



Desarrollo de herramientas para prevenir y gestionar los riesgos en la costa ligados al cambio climático

## **Actividad E.4.3.1: Especificaciones técnicas y operativas para las zonas de estudio**

**Informe del GT4: Herramientas de apoyo a los sistemas de alerta temprana para diferentes tipos de riesgo y modelos de costa**

**Due date of deliverable:** 30/09/2020  
**Actual submission date:** 26/10/2020

**Lead contractor for this deliverable:** IGME

### **Autores**

Cristina Reyes, Roberto Sarro, Mónica Martínez-Corbella, Eduardo Peña, Juan Carlos García López-Davalillo, Mario Hernández, Carlos Lorenzo, Rosa María Mateos, Patricia Ruano, Jorge Pedro Galve, José Miguel Azañón, Agustín Millares, Marina Cantalejo, Juan Martín, Pedro Martín, Santiago Martín, Anna Barra, Oriol Monserrat.

Project funded by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF)



## Índice

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>NORMATIVA Y MANUAL DE OPERACIONES .....</b>                      | <b>4</b>  |
| 2.1      | Normativa vigente.....  | 4         |
| 2.2      | Manual de operaciones .....   | 7         |
| 2.3      | Nueva Normativa Europea.....  | 8         |
| <b>3</b> | <b>FLUJO DE TRABAJO .....</b>                                       | <b>13</b> |
| <b>4</b> | <b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....</b>                               | <b>15</b> |
| 4.1      | Descripción del sistema.....  | 15        |
| 4.2      | Planos del vehículo aéreo.....                                      | 16        |
| 4.3      | Listado de componentes y equipos.....                               | 16        |
| 4.4      | Masas del equipo aéreo.....   | 17        |
| 4.5      | Descripción del piloto automático y sistema de navegación .....     | 17        |
| 4.6      | Descripción del sistema de alimentación eléctrica.....              | 17        |
| 4.7      | Capacidad de las baterías .....                                     | 17        |
| 4.8      | Descripción del sistema de propulsión .....                         | 17        |
| 4.9      | Otras descripciones.....  | 18        |
| 4.10     | Actuaciones y limitaciones del vehículo aéreo.....                  | 18        |
| <b>5</b> | <b>DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO .....</b>                        | <b>18</b> |
| <b>6</b> | <b>PROGRAMACIÓN DEL VUELO UGCS.....</b>                             | <b>20</b> |
| 6.1      | Permisos previos.....   | 20        |
| 6.2      | Programación del vuelo UGCS .....                                   | 21        |
| <b>7</b> | <b>MODELO 3D GENERADO.....</b>                                      | <b>24</b> |
| 7.1      | Equipos empleados .....   | 24        |
| 7.2      | Softwares empleados .....   | 24        |
| 7.3      | Pasos seguidos .....  | 24        |
| 7.3.1    | Toma de puntos de control en el terreno .....                       | 24        |
| 7.3.2    | Levantamiento topográfico y modelización 3D en gabinete.....        | 24        |
| 7.3.3    | Calibrado del modelo mediante puntos de control en el terreno ..... | 26        |
| 7.3.4    | Edición de vídeos de documentación de los procesos .....            | 27        |
| <b>7</b> | <b>REFERENCIAS .....</b>  | <b>28</b> |



## 1. INTRODUCCIÓN

El GT4 de RISKCOAST pretende adaptar herramientas existentes o desarrollar nuevas en caso de necesidad basadas en datos de teledetección para apoyar a sistemas de alerta temprana frente a diferentes tipos de riesgo y modelos de costa. Estas herramientas estarán basadas en diferentes técnicas innovadoras como la monitorización DInSAR satelital y terrestre, drones, o en simulaciones matemáticas basadas en análisis espectral. El objetivo es proporcionar una solución integrada capaz de absorber datos provenientes de diferentes sensores y generar mapas que puedan ser utilizados como soporte a la prevención y alerta frente a riesgos geológicos. Los resultados de este GT serán útiles en el GT2, permitiendo la mejora de los mapas de susceptibilidad y peligrosidad a los diferentes riesgos tratados en el paquete y mejorando las capacidades de prevención de las autoridades competentes.

La actividad 4.5 – “Generación de productos cartográficos para la prevención a diversos riesgos basados en Drones del proyecto RISKCOAST” tiene como objetivo generar productos cartográficos y modelos tridimensionales (MDT) de alta resolución en las zonas de estudio seleccionadas, obtenidos a partir de datos adquiridos por Drones. Estos productos contribuirán a la prevención de riesgos como desprendimientos, deslizamientos, fenómenos de erosión, y avenidas torrenciales y proporcionarán datos de entrada esenciales para el apoyo a los sistemas de alerta temprana.

El principal objetivo de este informe técnico (E.4.3.1) consiste en definir las especificaciones técnicas y operativas para la realización de campañas de Dron y generación de modelos 3D en una de las zonas de estudio: el embalse de Rules, situado en la comunidad autónoma y región SUDOE (código ES614) de Andalucía. Se ha seleccionado esta zona de estudio ya que existen varios deslizamientos que afectan a las laderas del embalse y suponen un riesgo para la conservación y seguridad del embalse y otras infraestructuras asociadas (Reyes-Carmona et al., 2020). Así, la generación de modelos 3D en este entorno puede contribuir al desarrollo y aplicación de un sistema de alerta temprana en caso de, por ejemplo, una aceleración crítica de un deslizamiento.

Durante las últimas décadas, las investigaciones científicas se han focalizado en la detección temprana de los mecanismos precursores de los movimientos de ladera, así como en la predicción temporal de estos. Esto supone uno de los mayores retos en el ámbito de la investigación de los movimientos de ladera y se están desarrollando continuamente multitud de técnicas a la vanguardia para ello. Una de las técnicas más empleadas es el LiDAR (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) que proporciona una nube de puntos tridimensional de la superficie escaneada. Esta información geométrica se puede utilizar para la caracterización de desprendimientos, elaboración de mapas de riesgo y susceptibilidad, y para seguimiento y modelado de desprendimientos y flujos (Jaboyedoff et al., 2012) entre otros tipos de movimientos de ladera. El alto coste y la existencia de varias restricciones asociadas a la instrumentación LiDAR (por ejemplo, alto peso y áreas de oclusión) ha motivado a la comunidad científica a investigar otras técnicas alternativas, como la técnica de *Structure from Motion* (SfM), para el desarrollo de modelos topográficos.

La técnica SfM surgió al final del 1970 (Ullman, 1979) y actualmente se considera una técnica muy válida y aceptada (Abellán et al., 2016) y junto con los algoritmos de *Multi-View Stereo* (MVS), permite la reconstrucción automática en 3D de superficies que, además, no requiere conocimientos previos del usuario (James, 2012). Recientemente, se ha demostrado la validez de esta técnica para la generación de nubes de puntos y extracción de conjuntos planos de discontinuidades para la evaluación de la estabilidad de taludes o laderas (Jordá Bordehore et

al., 2017). La técnica SfM conlleva un coste menor y es más fácil de usar que la instrumentación LiDAR, ya que la cámara digital convencional se puede montar en un sistema de aeronave pilotado a distancia (*Remotely Piloted Aircraft System*, RPAS). La precisión está limitada por el modelo de calibración de la cámara que se utilice, pero generalmente, alcanza 1: 1000 (es decir, 1 centímetro precisión para distancias de 10 m) (James, 2012). Es por ello por lo que se ha seleccionado dicha técnica para el presente estudio, cuyos detalles sobre normativas, planificación y generación de modelos 3D se detallan en los siguientes apartados del informe.

La coordinación del GT4 está a cargo del equipo CTTC que establece los procedimientos metodológicos de las distintas herramientas. La descripción y aplicación de estas metodologías en las diferentes áreas de estudio será desarrollada por cada uno de los beneficiarios participantes en GT4. Con lo que respecta a la herramienta de Dron, será desarrollada y aplicada por el quipo IGME, incluyendo al Servicio Técnico Aéreo (STA) del IGME.

## 2. NORMATIVA Y MANUAL DE OPERACIONES

### 2.1. Normativa vigente

A fecha de realización del presente informe (octubre de 2020) y hasta enero de 2021 la norma que regula en España la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto es el [Real Decreto 1036/2017](#), de 15 de diciembre. No obstante, con la aprobación por parte de la Comisión Europea del Reglamento Base 2018/1139 de 4 de julio en el que se definen las normas comunes en el ámbito de la aviación civil y por el que se crea una Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea (EASA), la Unión Europea amplía sus competencias para regular todos los Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (UAS) civiles, independientemente de su tamaño o peso, en todos los países miembros. En el desarrollo de estas competencias a partir de mayo de 2019, la Comisión ha aprobado una serie de reglamentos por los que se regulan a nivel comunitario las operaciones con aeronaves no tripuladas (UAS), y que serán de aplicación en todos los países miembros.

Aunque estos reglamentos comunitarios se encuentran en vigor desde junio de 2019, para su aplicación progresiva a partir del 30 de diciembre de 2020, la Comisión Europea ha acordado mediante el Reglamento de Ejecución 2020/947 un periodo de transición (Figura 1). El primer año, a partir del 1 enero de 2021, comenzará la aplicación (parcial) del Reglamento de Ejecución UE 2019/947 y será efectivo el registro de los operadores (con un sistema de registro nacional + repositorio EASA) (Figura 1). El segundo año, a partir de enero de 2022, la regulación nacional dejará de ser aplicable, se producirá la conversión de las autorizaciones y declaraciones de operadores y de los certificados de competencia de los pilotos emitidos en base a las normas nacionales y se definirán y publicarán las zonas geográficas para UAS por parte de los Estados Miembros. El tercer año, a partir de enero de 2023, solo drones con marcado CE podrán ponerse a la venta y se otorgarán autorizaciones a clubes y asociaciones de aerodelismo (Figura 1).

## Periodo de transición



**Figura 1. Calendario de aplicación de la Normativa europea de regulación de uso de UAS.**

Mientras tanto, en lo que se refiere específicamente a la normativa española, aquellas disposiciones normativas contenidas en el Real Decreto 1036/2017, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, que sean contrarias a los reglamentos europeos anteriores decaerán automáticamente a partir del 31 de diciembre de 2020. En cambio, aquellos aspectos no contemplados en el marco europeo, tales como las disposiciones en materia de seguridad pública o restricciones al vuelo de UAS por motivo del lugar de operación contemplados en dicho Real Decreto 1036/2017, así como las reglas del aire aplicables a los RPAS del Real Decreto 1180/2018 por el que se desarrolla el Reglamento del aire, seguirán siendo de aplicación a las operaciones con UAS.

