



# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN INDUSTRIA Y TRANSPORTE

## TRABAJO FIN DE MASTER

### ***UAV EN LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA***

**Estudiante**  
**Director/Directora**  
**Departamento**  
  
**Curso académico**

*Soto, Hernández, Nekane*  
*Millán, García, José Antonio*  
**Maquinas y motores**  
**térmicos**  
**2020-2021**

**Bilbao, 9, septiembre, 2021**



# INDICE

1.	<b>RESUMEN</b> .....	3
2.	<b>INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO</b> .....	4
3.	<b>DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS</b> .....	4
4.	<b>MEMORIA</b> .....	6
4.1.	<b>ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS</b> .....	6
4.1.1.	<b>Uso de DRONES en la ingeniería</b> .....	6
4.1.1.1.	<b>Aplicaciones en la región visible</b> .....	6
4.1.1.2.	<b>Aplicaciones en el Infrarrojo térmico</b> .....	6
4.1.1.3.	<b>Aplicaciones en el Infrarrojo reflejado</b> .....	7
4.1.1.4.	<b>Aplicaciones LIDAR</b> .....	8
4.1.1.5.	<b>Sensores específicos para determinados servicios</b> .....	8
4.1.2.	<b>Normativa UAV</b> .....	9
4.1.2.1.	<b>REGLAMENTO DELEGADO 2019/945 sobre los sistemas UAS</b> .....	11
4.1.2.2.	<b>REGLAMENTO EJECUCIÓN 2019/947 sobre el uso de UAS</b> .....	12
4.1.2.4.	<b>NORMATIVA DE DRONES EN ESPAÑA 2021</b> .....	21
4.1.3.	<b>UAV y fotogrametría</b> .....	24
4.1.3.1.	<b>¿Qué es la fotogrametría?</b> .....	24
4.1.3.2.	<b>Tipos de fotogrametría</b> .....	24
4.1.3.3.	<b>Sectores de aplicación</b> .....	25
4.1.3.4.	<b>Ventajas y desventajas de su uso</b> .....	27
4.1.3.5.	<b>Elementos fundamentales de la fotogrametría tradicional / características de la fotogrametría</b> .....	28
4.1.3.6.	<b>Proceso fotogramétrico</b> .....	43
4.1.3.7.	<b>Planificación de un proyecto fotogramétrico tradicional</b> .....	54
4.1.3.8.	<b>Errores que pueden aparecer y problemas</b> .....	72
4.1.3.9.	<b>Estudio de mercado</b> .....	80
4.1.3.9.1.	<b>Drones</b> .....	80
4.1.3.9.2.	<b>Programas procesamiento fotogrametría</b> .....	86
4.1.4.	<b>UAV y termografía</b> .....	93
4.1.4.1.	<b>¿Qué es la termografía?</b> .....	93
4.1.4.2.	<b>Tipos de termografía</b> .....	93
4.1.4.3.	<b>Sectores de uso</b> .....	94
4.1.4.4.	<b>Ventajas y desventajas de su uso</b> .....	95
4.1.4.5.	<b>¿Qué es necesario para un vuelo termográfico?</b> .....	95
4.1.4.6.	<b>¿Qué fallos o problemas se pueden estudiar o detectar?</b> .....	97
4.1.4.7.	<b>Estudio de mercado</b> .....	100
4.1.4.7.1.	<b>Cámaras</b> .....	100
4.1.4.7.2.	<b>Programas procesamiento termografía</b> .....	102
4.1.5.	<b>Fotogrametría y laser scanner</b> .....	102
4.1.6.	<b>Fotogrametría o LIDAR</b> .....	105
4.2.	<b>CASOS PRACTOS O EJEMPLOS DE APLICACIÓN</b> .....	117
4.2.1.	<b>APLICACIÓN PLANIFICADOR DE VUELO</b> .....	117
4.2.2.	<b>EDIFICIO</b> .....	143
4.2.2.1.	<b>3D edificio</b> .....	143
4.2.2.2.	<b>BIM</b> .....	154
4.2.3.	<b>TERRENO</b> .....	172
4.2.4.	<b>TERMOGRAFÍA</b> .....	248
5.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	278
6.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	279
7.	<b>ANEXOS</b> .....	284
	<b>PLIEGO DE CONDICIONES .PNOA</b> .....	285
	<b>CALCULADORA GSD</b> .....	302



## 1. RESUMEN

El uso de drones tanto en ámbito profesional/industrial como recreativo está en auge. La bajada de precios, la mejora de las cámaras y el aumento de la diversidad de opciones de adquisición en el mercado, está haciendo de este tipo de equipos sean atractivo para su uso en múltiples aplicaciones industriales.

La preocupación por la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la obligatoriedad por parte de Europa de reducir al menos el 55% la emisión de esos gases para 2030, está haciendo de las auditorías energéticas un punto clave para conseguirlo. Actualmente, se estima que en España más del 25% de las emisiones GEI se deben al parque inmobiliario.

Los últimos años, la obligatoriedad de realizar auditorías energéticas en ciertos sectores está consiguiendo que cada vez sea prioritario la optimización del tiempo que se tarda en realizar estos estudios. El método de obtención de datos manual, actualmente tarda demasiado tiempo en la obtención de resultados satisfactorios, además, si se dispone de una amplia extensión de estudio, es muy complicado obtener datos con una sola persona, haciendo que los costes del estudio se disparen.

La aparición de vehículos aéreos no tripulados con sus cámaras mejoradas, hacen que los estudios de obtención de toma de datos y mantenimiento sean más rápidas y sencillas. Con los nuevos UAV, los ordenadores con capacidad de procesamiento rápido y el softwares de diseño y simulación hacen que el uso de este tipo de vehículos haya aumentado considerablemente en los últimos años.

En este trabajo se realiza primero un estudio teórico de las alternativas de estudios/tecnologías que se pueden usar para la obtención de datos relevantes, un estudio de mercado tanto de drones y sus cámaras como de softwares para procesamiento de esos datos obtenidos, así como un resumen de la normativa actual que se debe tener en cuenta si se quiere poner volar estos tipos de vehículos. Por último, se presentan casos de estudios y uso de estos vehículos en la obtención de datos y en planificación para obtenerlos.



## 2. INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO

La preocupación por la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la obligatoriedad por parte de Europa de reducir al menos el 55% la emisión de esos gases para 2030, está haciendo de las auditorías energéticas un punto clave para conseguirlo. Actualmente, se estima que en España más del 25% de las emisiones GEI se deben al parque inmobiliario.

Con el aumento de la demanda de energía y los problemas debidos al cambio climático, los gobiernos están cada vez más centrados en la eficiencia de las construcciones, las modificaciones y renovaciones. Mejorar la eficiencia energética es la forma más barata y rentable de reducir los costos.

Para conseguir unas auditorías realmente rentables y con soluciones aplicables que consigan reducir los fallos o defectos, es necesario realizar estudios técnicos capaces de encontrar los esos problemas. Para la obtención de datos para estudios o simulaciones se necesita el uso de tecnología apropiada, en muchos casos es costosa y se necesita tiempo para poder realizarlos. En otros, la toma de datos es imposible debido a los peligros que se deberían enfrentar los técnicos para obtenerlos. Por ello, la entrada en el mercado de UAV y programas de procesado de esos datos, hacen que se acorten los tiempos de estudio y se pueden realizar tomas de datos sin apenas peligros.

En este trabajo se estudian las técnicas de obtención de datos fotogramétricas, LIDAR y laser escáner para conseguir resultados de elevaciones y modelos de terrenos y lugares. Asimismo, se usa la termografía para detectar fallos o problemas y poder realizar las soluciones adecuadas y su procesado de datos para obtener modelos térmicos de estudios. Además, con la termografía en edificación se pueden resolver problemas de fugas que hacen que el consumo energético se eleve y cause problemas.

## 3. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS

Este trabajo trata de realizar un estudio y aplicación de cómo llevar a cabo la toma de datos mediante vehículos aéreos no tripulados.

Para ello, se comienza con el método de adquisición de imágenes por fotogrametría, realizando un estudio teórico de cómo se realiza, ya que es parte fundamental para obtener resultados, y que productos se pueden obtener. Posteriormente se habla sobre la termografía y que se puede obtener de ella y para finalizar con la parte teoría, se hace un estudio de la tecnología láser escáner y LIDAR. Se estudian pros y contras de estas tecnologías y cómo podrían revolucionar la adquisición de datos y su posterior calidad después del procesado.



