS (*.las).

Raster. Seleccionamos resolución Alto (0.150m/ pixel). Tipo de archivo TIFF (*.tif).

Ortomosaico. Seleccionamos resolución Alto (0.030m/pixel). Tipo de archivo TIFF con compresión JPEG (*.tif).

Una vez terminado este proceso ya habremos generado los archivos y podremos visualizarlos.

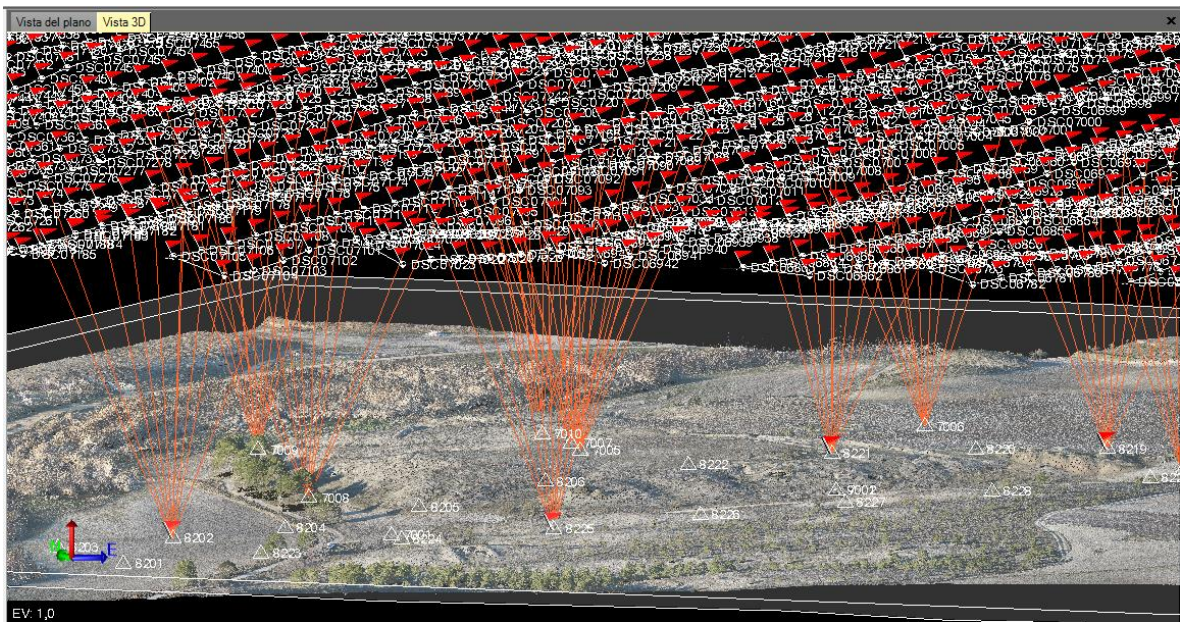


Figura 5.31. Nube de puntos con los centros de proyección de cada fotograma y puntos medidos con GNSS en terreno. Fuente propia

La nube de puntos está formada por vértices que tienen asignadas unas coordenadas en el espacio tridimensional (referenciadas a los ejes X, Y, Z). Estos vértices son representados por puntos, a los que es posible asignarles colores, ya sean los del terreno para conseguir una vista realista del lugar en función de su altura para comprender los desniveles del terreno, o cualquier otra combinación para otro propósito.

La nube de puntos se puede consultar con cualquier software de visualización 3D que sea compatible con los archivos tipo LAS, nosotros utilizamos el Quick Terrain Reader que es gratuito y permite varios tipos de visualización de la información interesantes.