No obstante, en los próximos meses se espera la adopción de una norma nacional española, en la forma de Real Decreto, en la que se regularán precisamente los aspectos que la normativa europea deja a criterio de los Estados miembros y que, además, entre otros propósitos, derogue de forma tácita el Real Decreto 1036/2017.

### El Real Decreto 1036/2017

Así pues, el Real Decreto 1036/2017 (vigente como mucho hasta enero de 2022 o hasta que se apruebe el nuevo Real Decreto) ha resultado ser una regulación transitoria que ha respondido a la necesidad de establecer en España un marco jurídico más amplio que el recogido en la norma del 2014 (bastante restrictiva en el uso del espacio aéreo para este tipo de aparatos) que permitiera el desarrollo en condiciones de seguridad de un sector tecnológicamente puntero y emergente. Este reglamento contempla los distintos escenarios y requisitos en los que se pueden realizar operaciones aéreas especializadas, vuelos, actividades deportivas, recreativas, de competición o exhibición. Además, las condiciones aprobadas en este Real Decreto se completan con el régimen general de la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea, y establecen las condiciones de operación con este tipo de aeronaves, además de otras obligaciones.

A grandes rasgos y entre otras cosas el RD 1036/2017 regula que cualquier persona o entidad que pretenda realizar trabajos profesionales con RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*) ha de constituirse como operador, ser reconocido como tal por AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea), tener un seguro específico de responsabilidad civil específico para cada una de las aeronaves con las que trabaje (que además deberán llevar una placa de identificación ignífuga, en la que conste la identificación de la aeronave, mediante su designación específica, incluyendo el nombre del fabricante, tipo, modelo y, en su caso, número de serie, así como el nombre del operador y sus datos de contacto), ser piloto de RPAS (persona mayor de 18 años con formación teórica y práctica reglada y reconocida por AESA), mantener en el tiempo su aptitud como piloto y tener un certificado médico oficial en vigor.

En función del riesgo que conlleva la realización de las distintas operaciones aéreas el RD 1036/2017 establece dos tipos de regímenes (ordenados de menor a mayor riesgo) de habilitación: el régimen de comunicación previa y régimen de autorización.

#### Régimen de Comunicación Previa

Para trabajar con un RPAS/DRON en régimen de habilitación por comunicación previa es necesario estar habilitado como Operador en AESA. Para ello se necesita:

- Rellenar, firmar y presentar la Comunicación Previa que se encuentra en la web de AESA.

Y disponer y conservar a disposición de AESA los siguientes documentos:

- Un estudio aeronáutico de seguridad.
- Una póliza de seguro que cubra la responsabilidad civil a terceros de cada uno de los drones
- La caracterización de las aeronaves incluyendo configuración, características y prestaciones o certificado de aeronavegabilidad si pesa más de 25 kg.
- La definición de las condiciones/limitaciones que se van a aplicar a la operación/vuelo para garantizar la seguridad de las personas y bienes.
- Perfiles de los vuelos y características de la operación, en caso de realizar vuelos experimentales.

Y si se van a realizar Operaciones Aéreas Especializadas (como por ejemplo en las que está habilitado el STA-IGME: Fotografía, filmaciones y levantamientos aéreos, Investigación y reconocimiento instrumental, Operaciones de Emergencia, búsqueda y salvamento), el operador tendrá que disponer y conservar a disposición de AESA:

- Manual de Instrucción (si procede)
- Manual de Operaciones
- Programa de Mantenimiento
- Justificación de la realización de los vuelos de prueba.

En la página Web de AESA se puede consultar el [Listado Operadores habilitados en AESA mediante comunicación previa \(actualización periódica\)](#), actualmente unos 5.100 en toda España, en el que aparece el IGME.

#### Régimen de Autorización

El RD 1036/2017 regula la realización de una serie de operaciones aéreas con RPAS/DRON prohibidas hasta el momento por su riesgo inherente y que actualmente determinados operadores pueden realizar en régimen de autorización dada por AESA. Estas son:

RISKCOAST 4.3.1: Especificaciones técnicas y operativas para las zonas de estudio

- Vuelos sobre aglomeraciones de edificios
- Vuelos nocturnos
- Operaciones en espacio aéreo controlado y/o FIZ
- Vuelos en BVLOS (fuera del alcance de la vista, 500 m) con un RPAS de más de 2 Kg.
- Operaciones con aeronaves de MTOW mayor de 25 Kg.
- Vuelos experimentales

En la página Web de AESA también se puede consultar el [Listado Operadores habilitados en AESA mediante autorización \(actualización periódica\)](#), actualmente unos 125 en toda España.

Es importante señalar que en todo caso durante las operaciones el operador debe asegurarse de no poner en peligro o molestar a terceros (otras aeronaves, personas y bienes de tierra), y debe cumplir la Ley de Protección de datos, la de Derecho al Honor, Intimidad y Propia Imagen y las restricciones de toma de imágenes aéreas (generalmente militares).

## 2.2. Manual de Operaciones

El Manual de Operaciones (MO) es el documento más importante de los que ha de elaborar la operadora ya que en base a él se registrará toda su actividad aérea. Debe elaborarse acorde a la normativa vigente en el ordenamiento jurídico español (actualmente el RD 1036/2017) y es de obligado conocimiento y cumplimiento para todo el personal involucrado en las operaciones aéreas. Los procedimientos operacionales a definir en el MO se resumen en la Figura 2.

La redacción y desarrollo de los contenidos del MO debe ser coherente con el tamaño del operador y la naturaleza y complejidad de sus operaciones, y según el [APÉNDICE E, revisión 3 \(26/08/2020\) Medios aceptables de cumplimiento relativos al contenido del manual de operaciones](#), publicado por AESA, deberá cubrir al menos los siguientes puntos:

0. PORTADA Y CONTACTO.

1. INTRODUCCIÓN.

2. ADMINISTRACIÓN Y CONTROL DEL MO.

3. ORGANIZACIÓN Y RESPONSABILIDADES.

4. REQUISITOS DE CUALIFICACIÓN Y ENTRENAMIENTO.

5. PRECAUCIONES RELATIVAS A LA SALUD DE LA TRIPULACIÓN.

6. LIMITACIONES DE TIEMPO DE VUELO.

7. TIPOS DE OPERACIÓN A REALIZAR.

8. CONTROL Y SUPERVISIÓN DE LAS OPERACIONES

9. PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES (Figura XX).

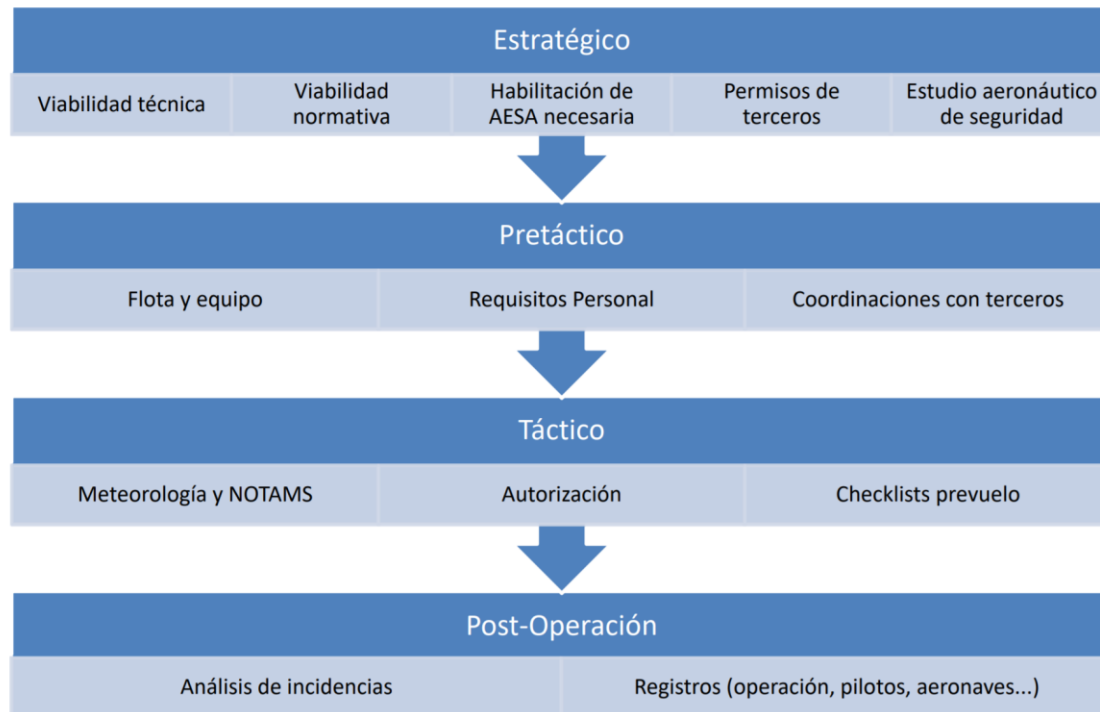
10. ASPECTOS OPERATIVOS RELACIONADOS CON EL TIPO DE AERONAVE.

11. TRATAMIENTO, NOTIFICACIÓN Y REPORTE DE ACCIDENTES, INCIDENTES Y SUCESOS.

12. SECURITY.



### 13. ANEXOS.



**Figura 2. Cuadro resumen de los procedimientos operacionales que el operador debe contemplar y definir en su MO para cada tipo de operación aérea especializada que desee realizar.**

En el MO del STA-IGME se recogen todos estos datos y procedimientos que una vez presentado a AESA lo habilitan entre otras para la realización de operaciones aéreas de fotografía, filmaciones y levantamientos aéreos, en cuyos vuelos se han obtenido las imágenes aéreas necesarias para la aplicación de técnicas fotogramétricas.