Con este estudio se quiere proporcionar una base para la elección del mejor método de obtención de datos, teniendo en cuenta las tecnologías y los drones en mercado. También se quiere definir como planificar esa toma de datos y que hacer luego con esos ellos. Este objetivo está orientado a agilizar la toma de datos y poder usar esos datos obtenido en software de simulaciones sin tener que ir constátenme al lugar.



## 4. MEMORIA

### 4.1. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

#### 4.1.1. *Uso de DRONES en la ingeniería*[1]

Dentro de los nuevos objetivos medioambientales o de sostenibilidad que están siendo aprobados estos años, la transformación digital de la industria y con ello, obtener una mayor eficiencia tanto el procesos como resultados industriales, lleva a reflexionar como los drones aportan nuevas soluciones a la Industria 4.0.

Las aplicaciones dependiendo el tipo de sensor o cámaras más reseñables de esta tecnología a la ingeniería son las siguientes:

##### 4.1.1.1. *Aplicaciones en la región visible*

*Sensores RGB o cámaras de fotos.*

###### - *Revisiones visuales o filmación*

Acceder a distintas infraestructuras y edificios consiguiendo información que sin un dron no se podría ver sobre el estado de determinadas estructuras sin poner en riesgo la vida de los operadores, de manera que estos dispositivos son muy útiles para tareas peligrosas, lentas y costosas

###### - *Fotogrametría*

Técnica usada para determinar las propiedades geométricas de los elementos y las situaciones espaciales a partir de fotografías aéreas.

###### - *Cálculo de volúmenes*

###### - *Moldeado 3D*

##### 4.1.1.2. *Aplicaciones en el Infrarrojo térmico*

###### - *Sensores térmicos*

La termografía, técnica que posibilita cuantificar y precisar la temperatura a distancia, con exactitud y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar.

La termografía aérea es una técnica que se fundamenta en la detección de la radiación emitida por los cuerpos, convirtiendo la información obtenida en imágenes con información sobre la temperatura del material.



- ***Eficiencia en la edificación***

Con la incorporación de una cámara fotogramétrica, los drones pueden determinar diferentes parámetros como, la capacidad aislante de los materiales, la calidad del diseño y el montaje de los mismos, así como los defectos y detección de puentes térmicos y de aislamiento.

- ***Inspección de paneles solares***

La identificación de puntos calientes además de roturas o sombras en los paneles, son las funciones clave de un dron a la hora de detectar células fotovoltaicas.

- ***Monitorización del estrés hídrico de las plantas***

Los drones, mediante sensores térmicos, pueden monitorizar el aumento de temperatura de las plantas. Esto ocurre cuando aparece el estrés hídrico provocando el cierre de las estomas, reduciendo la transpiración y aumentando la temperatura de las hojas

- ***Detección de auto-combustiones***

Mediante cámaras termografías montadas en un dron se pueden monitorizar las reacciones exotérmicas realizando el seguimiento del estado de los materiales depositados.

- ***Localización de anomalías geotérmicos***

Identificar fracturas, huecos y diferencias composicionales en piedras del terreno, detecta patologías en la roca, etc.

- ***Inspección de tendidos eléctricos***

- ***Localización y salvamento***

#### **4.1.1.3. Aplicaciones en el Infrarrojo reflejado**

La captura de datos en este rango del espectro permite obtener información significativa sobre tipos de cultivos, plagas, desarrollos vegetativos, cuerpos de agua o prospección de minerales.



#### - **Aplicaciones en Agricultura**

La agricultura de precisión es un concepto agronómico que consiste en el manejo diferenciado de los cultivos a partir del conocimiento de la variabilidad existente en una explotación agrícola. La detección de áreas invadidas por malas hierbas, zonas que necesitan mayor o menor irrigación o zonas infectadas por hongos y otras plagas y el manejo eficiente del agua, entre otras.

#### - **Aplicaciones en Geología**

La utilización de drones presenta numerosas ventajas para obtener información sobre los afloramientos, el cálculo y el análisis de diferentes parámetros sobre la superficie terrestre. Entre ellas encontramos el análisis de suelos, la cartografía geológica al detalle, el análisis de riesgos y la planificación del territorio.

##### **4.1.1.4. Aplicaciones LIDAR**

Esta tecnología se basa en que un láser con diferentes longitudes de onda, emite un haz de luz que es reflejado en el terreno y recibido de nuevo en el sensor aerotransportado. Por tanto, la nube de puntos LIDAR permite elaborar modelos digitales del terreno de alta resolución según alturas o puntos de retorno.

Esto a su vez nos permite la aplicación de drones en levantamientos topográficos:

- **Captura de topografía en áreas de minería a cielo abierto.**
- **Cartografía de líneas eléctricas, vías ferroviarias y tuberías.**
- **Seguimiento de obra civil.**
- **Cartografía de corredores.**
- **Cartografía de zonas de inundación.**
- **Análisis de riesgos naturales.**

##### **4.1.1.5. Sensores específicos para determinados servicios**

- **Detectores CO2**
- **Detectores H2O**
- **Ultrasonidos**

De los sectores y/o aplicaciones arriba mencionadas, se van a estudiar solo los casos que ayuden en la toma de datos, su agilización o que sean útiles para la agilización de estudio de la eficiencia energética.





#### **4.1.2. Normativa UAV [2][3][4]**

El nuevo marco normativo comunitario por el que se regirá el uso de aeronaves tripuladas (UAS) modifica el Real Decreto 1036/2017.

Hasta la fecha, la nueva normativa europea aplicable a los UAS será:

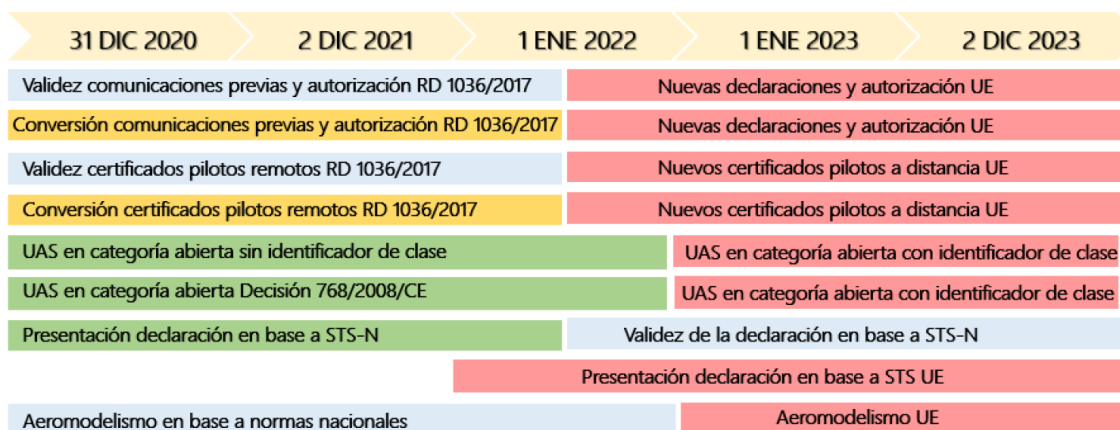
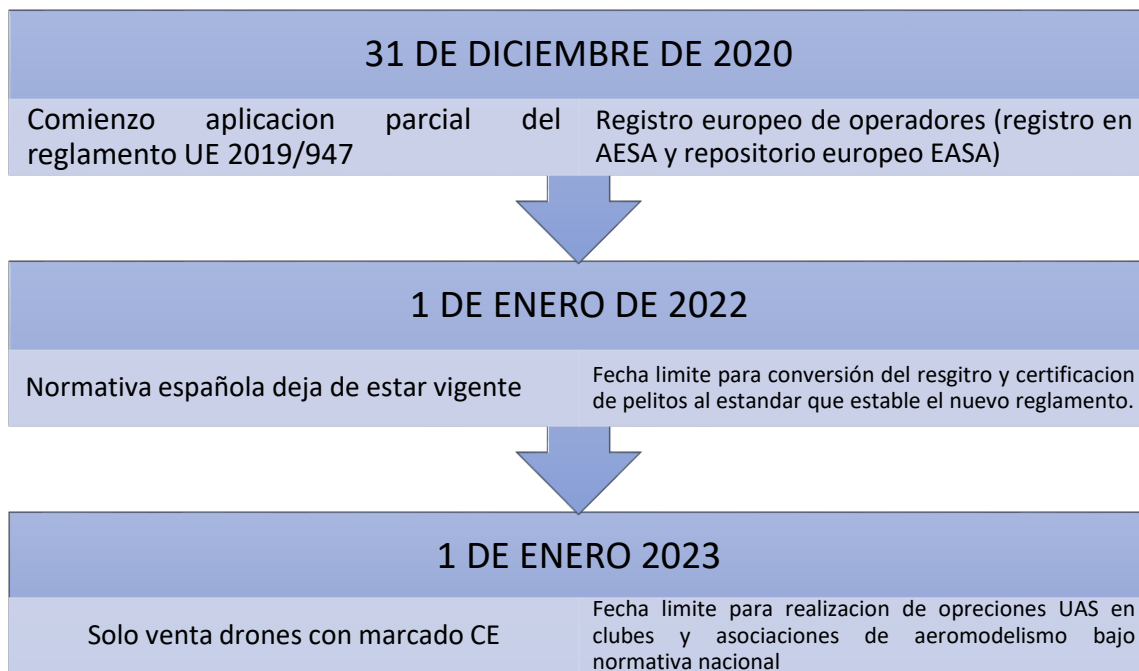
- Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión, de 24 de mayo de 2019, relativo a las normas y procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas.
- Reglamento de Ejecución (UE) 2020/639 de la Comisión, de 12 de mayo de 2020, por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (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.