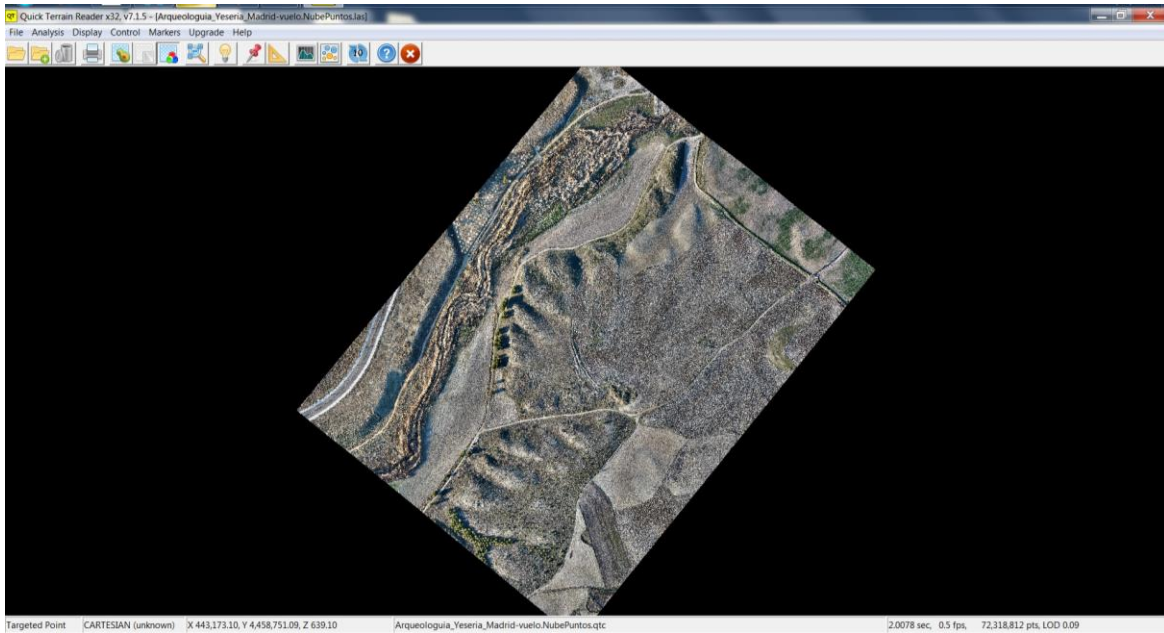


Figura 5.32. Nube de puntos. Fuente propia

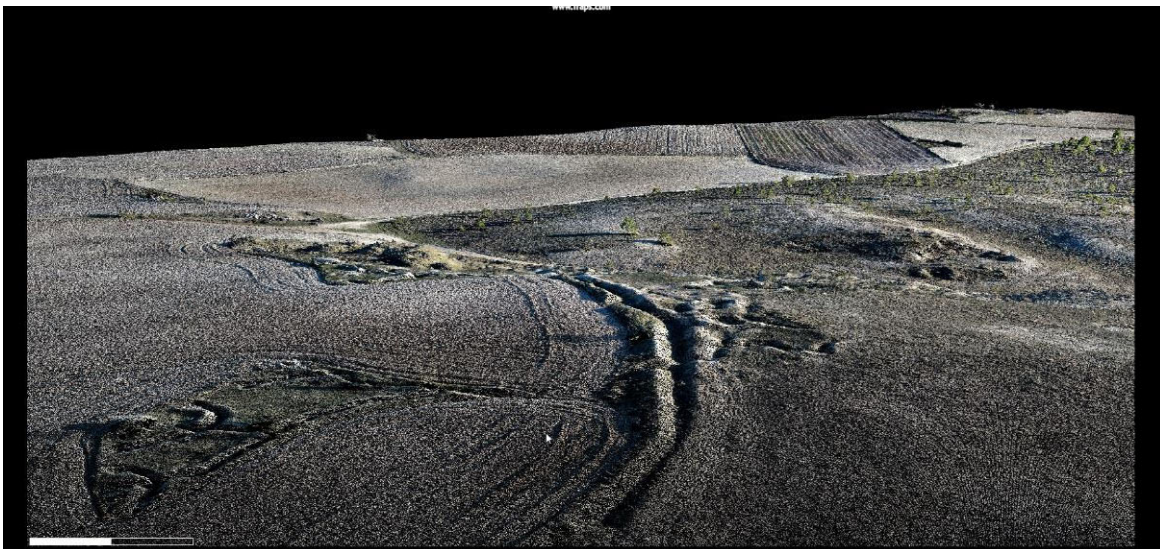


Figura 5.33. Nube de puntos 2. Fuente propia

DSM Raster es un modelo digital de elevación en el que se asignan los colores a los puntos en función de la altura a la que se encuentren. Es posible generarlos a partir de la nube de puntos usando rutinas de interpolación complejas, filtrado de ruido, modelando bordes y detección de valores atípicos para lograr modelos de superficie detallados.