### 2.3. Nueva Normativa Europea

La Comisión Europea ha procedido a la elaboración de un nuevo marco regulatorio para las Aeronaves No Tripuladas (UA), común para todos los Estados Miembros, y que se materializa en la siguiente normativa:

- [Reglamento de Ejecución \(UE\) 2019/947](#) de la Comisión, de 24 de mayo de 2019, relativo a las normas y procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas.
- [Reglamento de Ejecución \(UE\) 2020/639](#) de la Comisión, de 12 de mayo de 2020, por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 en lo que concierne a los escenarios estándar de operaciones ejecutadas dentro o más allá del alcance visual.
- [Reglamento de Ejecución \(UE\) 2020/746](#) de la Comisión, de 4 de junio de 2020, por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 en lo que respecta al aplazamiento de las fechas de aplicación de determinadas medidas en el contexto de la pandemia de COVID-19.
- [Reglamento Delegado \(UE\) 2019/945](#) de la Comisión, de 12 de marzo de 2019, sobre los sistemas de aeronaves no tripuladas y los operadores de terceros países de sistemas de aeronaves no tripuladas.

— [Reglamento Delegado \(UE\) 2020/1058](#) de la Comisión, de 27 de abril de 2020, por el que se modifica el Reglamento Delegado (UE) 2019/945 en lo que respecta a la introducción de dos nuevas clases de sistemas de aeronaves no tripuladas.

Estos reglamentos se encuentran en vigor desde junio de 2019, siendo su aplicación progresiva a partir del 30 de diciembre de 2020.

El Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, normativa nacional en la materia, seguirá siendo de aplicación únicamente durante los períodos transitorios contemplados en la normativa europea y en aquellos aspectos no cubiertos por ésta.

Los reglamentos europeos anteriores serán de aplicación por igual a usuarios recreativos y profesionales y establecen diferencias sustanciales respecto a la normativa nacional, no solo en el ámbito operacional, sino también en requisitos de formación de pilotos, registro de operadores/usuarios y características técnicas de las aeronaves.

A modo de resumen estos son los **aspectos clave** de la nueva normativa:

1. El Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 será aplicable a partir del 31 de diciembre de 2020 estableciendo un periodo de transición.
2. La normativa europea aplica a cualquier aeronave no tripulada indistintamente de su masa y de uso, ya sea profesional o recreativo (incluidos los aeromodelos). Además, se contemplan las operaciones autónomas (sin posibilidad de intervención por parte del piloto) y, dependiendo de la categoría operacional, se permiten el transporte aéreo con UAS y los enjambres.
3. Las operaciones de UAS se realizarán en base a tres categorías operacionales basadas en el riesgo de la operación: ‘abierta’, ‘específica’ y ‘certificada’ (Figura 3).



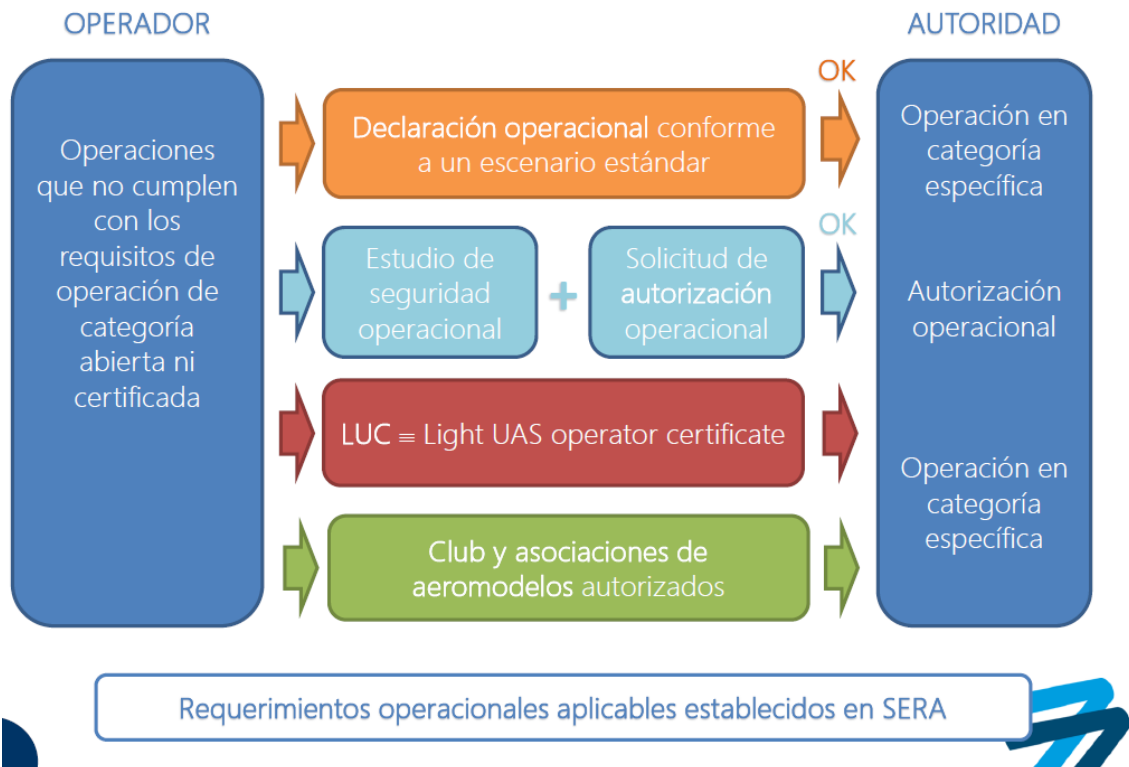
**Figura 3. Las tres categorías de operaciones UAS contemplados en la Nueva Normativa Europea.**

La categoría abierta (Figura 3) permite operaciones realizadas por UAS con el nuevo marcado CE: C0, C1, C2, C3 y C4 (Reglamento Delegado (UE) 2019/945 y 2020/1058) o de construcción privada siempre con una MTOM inferior a 25 Kg, en VLOS y a una altura máxima de 120 m. Se prohíbe explícitamente el sobrevuelo de reuniones de personas, el transporte de mercancías peligrosas ni arrojar materiales y las operaciones autónomas. Esta categoría se divide a su vez en 3 subcategorías en función de las limitaciones y requisitos que suponen (Figura 4).

| LIMITACIÓN SUBCATEGORÍA  | REQUISITOS DE AERONAVES                                       | REQUISITOS DE PILOTOS  |
|--|---|--|
| <b>A1</b><br>Se permite el <u>sobrevuelo</u> de personas ajenas a la operación   | Construcción privada o previa a la norma de <250 g y < 19 m/s | Familiarizarse con el manual de usuario del fabricante   |
|  | Clase C0 (<250 g)   | Familiarizarse con el manual de usuario del fabricante   |
|  | Clase C1 (<900 g o < 80J con e-ID y Geo-awareness)            | Familiarizarse con el manual de usuario del fabricante<br>Completar un curso online<br>Superar examen teórico online   |
| <b>A2</b><br>Se permite el vuelo <u>cerca</u> de personas ajenas a la operación<br>Manteniendo, una distancia de seguridad (30 - 5 metros)   | Clase C2 (<4 kg con low-speed, e-ID y Geo-awareness)          | Familiarizarse con el manual de usuario del fabricante<br>Poseer un <u>certificado de competencia de piloto remoto</u> , obtenido mediante formación y examen online, autopráctica y examen presencial |
| <b>A3</b><br>Operaciones en áreas donde <u>no se espera</u> poner en peligro a personas ajenas a la operación<br>Manteniéndose a > 150 metros de áreas residenciales, comerciales, industriales o recreacionales | Construcción privada o previa a la norma de <25 kg            | Lo mismo que la Clase C1 en A1   |
|  | Clase C2 (<4 kg con e-ID y Geo-awareness)                     |  |
|  | Clase C3 (<25 kg con e-ID y Geo-awareness)                    |  |
|  | Clase C4 (<25 kg)   |  |

**Figura 4. Características de las subcategorías de la operación UAS “abierta” en función de las limitaciones y requisitos de aeronaves y pilotos.**

La categoría específica (Figura 3) incluye aquellas operaciones que por su naturaleza o riesgo no cumplen con los requisitos de la categoría abierta, es decir: BVLOS, alturas mayores a 120 m, MTOM > 25 kg, entorno urbano con UAS de MTOM > 4 kg o sin marcado CE, arrojar materiales, sobrevuelo de aglomeraciones, etc., aquellas operaciones que una vez evaluado su riesgo no caen en la Categoría “certificada” y operaciones sujetas a requisitos aplicables establecidos en las Reglas del Aire. Los operadores deberán solicitar la habilitación mediante una de las figuras recogidas en la Figura 5 y respetar las limitaciones operacionales establecidas en la autorización operacional o en el escenario estándar al que se hayan acogido. Los UAS utilizados en un escenario estándar serán de la clase C5 o C6 una vez terminado el periodo transitorio de escenarios nacionales. También será posible solicitar, en caso de ser persona jurídica, un Certificado de Operador UAS Ligero (LUC). Las ventajas de disponer de un LUC es que no requiere solicitud de autorización o declaración para los vuelos en categoría específica, permitiendo una gran agilidad de producción a la operadora, pero se les exige un gerente responsable y un gerente de monitoreo, estableciendo la obligación de un monitoreo continuo que incluya auditorías.



**Figura 5. Diagrama de relaciones entre operador y autoridad reguladora para su habilitación para realizar operaciones aéreas con UAS en la categoría específica.**

**La categoría certificada** (Figura 3) implica volar sobre concentraciones de personas con UA de dimensión característica >3m, transporte de personas o de mercancías peligrosas con alto riesgo para terceros en caso de accidente. Está sujeto a certificación del UAS, del Operador y de la licencia del Piloto.