Como normativa europea consolidada se encontraran:

- Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 consolidado que incluye los cambios del Reglamento de Ejecución (UE) 2020/639 y Reglamento de Ejecución (UE) 2020/746
- Reglamento Delegado (UE) 2019/945 consolidado que incluye los cambios del Reglamento Delegado (UE) 2020/1058

Para realizar este trabajo serán necesarios conocer mejor los RD 2019/945, RE 2019/947 y RE 2020/746.

La aplicación del reglamento europeo 2019/947 y el 2019/945 lleva en vigor desde 2019, pero no es hasta este año, 2021, cuando comienza su aplicación progresiva. El nuevo Reglamento de Ejecución 2020/746, modifica las fechas indicadas en el RE 2019/947 y fija unos nuevos plazos adaptados a la situación actual.



Transitorio de aplicación de la normativa.

**Figura 1. Cronograma nuevas normativas**

Estas nuevas normativas se aplican a todas las aeronaves no tripuladas, ya sean autónomas o están dirigidas de forma remota, y sin importar su peso o el al que estén destinadas. Estarán exentos los drones y personal militar, búsqueda y salvamento, policías, agentes de aduanas y control de fronteras, bomberos, guardacostas y demás Cuerpos de Seguridad y autoridades diversas.

De todos los reglamentos mencionados será necesario prestar atención a tres documentos:

- **Reglamento Delegado 2019/945**, del 12 de marzo de 2019, destinado a regular los requerimientos y especificaciones para fabricantes de UAS (Sistemas de Aeronaves no Tripuladas o drones).



- **Reglamento de Ejecución 2019/947**, del 24 de mayo de 2019, que regula el uso de los UAS por parte de los operadores y pilotos de drones, ya sean recreativos o profesionales.
- **Reglamento de Ejecución 2020/746**, del 4 de junio de 2020, que modifica las fechas de aplicación indicadas en el RE 2019/947, para su adecuación al contexto de la pandemia de COVID-19.

#### **4.1.2.1. REGLAMENTO DELEGADO 2019/945 sobre los sistemas UAS**

Se unifican los requisitos y especificaciones técnicas que deben incluir, de manera obligatoria, los rpas destinados a las operaciones bajo categoría abierta, específica o certificada. También se añaden los sistemas, aplicaciones y accesorios, que acompañan al dron, así como la información de seguridad y navegación que deberán incorporar entre los manuales de la aeronave.

##### **4.1.2.1.1. Clasificación según su peso**

Esta clasificación se realiza teniendo en cuenta su MTOM o masa máxima al despegue. Servirá para definir las especificaciones que debe incluir cada modelo para garantizar la seguridad de uso.

- C0: MTOM < 250g.
- C1: MTOM < 900g.
- C2: MTOM < 4kg.
- C3: MTOM < 25kg (consulta los otros requisitos).
- C4: MTOM < 25kg (consulta los otros requisitos).
- C5: MTOM < 25kg (consulta los otros requisitos).
- C6: MTOM < 25kg (consulta los otros requisitos).

##### **4.1.2.1.2. Identificación electrónica remota directa**

Uno de las exigencias para los nuevos drones que se comercialicen, es que se disponga de un nuevo sistema de emisión en tiempo real durante el vuelo. La emisión del dron, responderá a un protocolo concreto que incluirá:

- Nº de registro del operador.
- Nº de serie del UAS o dron.
- Posición geográfica y altura sobre el suelo.
- Dirección y velocidad del UAS.
- Coordenadas del despegue.

El UAS deberá incluir un manual para la instalación y configuración correcta de este sistema. Servirá para identificar y realizar el seguimiento de la operación por parte de la autoridad competente.

##### **4.1.2.1.3. Introducción del registro electrónico**

- REGISTRO PARA UAS

Deben registrarse todos los drones cuyo diseño esté sujeto a certificación

- REGISTRO PARA OPERADORES

En todas las operaciones de categoría certificada y específica.  
 Encategoría abierta: Drones de más de 250 gr, y aquellos que incorporen cámaras u otros sensores y no se consideren juguetes.

#### 4.1.2.1.4. Zonas geográficas UAS

En estas zonas geográficas, los Estados miembros de la Unión Europea podrán:

- Prohibir ciertas operaciones o la totalidad de ellas.
- Requerir autorización específica o requerir ciertas condiciones.
- Restringir el vuelo a ciertos tipos de aeronaves.
- Instaurar normas ambientales específicas.
- Permitir el vuelo a drones que incorporen ciertos sistemas inteligentes o funcionalidades concretas.
- Modificar los requisitos genéricos para operar en categoría abierta.

Los drones de construcción propia también se registrarán por el nuevo reglamento.

#### 4.1.2.2. REGLAMENTO EJECUCIÓN 2019/947 sobre el uso de UAS

Regula el uso de UAS. Se fijan tres categorías operacionales diferentes, teniendo en cuenta el nivel de riesgo de la operación en sí misma. Categoría abierta para operaciones de bajo riesgo, categoría específica para riesgo medio; y categoría certificada para vuelos que presenten un nivel de riesgo alto.