Las imágenes raster pueden visualizarse con cualquier visor de imágenes que lea archivos tipo TIFF, como el Visualizador de fotos de Windows.

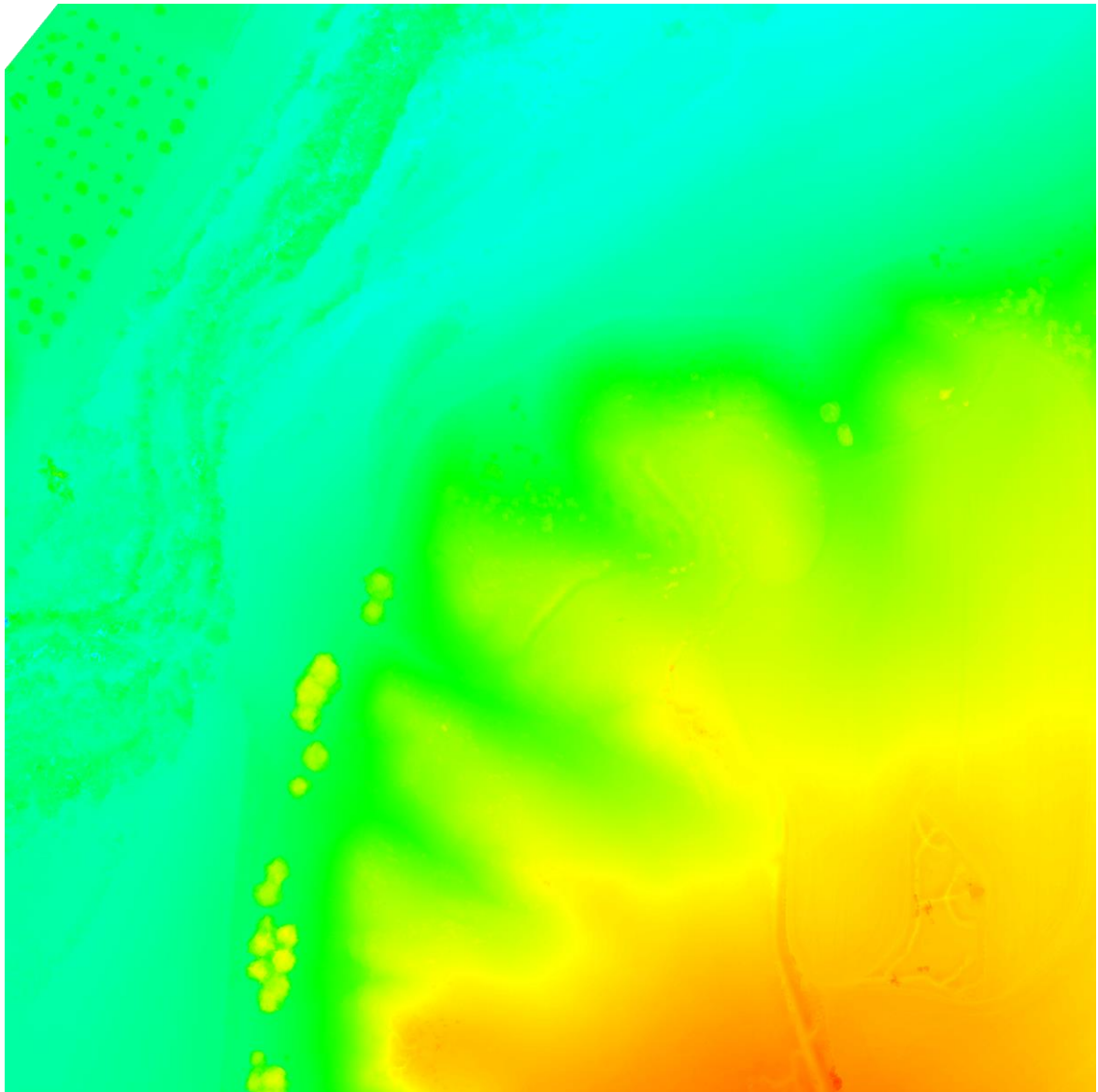


Figura 5.34. Fragmento del DSM Raster generado. Fuente propia.