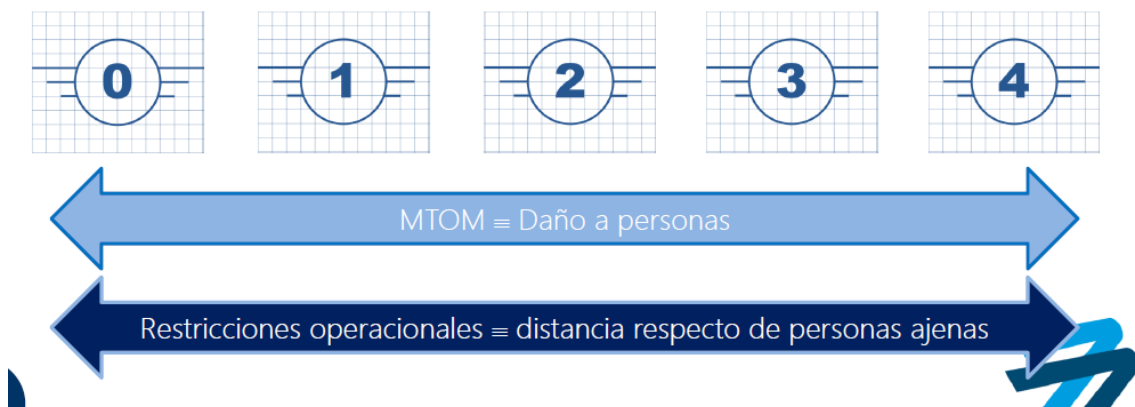
4. Los operadores de UAS deberán registrarse ante AESA e indicar su número de registro en las aeronaves no tripuladas, creándose un registro de operadores interoperable a nivel comunitario. Deberán registrarse todos los operadores que operen en categorías específica y certificada y aquellos de categoría abierta que operen con UAV cuya MTOM sea > 250 gr y todos los que cuenten con sensores capaces de capturar datos personales y no se consideren juguetes.

5. Se establece un nuevo esquema formativo de pilotos basado en el riesgo de la operación y las actuaciones del UAS. No se requiere disponer de certificado básico o avanzado de piloto de RPAS. Para operaciones en categoría abierta deberá superarse un examen online de conocimientos realizado por AESA. Los pilotos certificados según el Real Decreto 1036/2017 deberán reciclarse para adaptar sus conocimientos a los requerimientos europeos.

6. Como norma general, no se exige certificado médico para los pilotos a distancia en las categorías 'abierta' y 'específica'. Por tanto, y salvo excepciones, no será necesaria la superación de un examen médico aeronáutico de tipo LAPL, Clase 1, Clase 2 o Clase 3.

7. Se definen diferentes procedimientos y requisitos para la habilitación de operadores y para la autorización de operaciones. El operador de UAS no necesita obtener una autorización operacional para realizar operaciones en categoría 'abierta', ni en categoría 'específica' si su operación se ajusta a un escenario estándar.

8. Los Estados miembros podrán definir escenarios estándar nacionales y aceptar declaraciones de los operadores de UAS basadas en dichos escenarios estándar. Tales declaraciones dejarán de ser válidas a partir del 2 de diciembre de 2023.
9. Desaparece el concepto de operación aérea especializada y vuelo experimental.
10. Los escenarios operacionales para los que se exige actualmente autorización por parte de AESA cambian; la gran mayoría de operaciones que requieren autorización bajo el Real Decreto 1036/2017 no la necesitarán con la normativa europea.
11. Los certificados de piloto a distancia y sus autorizaciones o declaraciones de operadores de UAS expedidos sobre la base del Real Decreto 1036/2017 se adaptarán a la normativa europea antes del 1 de enero de 2022 en los términos y condiciones que se establezcan.
12. Se definirán zonas geográficas de UAS en las que se permitirán, prohibirán o restringirán operaciones de UAS o el acceso a las mismas con determinadas aeronaves. La información sobre dichas zonas se facilitará digitalmente de forma común en todos los países de la Unión Europea. Deberá asegurarse que la información sobre estas zonas y su periodo de validez es pública y disponible en formato digital (*geo-awareness*). *Geo-awareness* es una función del UAS que, basándose en los datos proporcionados por las autoridades aeronáuticas, detecta potenciales vulneraciones de limitaciones establecidas en el espacio aéreo. Esta dispone de un aviso de alerta al piloto remoto para que tome acciones inmediatamente y evite esa vulneración.
13. Se establecen requisitos para la identificación a distancia de drones. Es decir, la mayoría de las aeronaves no tripuladas deberán contar con un sistema de identificación a distancia electrónico instalado en la aeronave. Este sistema debe asegurar en tiempo real durante la duración del vuelo, una emisión directa y periódica desde el UA, usando un determinado protocolo de: el número de registro del operador, el número de serie del emisor remoto, la posición geográfica y altura sobre la superficie o sobre el punto de despegue, la dirección y velocidad del UA y la posición geográfica del piloto o del punto de despegue.
14. Se establecen las disposiciones relativas a los requisitos de producto. Los UAS deberán cumplir con estándares predefinidos e identificación de clase (Marcado CE, ver Figura 6) y se establece un período transitorio a partir del cual aquellos UAS que no cumplan con la identificación de clase verán limitada su operación.



**Figura 6. Marcado CE para UAS en la categoría abierta basado en el peso de las aeronaves y sus características de seguridad en vuelo.**

15. Dependiendo de las características operacionales, los clubes o asociaciones de aeromodelismo deberán solicitar a AESA la expedición de una autorización para realizar operaciones con UAS a partir del 1 de enero de 2023. La información respecto a la normativa europea sobre UAS se encuentra disponible en la web de EASA:

Drones civiles: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas>

Preguntas frecuentes: <https://www.easa.europa.eu/the-agency/faqs/drones-uas>

### 3. FLUJO DE TRABAJO

Se ha tomado como referencia el modelo de flujo de trabajo que desarrolla el Servicio De Trabajos Aéreos (STA) del IGME, que incluye los siguientes pasos:

1. Contacto de cliente con STA para solicitar un trabajo, normalmente por correo electrónico o por teléfono: 1 día.
2. STA reenvía hoja de “Solicitud de Trabajos Aéreos” al cliente para que rellene datos, de ubicación exacta zonas de vuelo (coordenadas o recintos Google Earth), fechas previstas, extensión zonas, tipo trabajo, etc.: 1-2 días.
3. STA tras recibir la Solicitud formal con los datos detallados, revisa las zonas de vuelos y fechas para ver si hay que solicitar permisos extras (militares, zonas protegidas, zonas restringidas, prohibidas, etc.): 1-2 días.
4. Tras revisión completa y evaluación del STA de la posibilidad de realizar los trabajos (personal disponible, equipos necesarios disponibles, etc.) se contesta al cliente informándole de todas las características técnicas de los trabajos solicitados y se le envía un presupuesto informativo del coste de los trabajos a realizar aunque luego el STA no se los cobre a su proyecto, se le informa de que el STA necesitará tener una contraprestación presupuestaria (proporcional) en el proyecto del cliente a cargo de los trabajos prestados por el STA: 2-3 días. En este punto se genera la carpeta de proyecto a partir de carpeta plantilla de proyecto “20xx\_xx\_xx\_ProyectoTipo” con la fecha prevista de los trabajos y el nombre de la zona a sobrevolar. Se reservan los días en el calendario del STA.
5. Se prepara un plan de vuelo completo a partir de plantilla, especialmente extenso y detallado si se va a tener que utilizar dicho plan para solicitar permisos de vuelo a entidades como AESA, Ejército, Parques Nacionales, etc.: 5-10 días.
6. Se preparan las solicitudes de permisos y se buscan los contactos pertinentes a los que enviar la mencionada solicitud con el plan de vuelo asociado, todo con tiempo, al menos 3 semanas antes del teórico inicio de los trabajos: 2-3 días.
7. Se espera de 3 a 4 semanas para la recepción de los permisos por parte de las entidades implicadas, normalmente a las 3 semanas sin respuesta se contacta con ellos para ver en qué estado se encuentran los mismos: 20-30 días.
8. Una vez recibidos los permisos, se solicitan las comisiones de servicio, se piden los coches, etc.: 2-3 días.
9. Se preparan los programadas de vuelo automático y asistido con las zonas de vuelo cargadas en caché (para las posibles situaciones sin cobertura), los planes de vuelo cargados y preparados para ser enviados a los drones a falta la verificación in situ de la zona y las peculiaridades de la misma, que implicasen modificaciones de los planes de vuelo originales: 1 día.
10. Se verifica el estado de los aparatos a utilizar en la campaña de campo (hardware y software). Carga de baterías, revisión de descarga de versiones de programas de vuelo actualizados, tarjetas de memoria insertadas y formateadas, pruebas de vuelo de los drones, pruebas de funcionamiento de las estaciones totales [si fuera necesario meter puntos de control], verificaciones de material de reserva (hélices, tabletas de repuesto,

- cableados de carga y de datos de todo el hardware, etc.). Se empaqueta y prepara todo para la salida al campo. 1-2 días.
11. Se va a buscar el/los vehículo/s: 1 día.
  12. Salida de campo, se llega a la zona de vuelo y se hace una primera inspección visual de todo el entorno de vuelo, se localizan los posibles problemas y se toman medidas para evitarlos. Localización de zonas de despegue, zonas de aterrizaje, puntos de controladores de tierra visuales de vuelo, punto de piloto, etc: 1-5 días.
    - a) Se prepara todo el material previo a vuelo, montaje, verificación de equipos, “check list prevuelo”, verificación funcionamiento equipos, calibración compás, tarjetas de memoria, carga de mandos, baterías, Altura RTH, activación de sensores, etc. Vuelo de prueba corto.
    - b) Se seleccionan los puntos de control si fueran necesarios y ponen dianas en el terreno mientras se toman medidas de coordenadas de cada uno de los puntos seleccionados. En casos verticalizados y de difícil acceso se toman puntos de control mediante disparos de estación total.
    - c) Carga de misiones a los drones previamente preparadas en gabinete en las tabletas y ordenadores, conforme al plan de vuelo definido. Si el vuelo es para tomas de vídeo para divulgación o demás, se comprueban parámetros adecuados de vídeo (exposición, resolución, formato de grabación, grid en la pantalla, asistencia de programas de vuelo semiautomáticos
    - d) Realización del vuelo con las tomas aéreas, bien fotográficas, bien de vídeo o bien ambas.
    - e) Anotación de todos los parámetros de los vuelos en la documentación pertinente de los registros de vuelos. Alturas vuelos, viento, temperatura, número de batería empleada, minutos de vuelo
    - f) Finalización de los vuelos y verificación “Check List Postvuelo”
    - g) Revisión de la captura de la información en la tarjeta de memoria. (Verificación de vídeos y fotografías correctos), previo a la finalización de trabajos en campo y empaquetado del material.
    - h) Revisión de todo el material previo al empaquetado.
    - i) Generación en campo de un primer modelo 3D de baja resolución para comprobación de la correcta toma de la información. \*En casos más complejos con este primer modelo en 3D, se generará un MDT que se meterá como fondo en los programas de vuelo automáticos tipo UGCS para que sirva de base a la programación de vuelos automáticos volviendo de nuevo al punto 14 previa generación de nuevos planes de vuelo más detallados.
    - j) Regreso a oficina.
  13. Extracción de toda la información obtenida por los drones en campo mediante las tarjetas de memoria y volcado de la información en carpeta de Proyecto: 1 día.
  14. Desempaquetado de material, carga de baterías, limpieza de equipos, paso de los registros de vuelo a documentos digitales, guardado de todo el material clasificado en los armarios del STA: 1 día.
  15. Comienzo con la generación de modelos que en función del número de imágenes, la necesidad de meter puntos de control, la resolución deseada del modelo, filtrados posteriores, etc.: 1-7 días.
  16. Procesamiento de la información obtenida en el modelado. Tratamiento de nubes de puntos, cálculos de diferencias, obtención de volúmenes, generación de ortomosaicos, MDTs, curvas de nivel, montaje de toda la información en un SIG. Generación de informes si es pertinente y parte del trabajo: 2-60 días.
  17. Creación de material audiovisual del proyecto, (selección de vídeos, edición de los vídeos para dar visibilidad al trabajo y al proyecto), publicación y difusión de los mismos en medios y redes sociales: 1-5 días.
  18. Rellenado de todo el resto de documentación asociada al trabajo-proyecto, relleno del shape de trabajos del STA, relleno de las dedicaciones del STA: 1 día.
  19. Creación de copias de seguridad de todo el nuevo material obtenido en el proyecto.