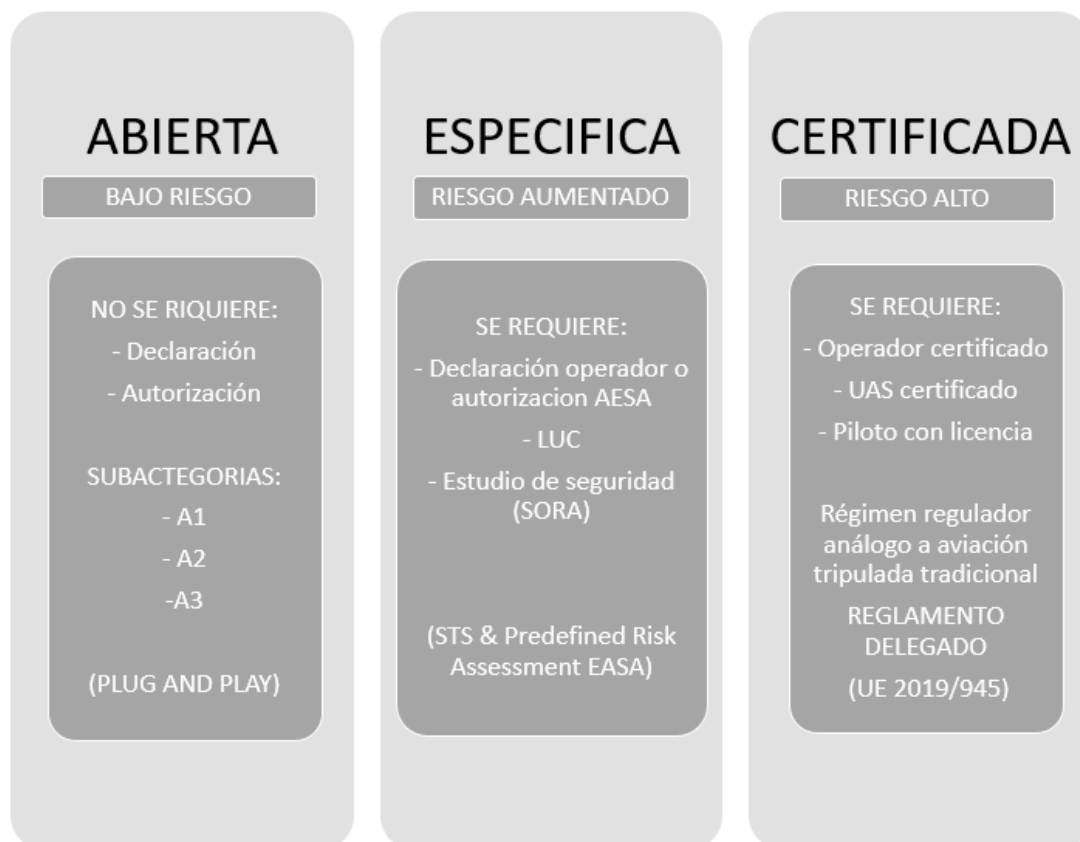


Figura 2. Nuevas categorías

#### 4.1.2.2.1. CATEGORIA ABIERTA

Vuelos de bajo riesgo, no se requerida autorización previa ni tampoco declaración por parte del operador.

- Prohibiciones explícitas:
  - Está prohibido el sobrevuelo de grupos de personas.
  - No se autoriza el transporte y/o arrojo de materiales o mercancías peligrosas.
  - No están permitidas las operaciones autónomas.
- Requisitos a cumplir
  - La edad mínima del piloto será de 16 años(o realizar la operación bajo la supervisión directa de un piloto remoto que cumpla los requisitos aplicables).
  - Registro del operador UAS(pueden aplicarse excepciones).
  - Aprobar una formación teórica online y un examen(formación y examen online para las subcategorías A1 y A3; examen presencial para la subcategoría A2).
  - Siempre mantener el UAS en la línea de visión(el modo de vuelo 'First Person View' y el 'Follow-me' pueden ser considerados bajo ciertas condiciones como VLOS).
  - La altura máxima de la operación será de 120 metros.
  - La masa máxima al despegue del dron será de menos de 25 kg y, además, deberá llevar marcado de acuerdo con los requisitos aplicables.

Además se establecen subcategorías diferentes en base a limitaciones operacionales, requerimientos a los pilotos y requisitos técnicos de los UAS.

LIMITACIÓN SUBCATEGORÍA	REQUISITOS DE AERONAVES	REQUISITOS DE PILOTOS
<b>A1</b> Se permite el <b>sobrevuelo</b> de personas ajenas a la operación	Construcción privada o previa a la norma de <250 g y < 19 m/s	Familiarizarse con el <b>manual de usuario</b> del fabricante
	Clase C0 (<250 g)	Familiarizarse con el <b>manual de usuario</b> del fabricante
	Clase C1 (<900 g y < 80J con e-ID y Geo-awareness)	Familiarizarse con el <b>manual de usuario</b> del fabricante Completar un <b>curso online</b> Superar <b>examen teórico online</b>
<b>A2</b> Se permite el vuelo <b>cerca</b> de personas ajenas a la operación Manteniendo, una distancia de seguridad (30 - 5 metros)	Clase C2 (<4 kg con low-speed, e-ID y Geo-awareness)	Familiarizarse con el <b>manual de usuario</b> del fabricante Poseer un <b>certificado de competencia de piloto remoto</b> , obtenido mediante formación y examen online, autopráctica y examen presencial
<b>A3</b> Operaciones en áreas donde <b>no se espera</b> poner en peligro a personas ajenas a la operación 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 3. Requisitos subcategorías



- SUBCATEGORIA A1

Drones demenos de 250 gr, de construcción privada previa a la norma, o de tipoC0 y C1, que vuelen sobre personas ajenas a la operación, se establece la necesidad de conocer el manual de la aeronave.

Además, tipo C1, se tendrá que realizar un curso de formación y superar un examen teórico, ambos online.

- SUBCATEGORÍA A2

Para drones detipo C2, demenos de 4 kgde peso que incorporen los sistemae-ID, low-speedygeo-awareness. Se permitirá el vuelo cerca de personas ajenas a la operación, siempre que se mantenga una distancia de seguridad de entre 5 y 30 metros.

Necesario conocer el manual del dron y estar en posesión de un certificado de competencia, obtenido mediante formación y examen teórico-práctico.

- SUBCATEGORÍA A3

Construcción privada o previa a la norma de menos de 25 kg, se permitirán operaciones en áreas alejadas de zonas residenciales, recreacionales, industriales o comerciales, en un mínimo de 150 metros.

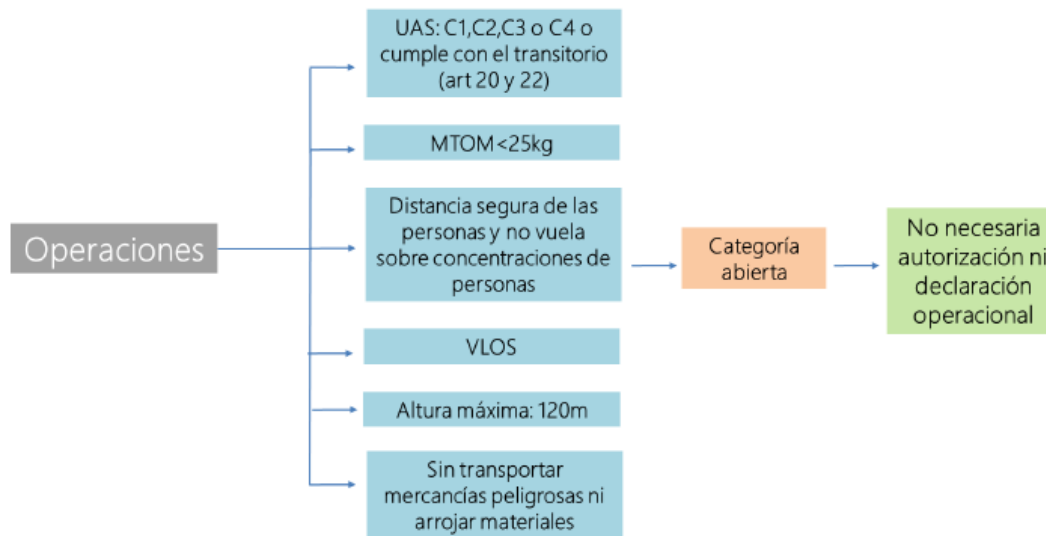
Necesario el conocimiento del manual de usuario y la realización de un curso online con su respectivo examen.

CLASE	- REQUISITOS TECNICOS
C0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MTOM inferior a 250 g</li> <li>- Velocidad máxima en vuelo horizontal de 19 m/s</li> <li>- Tener limitada la altura máxima desde el punto de despegue a 120m</li> <li>- Estar alimentado con electricidad</li> </ul>
C1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tener una MTOM inferior a 900 g o que su energía transmitida en caso de impacto sea inferior a 80 J.</li> <li>- Tener una velocidad máxima en vuelo horizontal de 19 m/s.</li> <li>- Tener limitada la altura máxima desde el punto de despegue a 120 m.</li> <li>- Estar alimentado con electricidad.</li> <li>- Tener un número de serie único.</li> <li>- Tener un sistema de identificación a distancia directa y de identificación a distancia de red.</li> <li>- Tener equipado un sistema de geoconsciencia.</li> <li>- Tener equipado un sistema de aviso de batería baja para el UA y la estación de control (CS).</li> </ul>
C2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tener una MTOM inferior a 4 kg.</li> <li>- Tener limitada la altura máxima desde el punto de despegue a 120 m.</li> <li>- Estar alimentado con electricidad.</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control (C2).</li> <li>- Salvo si es una UA de ala fija, estar equipado con un modo de baja velocidad seleccionable que limite la velocidad a 3 m/s como máximo.</li> <li>- Tener un número de serie único.</li> <li>- Tener un sistema de identificación a distancia directa y de identificación a distancia de red .</li> <li>- Tener equipado un sistema de geoconsciencia.</li> <li>- Tener equipado un sistema de aviso de batería baja para el UA y la estación de control (CS).</li> <li>- Equipar luces para control de actitud y vuelo nocturno.</li> </ul>
<b>C3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tener una MTOM inferior a 25 kg y una dimensión característica máxima inferior a 3 m.</li> <li>- Tener limitada la altura máxima desde el punto de despegue a 120 m.</li> <li>- Estar alimentado con electricidad.</li> <li>- Tener un número de serie único.</li> <li>- Tener un sistema de identificación a distancia directa y de identificación a distancia de red.</li> <li>- Tener equipado un sistema de geoconsciencia.</li> <li>- Tener equipado un sistema de aviso de batería baja para el UA y la estación de control (CS).</li> <li>- Equipar luces para control de actitud y vuelo nocturno.</li> </ul>
<b>C4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tener una MTOM inferior a 25 kg, incluida la carga útil.</li> <li>- No disponer de modos de control automático, excepto para la asistencia a la estabilización del vuelo sin ningún efecto directo en la trayectoria y para la asistencia en caso de pérdida del enlace, siempre que se disponga de una posición fija predeterminada de los mandos de vuelo en caso de pérdida del enlace.</li> <li>- Estar destinadas para la práctica del aeromodelismo.</li> </ul>