El Ortomosaico está compuesto de Ortoimágenes. Éstas son imágenes georreferenciadas y corregidas de deformaciones generadas a partir de las fotografías aéreas. Conservan toda la información fotográfica y permiten la medición a escala de superficies y áreas, lo que las convierte en unas herramientas cartográficas muy útiles.

A partir de las estaciones ajustadas se crean mosaicos georreferenciados ortorectificados, y mediante la rectificación de las ortofotografías con un equilibrio radiométrico se generan los ortomosaicos.

Mediante el algoritmo de “feature based seamline-finding” se consigue corregir las distorsiones producidas por los objetos de gran altura en las imágenes consiguiendo un resultado mejor en la Ortofotografía final.



Figura 5.35 . Fragmento del Ortomosaico. Fuente Propia.



6. UN PROYECTO EN EL **CONJUNTO DE LA MUSEALIZACIÓN**

6. UN PROYECTO EN EL CONJUNTO DE LA MUSEALIZACIÓN

Este proyecto se ha realizado, como se ha mencionado anteriormente, para colaborar en la musealización del yacimiento, forma parte de un conjunto de proyectos de documentación que exponen la información del lugar y su historia.

El grupo encargado de coordinar y unificar todos estos proyectos es la empresa Cota 667 Arqueología Patrimonio para el estudio y puesta en valor de los restos de la Guerra Civil Española (1936-1939) en el término municipal de Pinto (Madrid) a través de prospecciones arqueológicas en estos escenarios. Los arqueólogos implicados fueron Ángela Crespo Fraguas y Miguel Ángel Díaz Moreno.

En el yacimiento de Los Yesares se realizaron varios trabajos aplicando diferentes tecnologías. Se realizó un levantamiento dirigido por Guillermo Martínez-Pardo Gil con los objetivos de implantar una red local con técnicas GNSS que enlace con la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE), para dar soporte y cobertura a todo el yacimiento, tanto en este proyecto como para otras actuaciones actuales y futuras. En él se realizó un levantamiento topográfico a escala 1/500 del yacimiento “Los Yesares” de 10 hectáreas de superficie, detallando sus estructuras y elementos arqueológicos. El levantamiento se llevó a cabo por técnicas GPS en tiempo real.

Por otro lado se realizaron proyectos para la reconstrucción tridimensional de estructuras mediante técnicas como Láser Escáner o Fotogrametría Terrestre. Esther Alonso Carbajosa realizó un levantamiento mediante un Láser Escáner de uno de los Fortines del yacimiento consiguiendo generar elementos muy atractivos visualmente y que aportan información valiosa e útil para su estudio y comprensión. Eva María Yáñez Gutiérrez y Sergio Isabel Ludeña realizaron el estudio de otro fortín y algunas trincheras mediante fotogrametría terrestre.

Todos estos proyectos, junto con una colección de objetos encontrados en los yacimientos, fotografías de la época y algunos objetos encontrados en los yacimientos pueden unirse para formar una completa exposición sobre La Guerra Civil Española en la zona de Pinto que atraiga a los visitantes y les proporcione una experiencia didáctica y entretenida.



7. CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado el proceso para obtener una Ortofotografía del terreno a partir de fotografías obtenidas mediante un dispositivo UAV.

Cada vez existen más aplicaciones para los equipos UAV, y con un equipo de calidad se pueden conseguir unos resultados más que aceptables con un coste menor que la fotogrametría clásica.

Continúan existiendo los condicionantes meteorológicos a los que se añade la duración de las baterías y la calidad de las imágenes debido a la limitación de espacio para la cámara. Pero todos estos condicionantes apuntan a una rápida evolución que permitirá cada vez realizar trabajos más precisos, de más extensión y en menor tiempo gracias a la evolución de las cámaras digitales, las baterías y, de ahora en adelante, la mejora de las aeronaves no tripuladas, a las que les queda un gran camino por recorrer mejorando su estabilidad y resistencia.