## 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

El sistema (Dron) utilizado para este estudio ha sido el **Phantom 4 PRO**. Los detalles del documento de caracterización del sistema se resumen a continuación.

### 4.1. Descripción del sistema

**Fabricante:** DJI

**Modelo:** Phantom 4 PRO

**Número de serie:** 0AXDDCQ0B21680

**Tipo de RPAS:** Multirroto de 4 motores situados en el mismo plano.

#### Electrónica:

Marca: DJI Innovations.

Modelo: Placa estabilizadora Phantom 4.

Capacidades:

- Sistema de estabilización por IMU
- Control de la posición por GPS y magnetómetro de 3 ejes.
- Mantenimiento de altura automático por sensor de presión atmosférica con ayudas de acelerómetro en eje Z y GPS.

**Motorización:** 4 motores marca DJI modelo 2312 960KV de 90W con un peso individual de 65g.

**Control de velocidad de los motores:** 4 variadores marca DJI modelo Phantom V4 controlados por pulso PWM a 800Hz de frecuencia, y una cadencia de la señal de salida comprendida entre 30Hz y 450Hz Voltaje nominal de trabajo 15,2V (equivalente a baterías de 4 celdas en serie de polímero de litio (3.7V nominales por celda).

**Hélices:** Rígidas de 9,4 x 5 pulgadas, 11 g de peso. Con encaje de eje de motor por tuerca con presión de liberación rápida en mini roscado en sentidos CW y CCW contrario del giro de la hélice.

**Sistema de control:** Emisora de radio control marca DJI con comunicación bidireccional y video *downlink* con un rango de funcionamiento de 7.000 m máximo.

- Marca: DJI.
- Modelo: GL300C.
- Frecuencia de funcionamiento: 2,400 a 2,483 GHz y 5,725 – 5,825 GHz
- Sistema de transmisión: ISM Digital con identificación de emisor y receptor codificación con salto de banda.

**Sistemas embarcados:** El equipo se entrega con el siguiente sistema embarcado. Sistema fotografía y vídeo: Soporte de cámara giro-estabilizado de 3 ejes Marca DJI modelo PH4 PRO.

**Sistema sustitutivo:** En este modelo, el equipo embarcado está pensado específicamente para el uso con este dron, por ello es complicado poder sustituirlo, pero no es imposible. Por ello, el operador podrá cambiar el sistema embarcado por otro, para otros usos y con otras características diferentes al suministrado.

El sistema sustitutivo deberá cumplir las siguientes condiciones:

- Que se mantengan las condiciones de estabilidad del conjunto. El Centro de Gravedad del conjunto ha de estar lo más cercano posible al punto central del equipo. En caso de portar una carga variable se debe contemplar que el CdG siga estando en el mismo sitio o muy cercano al CdG original.
- El peso total del equipo ha de mantenerse por debajo de la MOTM admitida por este equipo.



- No ha de situarse en el flujo de aire de los rotores.

**Sistemas adicionales:** telemetría por comunicación bidireccional de datos (frecuencia 2.4 GHz, conexión en tierra con Android o iOS, alcance de 7 km con antenas originales), transmisor de video integrado en la comunicación, telemetría por imagen anidada (OSD), sistema de detección de obstáculos (rango de detección de 0,7 a 15 m).

## 4.2. Planos del vehículo aéreo

Los planos del vehículo aéreo Phantom 4 PRO se incluyen en la Figura 7.

### Dimensiones

- Ancho: 330 mm sin hélices
- Largo: 330 mm sin hélices
- Altura: 185 mm
- Diámetro entre rotores opuestos: 350 mm



**Figura 7. De izquierda a derecha: vista superior, delantera y lateral de vehículo aéreo DJI Phantom 4 PRO.**

## 4.3. Listado de componentes y equipos

- Equipo de mando
  - Emisora DJI GL300C

- Receptor Comunicación bidireccional tipo Wifi.
- Baterías emisora Recargables de LiPo de 7.4V y 6000mAh de capacidad 2S.
- Baterías Lipo de 5.870 mAh 4S1P inteligente, se regula automáticamente en carga y en descarga. 15,2 V de Voltaje y 100 w de potencia de carga máxima.
- Controladora de vuelo Phantom 4 para compuesta por:
  - MC Controladora principal con IMU Sensor de actitud.
  - Placa base con unidad de suministro de corriente a la electrónica.
  - LED de información luminosidad bajo los brazos.
  - GPS.
  - Módulo de Posicionamiento por Ultrasonidos.
  - Sistema de detección de obstáculos.
  - Magnetómetro de 3 ejes.
- 2 hélices 9,4 x 5 CCW Con encaje de eje de motor por tuerca con presión de liberación rápida en mini roscado contrario del giro de la hélice, con rosca a derechas, 11 g por hélice.
- 4 variadores DJI 4S 20A
- Porta baterías.
- Equipo embarcado:
  - Soporte de cámara giro-estabilizado de 3 ejes Marca DJI modelo Vision plus.
  - Chasis de materiales plásticos inyectados con tecnología bicasco.
  - Tren de aterrizaje fijo de dos patas.

#### 4.4. Masas del equipo aéreo

Masa del RPA en vacío, sin equipo embarcado, ni baterías, ni hélices: **765 g.**

Masa de batería: 5.870 mAh en una batería inteligente de 4S 20C = **468g.**

Masa total recomendada: Compuesta por una batería de 5.870 mAh 4S 20C y equipo embarcado compuesto por soporte de cámara y cámara = **1.388g.**

MTOM Masa máxima al despegue: **1.800 g**

#### 4.5. Descripción del piloto automático y sistema de navegación

El equipo dispone de GPS para que pueda mantener la posición, vuelo asistido, navegación mediante *Way-points* y en caso de emergencia o pérdida de señal, volver al punto de despegue. También lleva incorporado el sistema *FlightAutonomy* que agrega sensores dobles de visión trasera y sensores infrarrojos para un total de 5 direcciones de detección de obstáculos y un sistema anticolidión en 4 direcciones. Además, lleva duplicados los sensores principales como el IMU y el compás para tener redundancia en caso de fallo.

#### 4.6. Descripción del sistema de alimentación eléctrica

Sistema de alimentación eléctrica mediante baterías de polímero de Litio de 15,2V de tensión nominal.

#### 4.7. Capacidad de las baterías

La capacidad de estas baterías es de 5.870 mAh por batería. Estas baterías soportan como mínimo 20C de descarga.

#### 4.8. Descripción del sistema de propulsión

##### Motorización:

RISKCOAST 4.3.1: Especificaciones técnicas y operativas para las zonas de estudio

4 motores marca DJI modelo 2312 960KV de 90W con un peso individual de 65g.

Control de velocidad de los motores:

4 variadores marca DJI modelo Phantom 4 controlados por pulso PWM a 800Hz de frecuencia, y una cadencia de la señal de salida comprendida entre 30Hz y 450Hz Voltaje nominal de trabajo 15,2V (equivalente a baterías de 4 celdas en serie de polímero de litio (3.7V nominales por celda))

**Hélices:** Rígidas de 9,4 x 5 pulgadas.

#### 4.9. Otras descripciones

- Comunicación digital bidireccional con canales proporcionales incluyendo palancas y potenciómetros
- Tecnología 2.400 a 2483 Mhz.
- Alcance máximo 7.000 m.
- Comunicación bidireccional entre emisora y receptor.
- Luces instaladas: el equipo lleva instalados leds de alta luminosidad de color rojo en la punta de los dos brazos delanteros y de varios colores en los otros dos brazos (los traseros) de tal forma que podemos saber la posición el equipo del aire en cualquier momento solo con ver los leds. Estos leds sirven para informar del estado del equipo: estado de GPS, niveles críticos de voltaje de baterías, modo de vuelo, etc.