Tabla 1. Requisitos técnicos [3]



Esquema de operaciones que no requieren declaración ni autorización de AESA

**Figura 4. Esquema operaciones [3]**

- Operaciones aéreas especializadas sobre aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados

Independientemente de la categoría operacional en la que se vaya a operar, se debe cumplir con el artículo 46 del Real Decreto 1180/2018 relativo a los requisitos de los equipos. La aeronave deberá estar provista de un dispositivo de limitación de energía de impacto, en tanto no se publique normativa nacional de desarrollo que pueda modificar este aspecto.

- Categoría 'abierta' en aglomeraciones de edificios

Si la operación en zonas de aglomeraciones de edificios cumple los requisitos de la categoría 'abierta' no necesitará autorización operacional ni la presentación de una declaración operacional por parte del operador de UAS.

No se podrá volar sobre concentraciones de personas. En lo relativo a la distancia segura de la aeronave no tripulada respecto a personas, está variará dependiendo de la subcategoría en la que se opere de acuerdo con la Parte A del Anexo al Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 y resumido en la siguiente tabla:





Subcategoría operacional	Identificador de clase	Distancia (metros)
A1 – No sobrevuelo de reuniones personas		<ul style="list-style-type: none"> <li>No está permitido el vuelo sobre reuniones de <b>personas ajenas</b> a la operación</li> <li>No se volará por encima de ninguna persona no participante</li> </ul>
A2 – Vuelo cerca de personas		<ul style="list-style-type: none"> <li>Distancia de <b>30 m</b> de cualquier persona no participante</li> <li>Distancia de <b>5 m</b> si el UAS dispone de <i>función activa de modo de baja velocidad</i></li> </ul>
A3 – Vuelo lejos de personas		<ul style="list-style-type: none"> <li>Distancia de <b>150 m</b> respecto de:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Zonas residenciales</li> <li>&gt; Zonas comerciales</li> <li>&gt; Zonas industriales</li> <li>&gt; Zonas recreativas</li> </ul> </li> </ul>
	UAS construcción privada o previos MTOM < 25 kg	

Tabla 2. Distancias respecto personas y edificios categoría abierta[3]

#### 4.1.2.2.2. CATEGORIA ESPECIFICA

Se aplica a las operaciones que no encajan dentro de la categoría abierta por razones de riesgo:

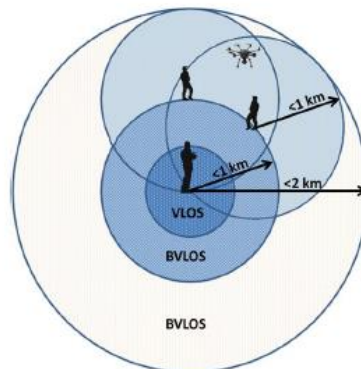
- Vuelos BVLOS (Beyond Visual Line of Sight) o más allá de la línea visual.
- Operaciones a más de 120 metros de altura.
- Drones de más de 25 kg.
- Vuelos urbanos con drones de más de 4 kg o sin marcado CE.
- Arrojo de materiales.

También deben cumplirse las siguientes condiciones adicionales:

- La edad mínima del piloto será de 16 años.
- Es obligatorio el registro del operador del UAS.
- Es necesario un estudio SORA (Specific Operations Risk Assessment) realizado por el operador del UAS antes de realizar la solicitud a AESA.

Al mismo tiempo, si NO se vuela en los escenarios estándar (STS), especificados a continuación, el operador del dron deberá estar en posesión de una autorización operacional.

- STS-01: Operaciones VLOS (dentro de la línea de visión del piloto) en un área terrestre controlada en entorno urbano con drones (UAS) con identificación de clase C5.
- STS-02: Operaciones BVLOS (más allá de la línea de visión del piloto) en un área terrestre controlada en entorno escasamente poblado con UAS de clase C6.



Esquema de ubicación de observadores. Fuente: EASA

Los requerimientos operacionales aplicables, según la naturaleza de cada operación, son los siguientes:



Figura 5. Requerimientos operacionales (fuente: EASA)

CLASE	- REQUISITOS TECNICOS
C5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tener una MTOM inferior a 25 kg.</li> <li>- No ser una UA de ala fija, salvo si es una UA cautiva.</li> <li>- Tener un sistema que proporcione al piloto a distancia información clara y concisa sobre la altura de la UA.</li> <li>- Estar equipado con un modo de baja velocidad seleccionable que limite la velocidad a 5 m/s como máximo.</li> <li>- Ante una pérdida de enlace de datos (C2), contar con un método de recuperarlo o de terminar el vuelo de forma segura.</li> <li>- Tener un método de recuperación del enlace de mando y control (C2) o, en caso de fallo, un sistema de terminación segura del vuelo.</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"><li>- Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control (C2).</li><li>- Estar alimentado con electricidad.</li><li>- Tener un número de serie único.</li><li>- Tener un sistema de identificación a distancia directa.</li><li>- Tener equipado un sistema de geoconsciencia.</li><li>- Tener equipado un sistema de aviso de batería baja para el UA y la estación de control (CS).</li><li>- Equipar luces para control de actitud y vuelo nocturno.</li><li>- Si la UA dispone de función de limitación de acceso a determinadas zonas o volúmenes del espacio aéreo, esta deberá interoperable con el sistema de control del vuelo, y deberá informar al piloto a distancia cuando esta impida entrar a la UA a estas zonas o volúmenes del espacio aéreo.</li><li>- Una UAS de clase C5 podrá consistir en una UAS de clase C3 que lleve instalado un kit de accesorios que convierta la UAS de clase C3 en una UAS de clase C5.</li><li>- El kit de accesorios no incluirá cambios en el software del UAS de clase C3.</li></ul>
<b>C6</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tener una MTOM inferior a 25 kg.</li><li>- Tener un sistema que proporcione al piloto a distancia información clara y concisa sobre la altura de la UA, proporcionando medios que eviten que la UA supere los límites horizontales y verticales de un volumen operacional programable.</li><li>- Tener una velocidad máxima respecto al suelo en vuelo horizontal de 50 m/s.</li><li>- Ante una pérdida de enlace de datos (C2), contar con un método de recuperarlo o de terminar el vuelo de forma segura.</li><li>- Tener un método de recuperación del enlace de mando y control (C2) o, en caso de fallo, un sistema de terminación segura del vuelo.</li><li>- Estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control (C2).</li><li>- Estar alimentado con electricidad.</li><li>- Tener un número de serie único.</li><li>- Tener un sistema de identificación a distancia directa.</li><li>- Tener equipado un sistema de geoconsciencia.</li><li>- Tener equipado un sistema de aviso de batería baja para el UA y la estación de control (CS).</li><li>- Si la UA dispone de función de limitación de acceso a determinadas zonas o volúmenes del espacio aéreo, esta deberá interoperable con el sistema de control del vuelo, y deberá informar al piloto a distancia cuando esta impida entrar a la UA a estas zonas o volúmenes del espacio aéreo.</li><li>- Equipar luces para control de actitud y vuelo nocturno.</li></ul>