Incluso en un futuro, es muy probable, que consigamos mejores precisiones de posicionamiento en la toma de coordenadas GNSS en el terreno y las propias del UAV cuando esté completamente operativo el sistema GALILEO para trabajos en Europa.

En cuanto a los resultados, los productos generados pueden resultar muy útiles para la orientación y comprensión del terreno gracias a la fácil identificación de los elementos, y debidos a su calidad llamar la atención y generar el interés de los visitantes al yacimiento musealizado.

Por otro lado son, también, una fuente de información valiosa para los arqueólogos ya que todos los productos permiten mediciones, y productos tales como la nube de puntos pueden utilizarse para recreaciones virtuales que también serán atractivas para los visitantes.

Mediante la combinación de estos equipos con otro tipo de instrumentos como los láser escáner se pueden conseguir exposiciones interactivas de gran interés que consigan atraer y enseñar a la población y a los turistas algo más sobre la historia y los yacimientos



ANEXOS



arqueológicos, en nuestro caso sobre la Guerra Civil Española y la Batalla del Jarama en los alrededores de Pinto.



ANEXOS

- ANEXO I. Lista de puntos**
- ANEXO II. Informe de ajuste de misión de vuelo**
- ANEXO III. Derivaciones de puntos**
- ANEXO IV. Resumen de importación**
- ANEXO V. Presupuesto**
- ANEXO VI. Bibliografía**



ANEXOS





ANEXO I

Lista de puntos



ANEXO I. Lista de puntos



ANEXO II

Informe de ajuste de misión de vuelo



ANEXO II. Informe de ajuste de misión de vuelo



ANEXO III

Derivaciones de puntos



ANEXO III. DERIVACIONES DE PUNTOS



ANEXO IV

Resumen de importación



ANEXO IV. RESUMEN DE IMPORTACIÓN



ANEXO V

Presupuesto

ANEXO V. Presupuesto.

1. Introducción.

En este apartado se detallan los costes de este trabajo mostrando la distribución detallada mediante esquemas de cada una de las actividades que se realizaron, su duración y su coste especificando el equipo humano e instrumental utilizado.

2. Descripción de actividades.

Actividades previas:

- Planificación del proyecto: Reparación del material y planificación aproximada de vuelos fotogramétricos en función de la superficie de terreno de la que queramos tomar datos y las condiciones meteorológicas. Recopilación de información del lugar previa y documentación. Calibración de la cámara. 2 Días.
- Obtención de permisos. Permisos de acceso a la zona y permisos para la realización de vuelo. 5 Días (no continuos). Dependiendo del lugar esto puede ser gratuito o requerir algún coste económico, en nuestro caso fue gratuito.
- Preparación de la toma de datos. 1 Día.

Actividades en campo:

- Actividades relacionadas con la fotogrametría: Colocación de dianas, configuración y realización del vuelo. 1 Día.
- Actividades relacionadas con la topografía: Comprobación de la red, toma de coordenadas de las dianas mediante los equipos GNSS. 1 Día.

Trabajo de gabinete:

- Procesado fotogramétrico completo. Incluye desde la orientación interior a la generación final del modelo y la ortofotografía. 7 Días.
- Análisis de resultados. Interpretación de informes. 1 Día.



Realización de la Memoria del proyecto:

- Recopilación de información. 3 Días.
- Redacción y maquetación. 15 Días.
- Impresión y encuadernación. 1 Día.

3. Costes unitarios.

Recursos Humanos:

- Ingeniero Técnico en Topografía:
- 100€/día en campo.
- 130€/día en gabinete.
- Auxiliar de topógrafo 90€/día.
- Piloto del UX5 certificado. (Incluido en el presupuesto presentado por la empresa). 150€/día.

Instrumental

- Alquiler de los equipos Leica GPS bifrecuencia, con trípode, baterías, seguro de accidente y cargadores necesarios 80€/día.
- UAV Realización del vuelo completa con UX5. 2000€ precio de alquiler cerrado por la compañía (piloto con título autorizado).
- Coste de compra del equipo completo 50.000€

Equipo informático:

- PC capacitado para el procesado y visualización correcta de los resultados. 1500€
- Software
- Windows 8 pro 270€
- Trimble Business Center 3360€
- Microsoft Office 350€

- Quick Terrain 0€
- Coste total con una amortización a 2 años = 7.5€/día.
- Seguro y mantenimiento (5%) = 0.38€/día.