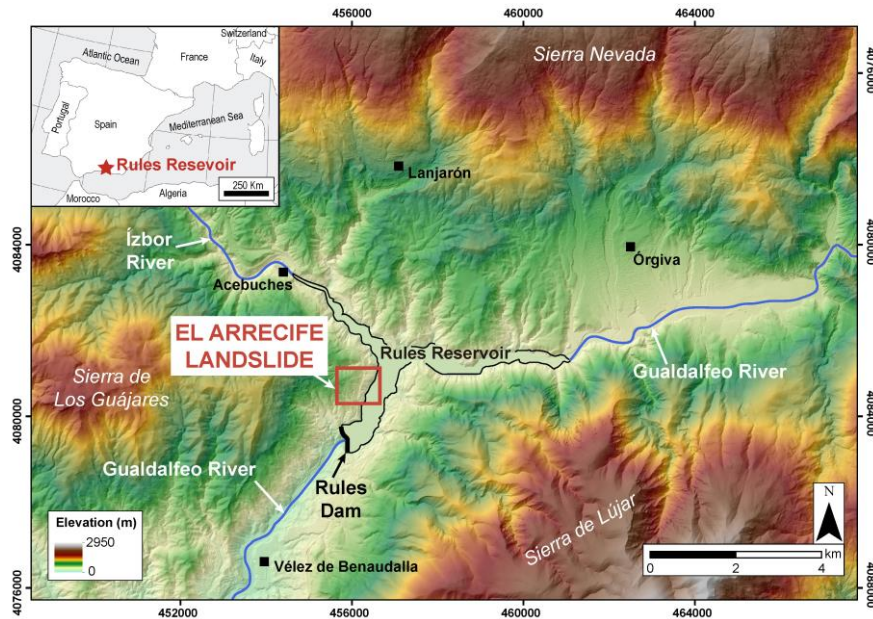
#### 4.10. Actuaciones y limitaciones del vehículo aéreo

- Alcance: máximo de 7.000 m, pero por normativa, volar dentro de una circunferencia de 500 m a distancia del piloto.
- Autonomía: vuelo estacionario de 30 min con una batería de 5.870 mAh 4S y una masa en el momento de despegue de 1.388g.
- Altitud máxima de vuelo: 6.000 m sobre el nivel del mar, pero por normativa, limitado a 120 m del punto de despegue.
- Velocidad máxima: 20 m/s
- Velocidad máxima de ascenso: 6 m/s
- Velocidad máxima de descenso: 4 m/s

**-Limitaciones:** la velocidad máxima que puede alcanzar el equipo en vuelo manual es de 20m/s. Para operar de una forma segura, el viento recomendable debe ser inferior a 6 m/s aun pudiendo soportar vientos mayores a 10 m/s. La mayor parte del equipo porta componentes electrónicos y no se debe operar con precipitaciones, aun teniendo aisladas las electrónicas. Las temperaturas de operaciones oscilan entre 0 grados y + 40 grados.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El embalse de Rules se localiza en la confluencia de los ríos Ízbor y Guadalfeo, en la provincia de Granada (Sur de España) (Figura 8). El embalse fue inaugurado en 2004 y tiene una superficie de 345 hectáreas y una capacidad máxima de almacenamiento de agua de 117 hm<sup>3</sup>. La presa de Rules está situada en la terminación sur del embalse (Figura 8) y es una presa de arco de gravedad, con un arco de 500 metros de radio.



**Figura 8. Localización del embalse de Rules y del deslizamiento de El Arrecife.**

Dos infraestructuras de transporte importantes están asociadas espacialmente al embalse (Figura 8). A lo largo de su margen oriental, discurre la Autovía A-44, que cruza uno de los brazos del embalse mediante un viaducto de hormigón de 585 m de longitud (el Viaducto de Rules). Esta autovía conecta el norte de Andalucía, pasa por la provincia de Granada hacia el sur y finaliza en la región costera turística de "Costa Tropical". Asimismo, la Carretera Nacional N-323 discurre por la margen occidental del embalse (Figura 1), teniendo un Ruta similar a la Autovía A-44. La carretera N-323 era la única conexión con la Costa de Granada antes de la construcción de la A-44 en 2009 y actualmente sigue siendo una carretera muy transitada.

Los problemas estructurales del entorno del embalse de Rules han derivado, históricamente, de inestabilidades del terreno asociadas a varios deslizamientos distribuidos a lo largo de ambos márgenes del embalse. Desde la inauguración del embalse de Rules en 2004, el estribo norte del Viaducto de Rules ha requerido de reparaciones en dos ocasiones, en 2006 y 2013, (estimadas en un total de 35 millones de euros) debido a problemas de inestabilidad de las laderas. Durante el periodo de reparación, el tráfico por carretera se desvió temporalmente de la Autovía A-44 a la Carretera Nacional N-323, que también requirió reparaciones importantes (estimadas en 3,8 millones de euros) debido a su deterioro ocasionado por deslizamientos.

Es por esto por lo que se ha seleccionado el embalse de Rules como zona de estudio y concretamente, el deslizamiento de El Arrecife, localizado en el margen occidental o derecho del embalse y lo largo del cual discurre la Carretera Nacional N-323 (Figuras 8 y 9). El deslizamiento de El Arrecife ha sido recientemente definido como un deslizamiento activo mediante técnicas de interferometría de satélite radar (InSAR), mediante la cual se ha registrado un movimiento máximo de 6 cm/año en la parte baja del deslizamiento (Reyes-Carmona et al. 2020). Dado que es un deslizamiento traslacional, existe un potencial peligro de que el deslizamiento experimente una aceleración crítica que pueda generar un colapso de la masa deslizada en el embalse. Las consecuencias serían nefastas, ya que se generarían daños severos o incluso se destruiría la carretera nacional N-323, así como una red eléctrica que discurre paralela a la carretera. Además, el colapso de la masa deslizada podría generar una ola de impulso ("tsunami") en el

embalse y una consecuente inundación aguas abajo, donde se ubica el pueblo de Vélez de Benaudalla (ver Figura 8).



**Figura 9. Fotografía del deslizamiento de El Arrecife donde se indica el área seleccionada para la generación del modelo 3D mediante vuelos de Dron.**

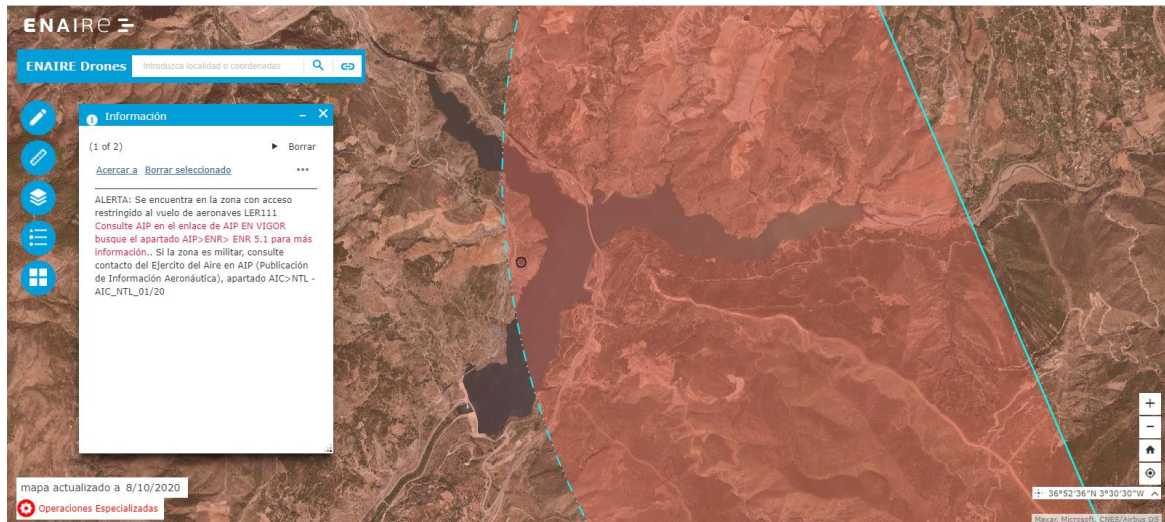
Por todos estos factores de riesgo, se pretende generar un modelo 3D de la parte baja de este deslizamiento (Figura 9) por registrar la mayor tasa de movimiento, y así poder detectar posibles aceleraciones críticas. El sector seleccionado se encuentra entre los PKs 172 y 173 de la carretera nacional N-323 y las coordenadas para llevar a cabo el vuelo dron fueron Latitud: 36° 52' 30" -36° 52' 03" N, Longitud: 3° 29' 30"- 3° 29' 24" O y como cota sobre el nivel del mar: 329 m (UTM ETRS89 Huso 30N). Los vuelos fueron realizados el 1 de febrero de 2020.

## 6. PROGRAMACIÓN DEL VUELO UGCS

### 6.1. Permisos previos

El emplazamiento se ubica; a efecto del espacio aéreo gestionado por ENAIRE, en la zona LER-111 "Motril (Granada)" (Figura 10). Las siglas "LER" hacen referencia a "LE", territorio español peninsular y la sigla "R", a zona restringida. Para poder llevar a cabo el trabajo, hubo que contactar con el organismo asignado por el Ministerio de Defensa para poder obtener permiso de vuelo según dicta el protocolo AIC\_NTL\_01/20 "Procedimiento de coordinación operativa para realizar actividades de operaciones especializadas civiles (trabajos aéreos) en zonas con restricción de espacio aéreo, gestionado por organismos del Ministerio de Defensa" (AIC Nacional 01/20).

De cara a formalizar los permisos para realizar vuelos dron, se adjuntó una petición con la información de los datos del operador, datos de los pilotos, datos de la operación (localización, fecha y altura máxima de vuelo), características técnicas completas del dron, y el documento por el cual se certifica que las aeronaves están aseguradas.



**Figura 10.** La zona de estudio se ubica en la zona LER 111 (Fuente: Aplicación ENAIRE <https://drones.enaire.es/>).

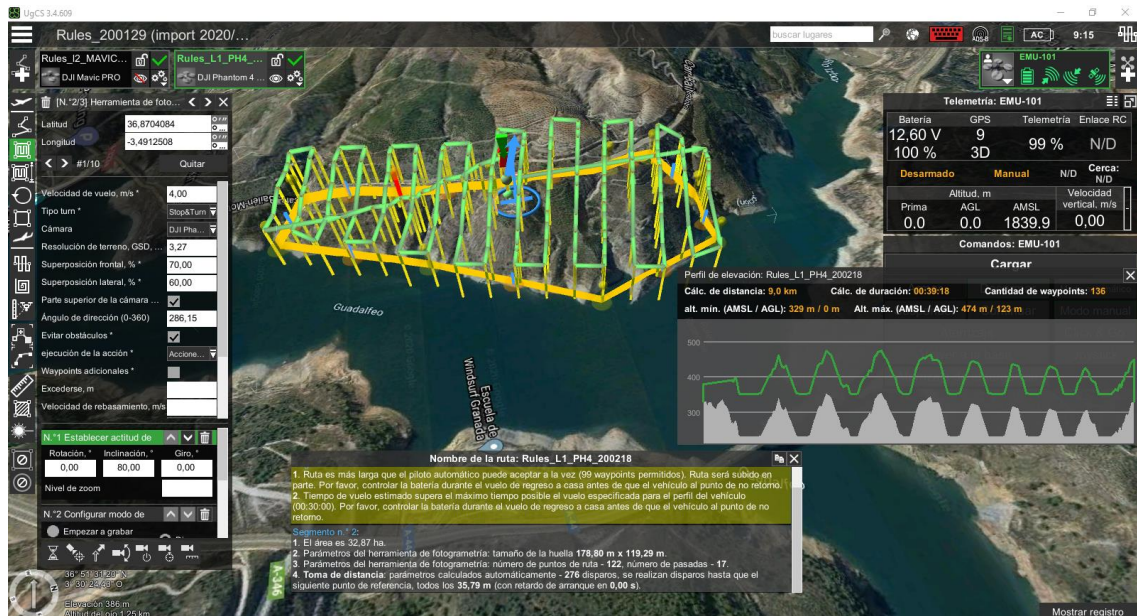
## 6.2. Programación del vuelo UGCS

De cara a programar el vuelo sobre el embalse de Rules, se ha seleccionado el software UgCS (*Universal Ground Control Software*) ha sido desarrollado por la compañía “SPH Engineering”.