Tabla 3 requisitos técnicos[3]

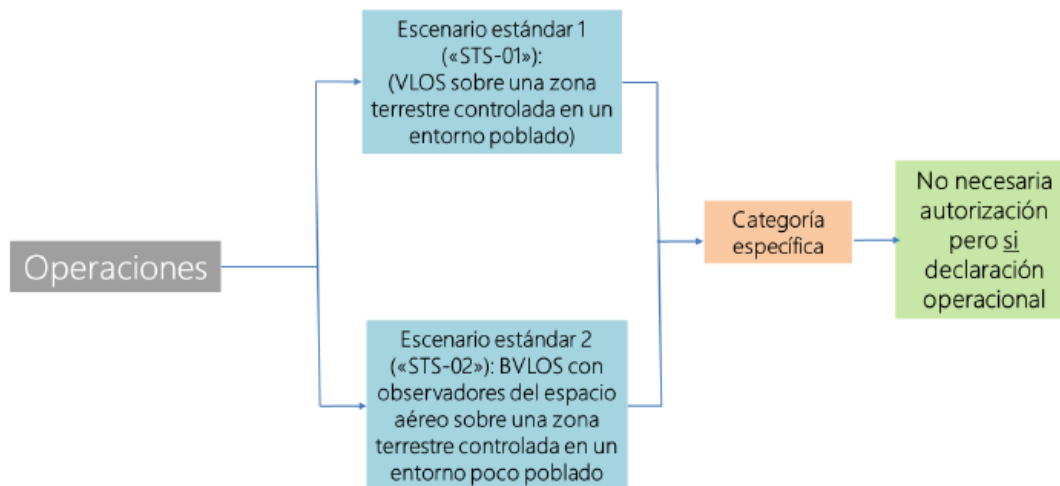


Figura 6. Esquema de operaciones que requieren declaración [3]

- Categoría 'específica' en aglomeraciones de edificios

Si la operación pretendida no cumple con alguno de los requisitos de la categoría 'abierta', pero se va a realizar cumpliendo con los requisitos del escenario estándar nacional que se defina o con los del escenario estándar STS-01 -VLOS sobre una zona terrestre controlada en un entorno poblado podrán acogerse a ellos y presentar una declaración operacional ante AESA, no siendo necesaria la obtención de una autorización operacional.

Si la operación pretendida no cumple con alguno de los requisitos de la categoría 'abierta' o de los escenarios estándar, el operador de UAS deberá solicita una autorización operacional a AESA.

#### 4.1.2.2.3. CATEGORIA CERTIFICADA

Los requisitos generales para las operaciones englobadas dentro de la categoría certificada son:

- Drones certificados bajo el Reglamento Delegado UE 2019/945.
- Cuando se sobrevuelen reuniones de personas con un UAS de más de 3 metros de envergadura.
- Cuando se vuele sobre aglomeraciones de personas; transporten mercancías peligrosas con alto riesgo en caso de accidente; o cuando implique el transporte de personas.
- Si el Estudio de Seguridad (SORA) presentado, indica la necesidad de certificación del UAS, del operador y la obtención de la pertinente licencia de piloto.

Las normas detalladas relativas a la categoría certificada aún están en desarrollo a nivel de la UE.

#### 4.1.2.3. REGISTRO

Los operadores de UAS cuyas operaciones puedan entrañar un riesgo para la seguridad, la protección, la privacidad y la protección de los datos personales o del medio ambiente, deberán registrarse.



Se define operador de UAS como toda persona física o jurídica que utilice o tenga intención de utilizar uno o varios UAS, englobando tanto la operación profesional como recreativa.

Por tanto, los operadores de UAS se registrarán:

- cuando utilicen en la categoría 'abierta' cualquier aeronave no tripulada:
  1. Con una MTOM de 250 g o más, o que, en caso de colisión, pueda transferir a un ser humano una energía cinética superior a 80 julios;
  2. equipada con un sensor capaz de capturar datos personales, salvo que sea conforme con la Directiva 2009/48/CE ("Directiva de juguetes").
- Cuando utilicen una aeronave no tripulada de cualquier masa en la categoría 'específica'.

Los operadores de UAS se registrarán en el Estado miembro en el que residan si son personas físicas o en el que tengan su centro de actividad principal si son personas jurídicas, y se asegurarán de que su información de registro es exacta. Un operador de UAS no podrá estar registrado en más de un Estado miembro a la vez.

Adicionalmente, el propietario de una aeronave no tripulada cuyo diseño esté sujeto a certificación deberá registrarla.

A partir del 31 de diciembre de 2020 se podrá realizar el trámite de forma telemática a través de la sede electrónica de AESA. Una vez finalizado el registro se expedirá un número de registro digital único para los operadores de UAS y para los UAS que requieran registro, permitiendo su identificación individual.

#### 4.1.2.4. **NORMATIVA DE DRONES EN ESPAÑA 2021**

Actualmente, han comenzado a aplicarse los Reglamentos Europeos RE 2019/947 y RD 2019/945. Además, el Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, que modifica el RD 552/2014, de 27 de junio, seguirá vigente hasta el 1 de enero de 2022.

Este año, se espera la publicación de un nuevo RD que regule el vuelo de drones en España y actualice la normativa vigente con respecto al reglamento europeo.

Durante 2021, la Licencia Oficial de Piloto de Drones seguirá siendo aplicable para Fuerzas y Cuerpos de Seguridad (FCS); mientras que para el resto de personas, para drones a partir de 250 gramos, es obligatorio obtener un certificado que acredite un mínimo de conocimientos, y que permitirá el vuelo de drones en las diferentes categorías establecidas.

Así, para volar drones en la categoría abierta de la nueva Normativa UAS, es obligatorio superar el correspondiente examen en AESA, que puede ser de Nivel 1 o Nivel 2, dependiendo del riesgo de la operación. Y, para volar en categoría específica, será necesario superar el examen de AESA de Nivel 3, para operar en los escenarios estándar contemplados en ella.

Con la nueva normativa ya no hay distinción entre vuelo profesional o vuelo recreativo, por lo tanto, cualquier persona que quiera volar deberá atender a las mismas consideraciones.

Aparte de lo anterior, sea cual sea la categoría en la que se va a operar, hay una serie de prohibiciones que debes tener en cuenta para volar un dron legalmente.

- Limitaciones generales para vuelos de drones en España



- El dron siempre tiene que estar al alcance visual del piloto (excepto categoría específica bajo STS BVLOS).
  - Nunca sobrepasar los 120 m de altura en vuelo
  - No volar en un mínimo de 8 km de cualquier aeropuerto, aeródromo o espacio aéreo controlado.
  - No es obligatorio tener seguro de responsabilidad civil, pero es recomendable, ya que el piloto será el responsable de los posibles daños que cause.
  - El dron deberá llevar una placa identificativa ignifuga fijada a la estructura que contendrá datos: nombre del fabricante, modelo, número de serie y datos de contacto del piloto.
  - Se debe proteger el derecho a la intimidad de los individuos y no vulnerar la Ley de protección de datos.
- Drones de menos de 250 gr
- Superar, como mínimo, el examen de AESA de nivel 1 para obtener el certificado que permitirá volar el dron en las subcategorías A1 y A3 de la categoría abierta.
  - No superar los 120 metros de altura desde el suelo ni los 50 metros de distancia horizontal.
  - No volar en Parques Nacionales, zonas de conservación de fauna, Reservas de la Biosfera, y demás espacios naturales protegidos.
  - No volar en un radio de 8 km de cualquier aeropuerto, aeródromo o espacios aéreos controlados.
  - Si el dron lleva cámara, no vulnerar la Ley de protección de datos y el Derecho al Honor e intimidad de las personas.
  -

No es necesario registrar el dron, a menos que este certificado. Si es obligatorio el registro en AESA. Se está exento de registro si el dron está considerado como juguete en la directiva 2009/48/CE.

Este registro es válido durante 5 años y es reconocido en todos los países miembros de la AESA.

Como se ha mencionado antes, todos los drones a partir de 250 gr deben estar identificados mediante una placa ignifuga fijada en la carcasa que indique:

- Fabricante
- Tipo de dron
- Modelo
- Número de serie
- Nombre del piloto y datos de contacto.