Desplazamientos y dietas:

- Alquiler de vehículo y combustible 50€/día.
- Comida 12€

Materiales:

- Material de campo (clavos o estacas para fijar las dianas) 20€
- Impresión de la memoria 30€/unidad.
- Encuadernación memoria 8€/unidad
- Impresión Ortomosaico y posters 135€/unidad
- Soporte 50€/unidad

4. Presupuesto por actividad**Actividades previas:**

Duración	2 Días.	€/Unidad	Total €
Recursos Humanos	Ingeniero Técnico en Topografía.	130,00	260,00
	Auxiliar de Topografía.	90,00	180,00
Instrumental	Equipo Informático x 2	7.5 x 2,00	30,00
	Coste total actividad.	235,00	470,00

Actividades en campo:

Duración	1 Día.	€/Unidad	Total €
Recursos Humanos	Ingeniero Técnico en Topografía.	100,00	100,00
	Auxiliar de Topografía x 2	90 x 2,00	180,00
	Piloto UX5.	2000,00	2000,00
Instrumental	UX5.		
	Material de campo.	20,00	20,00
	Equipo Leica GPS x 2	80 x 2,00	160,00
Desplazamiento	Alquiler de vehículo y combustible.	50,00	50,00
	Comida.	12 x 3,00	36,00
	Coste Total de la actividad.	2546,00	2546,00

Trabajo en gabinete:

Duración	8 Días	€/Unidad	Total €
Recursos Humanos	Ingeniero Técnico en Topografía.	130,00	1040,00
	Auxiliar de Topografía.	90,00	720,00
Instrumental	Material Informático (seguro incl.).	7.5+0.38	63.04
	Coste Total de la actividad.	227.88	1823.04

Realización de la memoria:

Duración	15 Días	€/Unidad	Total €
Recursos Humanos	Ingeniero Técnico en Topografía.	130,00	1950,00
Instrumental	Material Informático (seguro incl.).	7.5+0.38	118.20
	Coste total de la actividad.	137.88	2068.20

5. Presupuesto total

Actividad	Coste	Beneficio Industrial (15%)	IVA (21%)	Total €
Actividades Previas	470,00	70,5	113,51	654,00
Actividades en Campo	2546,00	381,90	654,00	3542,76
Trabajo en gabinete	1823,04	273,46	440,26	2536,76
Redacción Memoria	2068,20	310,23	499,47	2877,90
Impresión Memoria	30,00	4,50	7,25	41,75
Encuadernación	24,00	3,60	5,80	33,40
Impresión Ortomosaico y posters	135,00	20,25	32,60	187,85
Soporte	50,00	7,50	12,08	69,58
Total €	7146,24	107,94	1725,82	9.944,00

Sumando el coste de todas las actividades, el presupuesto total para este trabajo es de nueve mil novecientos cuarenta y cuatro euros.



ANEXOS





ANEXO VI

Bibliografía

ANEXO VI. Bibliografía

Proyectos consultados:

- Guillermo Martínez Pardo Gil, “Levantamiento a escala 1/500 del yacimiento arqueológico de Los Yesares (Pinto, Madrid)”
- Alba Coello Romero y Gonzalo Ballesteros Abellán, “Fotogrametría de UAV de UAV de ala fija y comparación con la topografía clásica”
- Miguel Ángel Díaz Moreno y Ángela Crespo Fraguas, “Proyecto de estudio y puesta en valor de los restos de la Guerra Civil española (1936-1939) en el término municipal de Pinto (Madrid)”

Manuales consultados:

- Trimble UX5 Aerial Imaging Solution.
- Trimble UX5 Application Guide.
- Trimble Reference Manual
- Trimble Business Center Photogrammetry Module White Paper.

Páginas consultadas:

- www.geotronics.es
- www.trimble.com
- www.cota667.com
- www.patrimonioarqueologicoguerracivilpinto.blogspot.com.es



- www.seguridadaerea.gob.es
- www.milmae.net
- www.appliedimagery.com