UgCS es un software que permite llevar a cabo de manera sencilla misiones de vuelo (Figura 11) que requieren de varias y distintas plataformas, es decir facilita el poder trabajar en zonas en la que existen variaciones de cota. Esta herramienta es compatible con vehículos no tripulados de distintos fabricantes como, por ejemplo, DJI, Yuneec o Mikrokopter. Su aplicación principal es la fotogrametría aplicada al estudio del terreno.

Como punto destacable en este ámbito, el programa tiene la capacidad de poder incorporar modelos digitales del terreno de fuentes externas. Esto permite una mayor seguridad y optimización de las rutas planificadas especialmente en zonas complejas como son áreas montañosas con elevadas pendientes, zonas de extracción de áridos y canteras; cuyo denominador común es la presencia de variaciones de cota muy importantes en la distribución espacial y que en zonas extractivas está condicionada a la dimensión temporal.

La primera de las especificaciones que requiere el programa, es la delimitación de la zona en la que se va a realizar el vuelo.



**Figura 11. Editor de la misión del software Universal Ground Control Software (UgCS).**

Para ello se seleccionó la herramienta de “Fotogrametría” mediante la cual los puntos de ruta se localizan a la misma altura respecto a la superficie del terreno. Esta altura se calcula en base a la configuración de la distancia focal, tamaño del sensor (ancho y alto) y resolución del sensor (horizontal y vertical) de la cámara que dispone el dron y el valor del GSD (*Ground Simple Distance*—resolución del terreno en cm por pixel). Y a esta planificación de vuelo se ha añadido el Modelo digital de elevaciones de 5x5 metros del año 2016, que está disponible en el centro de descargas del IGN. Gracias a la integración de este modelo se optimizará al máximo el tiempo de vuelo y la seguridad de los trabajos aéreos.



**Figura 12. Perfil de elevación en el que se observa la altura del dron prevista para la ruta en cotas AMSL o AGL.**

A continuación, se seleccionó el Dron DJI Phantom 4 Pro, estableciendo los parámetros de entrada que necesita el programa para calcular altura de vuelo, duración del vuelo y número de fotografías. En este caso fueron:

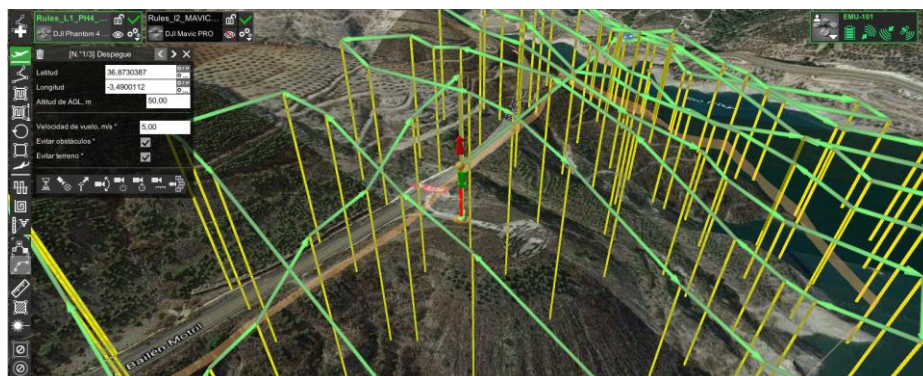
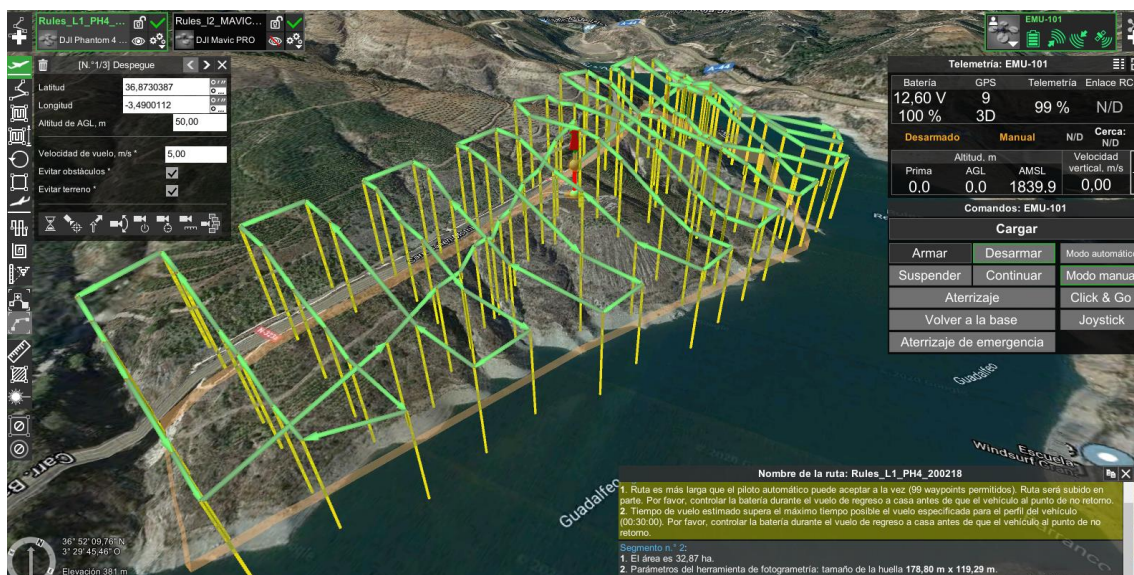
- GSD: En nuestro caso se seleccionó un valor máximo de 3,27 cm para permitir una altura de vuelo inferior a 120 m que es la máxima permitida por legislación.

- Solape frontal: 70%
- Solape lateral: 60%
- Nº de pases: sencillo
- Cámara: Inclinada 80° para obtener fotografías de modo automático

Con estas condiciones se pre-establecen las especificaciones del vuelo, como la distancia (km), duración del vuelo programado (min y sg), nº de puntos de paso (WP- waypoints) y altitudes mínimas y máximas referidas al nivel del mar (AMSL. Above Mean Sea Level) o al nivel de la superficie terrestre (AGL- Above Ground Level) (Figura 12).

Dado que la autonomía de las baterías del dron utilizado no supera los 15/18 min (variable en función de las condiciones climáticas), se planifico el vuelo en 2 partes para poder realizar el cambio de baterías. Esta opción de interrupción de vuelo sin perder los puntos de paso y fotografías obtenidas se contempla en la fase de carga de vuelo que se lleva a cabo antes de activar el despegue del dron por segunda vez.

El vuelo se dividió en 3 partes: la primera corresponde con el despegue (ver detalles en Figura 13), la segunda es la fotogrametría y la tercera es el aterrizaje.



**Figura 13. Detalle de la fase de despegue como parte de la herramienta “Fotogrametría”: coordenadas de helipuerto y altura de ascenso para posteriormente dirigirse al primer punto de paso (Waypoint).**



## 7. MODELO 3D GENERADO

### 7.1. Equipos empleados.

Para la realización de estos trabajos se han utilizado los siguientes equipos:

- DJI Phantom 4 PRO equipado con cámara de 20 Mpx.
- Equipo de tierra para la obtención de los datos:  
5GPS Leica mod. 1200. Mas moden Siemens MC 75 para conexión con la red de correcciones del IGN obteniendo error de posicionamiento de +- 1-2 cm.
- Equipo informático de procesamiento, estación de trabajo HP Zbook 17, con 16 gb de ram, procesador i7 de 2,5 Ghz y 2,5 Ghz, con procesador de 64 bits y Windows 10.
- Aplicación de programación automática de vuelos UGCS ver 3.3.428.
- Aplicación de procesamiento de imágenes para fotogrametría Pix4D Mapper 4.3.24

### 7.2. Softwares empleados.

Se ha utilizado el siguiente software:

1. UGCS ver 3.3.348, programación de vuelos automáticos con mantenimiento de GSD respecto al terreno irregular.
2. Pix4D Mapper ver 4.3.24, Fotogrametría y generación de modelos a partir de imágenes aéreas con georreferenciación y solape.
3. Davinci Resolve ver 16, edición de vídeo, para postprocesado de los vídeos generados por Pix4D Mapper y montajes de vídeos editados.