Las emisoras también deberán llevar placa identificativa con el nombre del propietario y los datos de contacto.

Como ya se ha mencionado en el punto anterior (REGLAMENTO EJECUCIÓN 2019/947 sobre el uso de UAS) las nuevas categorías de operaciones dependen del riesgo de la operación de vuelo. Este punto se ha traspuesto desde la RE 2019/947 al uso en España. Se contemplan tres categorías:

1. Categoría abierta, para vuelos de bajo riesgo sin necesidad de autorización.
2. Categoría específica, para vuelos de riesgo medio en escenarios estándar sin declaración, o con autorización si no está dentro de dichos escenarios estándar.



3. Categoría certificada, para operaciones de riesgo alto requiriendo un régimen regulatorio similar al de la aviación tripulada.
  - Condiciones generales de vuelo de drones en categoría abierta

Tres subcategorías, con diferente formación requerida y condiciones particulares de operación, hay una serie de limitaciones de vuelo generales aplicables a todas ellas que debes conocer:

- Debes volar siempre con el dron dentro del alcance visual (VLOS), excepto si estás utilizando el modo 'follow me' o cuentas con un observador, en cuyo caso podrás hacer uso de dispositivos de visión en primera persona (FPV).
  - No superar los 120 metros de altura desde la superficie.
  - En caso de encuentro con una aeronave tripulada, debes reducir la altura, realizar las maniobras evasivas para impedir una posible colisión y aterrizar el dron cuanto antes.
  - No está permitido el sobrevuelo de grupos de personas.
  - Prohibido el transporte de mercancías peligrosas.
- Vuelos en categoría específica

Aquellas que no se ajustan a los requisitos de la categoría abierta ni de la certificada.

- Requisitos generales para volar en categoría certificada

Para que un vuelo se considere dentro de la categoría certificada de la nueva normativa, debe incurrir en alguna circunstancia de alto riesgo, como pueden ser:

1. Los vuelos sobre concentraciones de personas con drones de dimensión mayor a 3 metros.
2. El transporte de personas.
3. El transporte de mercancías peligrosas.

También operaciones que, según el estudio de seguridad pertinente, entrañen riesgos imposibles de mitigar sin la certificación del dron, del operador o sin requerir licencia de piloto.

De esta forma, se puede resumir que se deberá pedir autorización a AESA cada vez que:

- Se vuele en la categoría específica que no corresponda a los escenarios estándar STS establecidos
- Vuelos en categoría certificada

Por último, para saber dónde es posible volar un dron con la nueva normativa, España dispone de un web de ENAIRE Drones, perteneciente al ministerio de fomento, para brindar toda la información aeronáutica necesaria para volar tu dron con seguridad, ya sea con motivos lúdicos, profesionales o experimentales.



Disponible también de una APP específica, ENAIRE facilita un cuestionario en el que se indica, antes de cada vuelo, el tipo de dron que se quiere volar, así como con qué fines de su uso.

De esta forma, se ofrecerá información adaptada a las circunstancias, y se podrá saber con certeza los límites operacionales que deberán regir los vuelos en territorio español. Además, lo más interesante de ENAIRE es su intuitivo mapa adaptado a la configuración específica según el cuestionario previo. En él, se puede dibujar y planificar la ruta de vuelo, medir las distancias a recorrer, identificar las zonas con NOTAM declaradoo, incluso, hacer una búsqueda y acotar una zona específica para ver el estado del espacio aéreo en la misma.

De cualquier manera los vuelos VLOS o FPV (dentro del rango visual directo del piloto) en zonas no pobladas de nuestra geografía, están permitidos sin tener que solicitar ningún permiso o autorización específica, siempre que sean vuelos diurnos y se cumplan las distancias máximas establecidas.

### **4.1.3. UAV y fotogrametría**

#### **4.1.3.1. ¿Qué es la fotogrametría?**

Como se ha mencionado anteriormente, la fotogrametría es una técnica que utiliza imágenes obtenidas de espacios o ubicaciones seleccionados para adquirir, estudiar y definir con precisión dimensiones y posiciones en el espacio o lugar seleccionado.

En otras palabras, la fotogrametría es la ciencia o técnica cuyo objetivo es obtener las dimensiones y posición de objetos en el espacio, a través de la medida o medidas realizadas de la intersección de dos o más fotografías, o de una fotografía y el modelo digital del terreno. Correspondiente este, al lugar representado, los cuales deben producirse con anticipación mediante la intersección de dos o más fotografías.[5]

#### **4.1.3.2. Tipos de fotogrametría[5]**

Existen tres formas de hacer fotogrametría:

- Fotogrametría analógica

Son los modelos matemáticos utilizados.

- Fotogrametría analítica

Se encarga de aplicar los modelos matemáticos a objetos físicos

- Fotogrametría digital

Con el surgimiento de los ordenadores, se sustituye la imagen analógica por la imagen digital, de igual forma se empiezan a utilizar programas informáticos. Actualmente la fotogrametría digital convive con la analítica.

Dos formas para la toma de fotografías:

- Fotogrametría Aérea





Son estaciones aéreas. El punto de vista es móvil y dota de un gran alcance de captación, pero no se conoce ni la posición de la cámara ni su orientación en el momento de la toma de datos, aunque con la nueva tecnología y la digitalización de los procesos resuelven esos problemas.

- Fotogrametría Terrestre

Las estaciones se encuentran a nivel del suelo. Existe un punto de vista fijo y por tanto se conocen sus coordenadas y la orientación del foco.

#### **4.1.3.3. Sectores de aplicación[6][7]**

Como ya se ha nombrado con anterioridad, esta tecnología permite realizar con precisión los mismos vuelos continuamente, es muy simple apreciar el avance de la construcción de una obra, así como también realizar delineaciones de terrenos, conocer las propiedades geométricas de un objeto, permite modelar una superficie en 3D, realizar planos, llevar a cabo mediciones (longitudes, áreas, volúmenes) y por lo tanto, asegurar la precisión durante la generación de mapas.

La fotogrametría mediante drones tiene muchas y múltiples aplicaciones, entre las que resaltan:

- Modelado 3D de terrenos, Elaboración de MD y generación de ortofotos actualizadas (Topografía)

Mediante el uso de las fotografías en alta resolución cruzadas con recursos topográficos se pueden realizar modelados precisos de cualquier tipo de terreno, así como generar curvas de nivel, trazar perfiles o crear modelos digitales de elevaciones.

La recreación de terrenos para la obtención de orto-fotografías. A través del uso de sistemas de información geográfica, se pueden obtener distancias, coordenadas, volúmenes, áreas...

- Análisis de infraestructuras

La velocidad del dron unida a su facilidad para acceder a terrenos y zonas peligrosas facilita analizar el estado de las infraestructuras y detectar fallos estructurales, corrosiones o roturas de una manera eficiente, segura y rápida.

- Arquitectura

A través de la creación de un modelo digital de elevaciones, es factible obtener curvas de nivel y perfiles.

- Arquitectura y Patrimonio

Replicar edificaciones para la obtención de modelos 3D

- Seguimiento de obras



Con la ayuda de la fotogrametría con drones se puede estudiar la evolución de un proyecto de obras en el transcurso de sus diferentes fases de ejecución.

- Estudios y mediciones en minas y canteras

En las explotaciones mineras se abarcan diversos riesgos dependiendo del tipo de excavación, los materiales y residuos, la toxicidad etc. Por medio del estudio fotogramétrico mediante drones se puede proceder a un estudio completo del estado de la explotación e incluso calcular volúmenes de los materiales extraídos mediante la medición fotogramétrica tanto en minería como en canteras de materiales.