### 7.3. Pasos seguidos

#### 7.3.1 Toma de puntos de control en el terreno.

Se fijan una serie de puntos de control en el terreno con dianas pintadas de algo menos de un metro de diámetro, distribuidas adecuadamente en forma y número de manera que cubran la mayor parte del deslizamiento y se localicen perfectamente en las imágenes aéreas, se toman sus coordenadas en el SGR (Sistema Geodésico de Referencia) EPSG: 25830 (ETRS 89 UTM huso 30 Norte) y con alturas ortométricas. Para transformar de alturas elipsoidales de los datos GNSS a alturas ortométricas se utiliza el geoide EGM08 escalado a REDNAP del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Para la toma de datos GPS se ha utilizado un equipo Leica 1200 de doble frecuencia, trabajando en modo RTK (tiempo real) con las correcciones de las estaciones fijas más próximas del Servicio de Posicionamiento en tiempo Real de las Comunidades Autónomas y el IGN

#### 7.3.2. Levantamiento topográfico y modelización 3D en gabinete

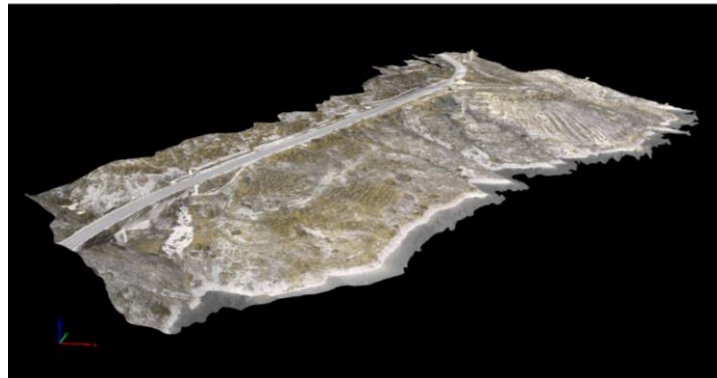
Los modelos se van a generar en el sistema de coordenadas que utilizan los GPS de los drones por defecto, coordenadas CGS WGS84, con alturas geodésicas que dejan insertadas en las imágenes obtenidas. Se van a transformar mediante reoptimización al sistema de coordenadas oficial para la zona de estudio UTM ETRS89 Zona 30N, proyectado y con puntos de control en el terreno a partir de GPS RTK de alta precisión.

Una vez en la oficina se pasa a descargar las imágenes de los vuelos automatizados de la tarjeta de memoria del dron para comenzar con los procesados.

Se utilizó el software de postproceso de imágenes aéreas Pix4D Mapper en su versión 4.3.24, marcando una serie de opciones de procesamiento para el procesado de los modelos 3D.

#### Pre-procesado

Se hace un primer proceso a muy baja resolución, con todos los parámetros de procesado en automático correspondientes a la muy baja resolución, para comprobar que las imágenes están bien georreferenciadas y que el modelo reproduce el terreno correctamente. Este “preproceso” dura unos 20-30 y nos sirve para no pasar el procesamiento completo sin garantías, ya que puede durar varios días.

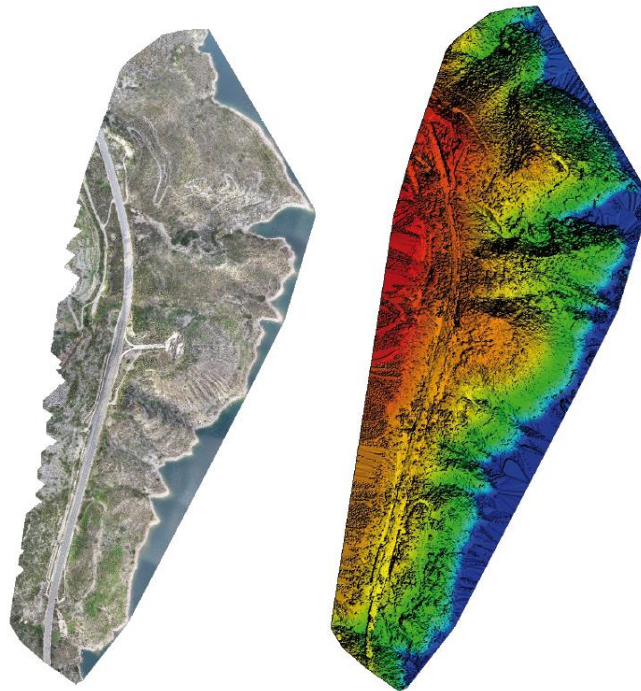


**Figura 14. Malla 3D con texturizado real.**

#### Procesado completo

Tras comprobar que el “pre-proceso” es correcto se pasa a realizar el procesado completo a alta resolución de las imágenes, con las opciones que por defecto nos ofrece el programa en el procesado completo, además le marcamos opciones de:

1. Generación de nube de puntos a tamaño original.
2. Exportación de ficheros a tipo LAS fusionando las teselas en un solo archivo.
3. Generación malla 3D (Figura 14) con textura de resolución alta (16384x16384 píxeles) con balanceado de color para texturas y exportación a formatos .ply, .fbx y .pdf en 3d con emparejamiento a 7 por 7 px.
4. Generación de modelo digital del terreno (Figura 15)
5. Generación de ortomosaico rectificado (Figura 15) con resolución de 3,24 cm/px, 0.457 Km<sup>2</sup> de extensión, con filtro de suavizado de superficie tipo afilada.
6. Generación de modelo digital de superficie mediante la ponderación de la distancia inversa y teselas fusionadas
7. Obteniendo de teselas de Google Maps y KML a partir del modelo.



**Figura 15. Ortomosaico de imágenes ortorectificado y Modelo digital de superficie.**

### **7.3.3. Calibrado del modelo mediante puntos de control en el terreno**

Una vez tenemos el modelo 3D completo a alta resolución, debemos ajustarlo a su posición real en el terreno, ya que las coordenadas obtenidas por las imágenes a través del dron suelen presentar errores de posicionamiento en X e Y de entre 0 y 5 metros y en Z de 0 a 100 m, motivo por el cual, partiendo de las dianas colocadas en el terreno y con sus coordenadas medidas con GPS RTK Leica 1200, con un error posicional por debajo de los 3 cm, vamos a pasar a recalibrar el modelo.

i) Búsqueda de dianas en el modelo.

Pasa por encontrar las dianas colocadas en el terreno (Figura 16), dentro del modelo generado, marcando las posiciones de las mismas en el modelo. De esta forma el programa nos mostrará las imágenes en las que aparece cada una de nuestras dianas, ya que como las imágenes tienen un solape dentro de la misma pasada de un 80% mínimo y entre pasadas de un 70% el mismo punto suele aparecer en más de 8 imágenes.

ii) Asignación de coordenadas a las dianas.

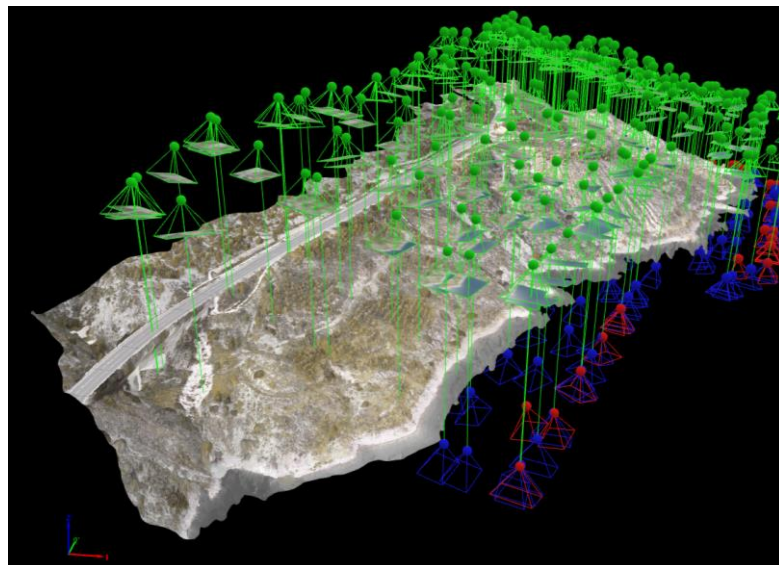
En este punto, en cada una de las imágenes con la diana se marca el centro de la diana y se le asigna numéricamente las coordenadas exactas X, Y, Z obtenidas por el GPS RTK en el terreno. Este proceso lo repetimos en una serie de dianas que estén correctamente distribuidas en el terreno homogéneamente en toda la extensión del modelo y para un mínimo de 5 dianas, siempre y cuando estén bien distribuidas, como hemos comentado.

iii) Reoptimización del modelo.

Una vez realizado todo ese proceso, se le dice al programa que realice la reoptimización del modelo, de forma que las antiguas posiciones de GPS (del dron) de las dianas, pasen a colocarse en las nuevas posiciones del GPS RTK del terreno. El programa reoptimiza todo el modelo y lo obtenemos recalibrado a su posición real, con un error posicional de +3cm (Figura 17).



**Figura 16. Dianas marcadas en el terreno para recalibrado del modelo 3D a su posición real.**



**Figura 17. Modelo 3D texturizado con detalle posicional de las imágenes tomadas por el dron en azul y reposicionadas con los puntos de control en el terreno en verde.**

#### **7.3.4. Edición de vídeos de documentación de los procesos**

Se editan vídeos cortos del deslizamiento que ocupa el estudio con el programa de edición de vídeo gratuito Davinci Resolve (Figura 18). Estos vídeos se generan desde diferentes

posiciones y perspectivas para que se puedan apreciar perfectamente, las morfologías y dimensiones, así como algunos detalles concretos del deslizamiento objeto de estudio.



**Figura 18. Pantalla de edición de vídeo de Davinci Resolve.**

## 8. REFERENCIAS

- Abellán, A.; Derron, M.-H.; Jaboyedoff, M. "Use of 3D Point Clouds in Geohazards" Special Issue: Current Challenges and Future Trends. *Remote Sens.* **2016**, 8, 130.
- Jaboyedoff, M.; Oppikofer, T.; Abellán, A.; Derron, M.-H.; Loye, A.; Metzger, R.; Pedrazzini, A. Use of LIDAR in landslide investigations: A review. *Nat. Hazards* **2012**, 61, 5–28.
- James, M.R.; Robson, S. Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* **2012**, 117.
- Jordá Bordehore, L.; Riquelme, A.; Cano, M.; Tomás, R. Comparing manual and remote sensing field discontinuity collection used in kinematic stability assessment of failed rock slopes. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* **2017**, 97, 24–32.
- Ullman, S. *The Interpretation of Visual Motion*; Massachusetts Institute of Technology Press: Oxford, UK, 1979; ISBN 026221007X.
- Reyes-Carmona, C.; Barra, A.; Galve, J.P.; Monserrat, O.; Pérez-Peña, J.V.; Mateos, R.M.; Notti, D.; Ruano, P.; Millares, A.; López-Vinielles, J.; Azañón, J.M. Sentinel-1 DInSAR for Monitoring Active Landslides in Critical Infrastructures: The Case of the Rules Reservoir (Southern Spain). *Remote Sens.* **2020**, 12, 809.