#### 4.1.3.4. Ventajas y desventajas de su uso [6][8]-[10]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seguridad: Para la realización de topografía tradicional, era requerido que los topógrafos ascendieran a cotas altas y recorrieran taludes, necesitando poder tomar puntos de acopios de material, por lo que debe subir hasta la cota más alta de este, recorrer la superficie con el esfuerzo que ello pueda conllevar para poder plasmarlo, etc. incluyendola posibilidad de resbalar o tener cualquier percance en el desarrollo de la misma tarea. Con el uso de drones se maximiza la seguridad ya que no es necesaria la actuación física del topógrafo.</li> <li>- Eficiencia: Haciendo uso de UAV se consiguen se pueden conseguir millones de puntos con color; mientras que antes el topógrafo debía ir observando punto por punto, obteniendo solamente unas pocas coordenadas por jornada. Por tanto, la superficie analizada se representa con mayor precisión y se obtiene un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que se ajusta a la realidad.</li> <li>- valor visual. Nace la posibilidad de disponer de un documento gráfico con un histórico. De esta forma, es posible comparar visualmente la cantidad de variaciones que se pueden dar.</li> <li>- Plazos de entrega: se consigue reducir el tiempo de trabajo, por lo tanto, los costes de elaboración disminuyen. Antes de la llegada de los drones, los vuelos fotogramétricos se realizaban mediante aviones, lo que suponía un gran gasto y los plazos de entrega eran de aproximadamente un mes. Mediante un vuelo de un dron y la toma de puntos de apoyo, este tiempo se reduce a días.</li> <li>- lugares de trabajo: lugares que requieren este tipo de trabajos están alejados de las zonas urbanas, son perfectos para estos trabajos. También se puede acceder a terrenos de difícil acceso</li> <li>- no le influyen las condiciones climatológicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo de vuelo: la desventaja importante. Las baterías suelen dar un tiempo de vuelo limitado. Esto hace que el proceso de fotogrametría no sea todo lo eficiente que debería.</li> <li>- Labatería: la desventaja importante. Las baterías suelen dar un tiempo de vuelo limitado. actualmente se soluciona de una manera sencilla con la inclusión de un par de baterías con las que poder realizar varios vuelos. Bien es cierto que es el componente que más se está investigando en la actualidad para poder dotar de más tiempo de vuelo al dron</li> <li>- radio- alcance o distancia de vuelo: limitada por la ley vigente en España. Necesario que la persona que controla el dron se encuentre dentro de un radio determinado durante las medición. Actualmente esta distancia viene marcada en 500m de distancia respecto al punto de despegue para un vuelo BVLOS para un dron que se encuentre entre 2 y 25kg. Para el caso de un dron que su peso al despegue sea menor de 2kg esta distancia vendría dada por el radio de alcance de la emisión de radio de la estación de control.</li> <li>- Altura máxima autorizada: Actualmente limitada por la Ley vigente. la legislación española prohíbe los vuelos con dron a alturas superiores a los 120m, lo que hace que no sea ideal para todos los proyectos.</li> </ul>



### 4.1.3.5. Elementos fundamentales de la fotogrametría tradicional / características de la fotogrametría [11]

(Capítulo obtenido de "Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil" autor Elia Quiros)

- Escala de la fotografía.

Su elección es función de la escala de representación (escala del plano a representar) y del tamaño de los objetos que se pretende detectar.

La relación entre la escala de la imagen y la del plano que se trata de obtener por medio fotográficos, viene reflejada en el siguiente gráfico.

$$\text{Escala de imagen} \rightarrow M_b = \frac{1}{m_b} \tag{1}$$

$$\text{Escala de plano} \rightarrow M_k = \frac{1}{m_k} \tag{2}$$

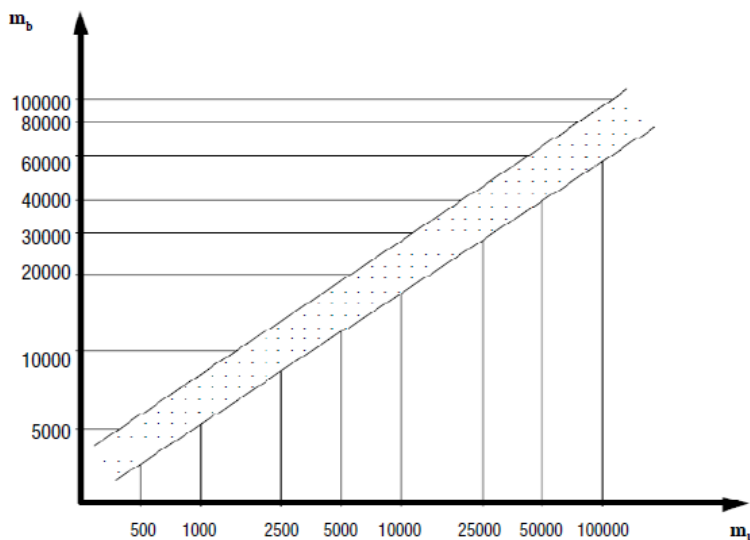


Figura 7. Relación entre la escala de la fotografía y la de la cartografía

Esta escala limita la detección del tamaño de los objetos. Sabiendo que el límite de percepción visual se haya en 0,2mm y si se usan aparatos de ampliación de imagen este límite se fija en 0,02mm, cada escala nos proporcionara un tamaño mínimo del objeto.

1:5000	1:10000	1:20000	1:300000
0,10 m	0,20 m	0,40 m	0,60 m

Tabla 4 Tamaño mínimo de elemento detectado con un instrumento de restitución.



- Distancia focal de la cámara.

Es un dato ligado a la cámara que se usara en el vuelo. Este dato esta calibrado y equivale a la distancia que existe desde el centro óptico del objetivo hasta el plano focal que es donde se captura la imagen. Es decir, esla medida que nos va a indicar cuánto nos vamos a acercar con nuestro objetivo al motivo fotográfico que queremos retratar[12]

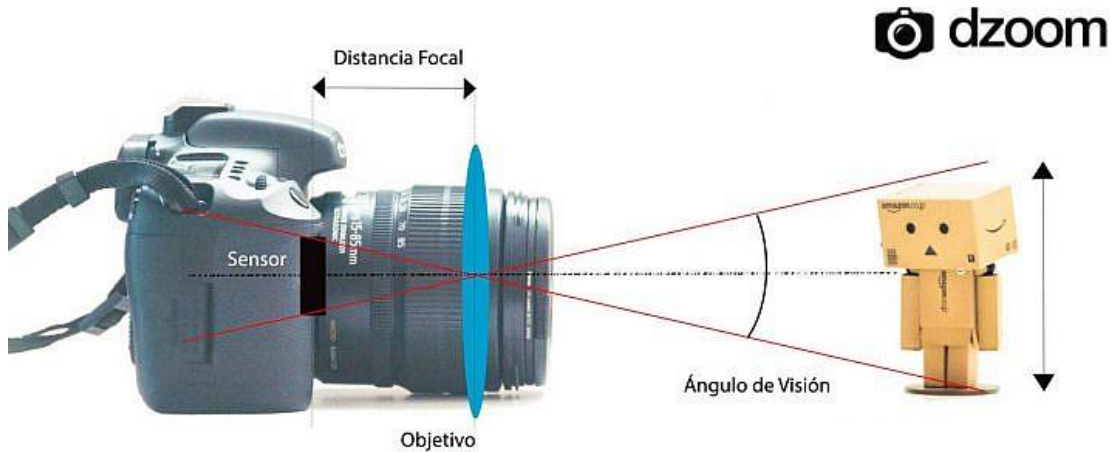


Figura 8 ejemplo distancia focal

- Altura del vuelo.

Esta magnitud está relacionada con la escala fotográfica y la distancia focal de la cámara.

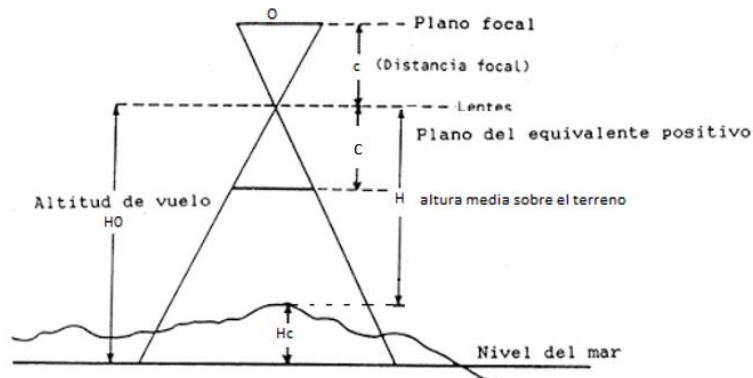


Figura 9 relacionada con la escala fotográfica y la distancia focal de la cámara[13]

Relación entre escala fotográfica y altura de vuelo

$$M_b = \frac{1}{m_b} = \frac{c}{H} \rightarrow H = c \cdot m_b \tag{3}$$

$$H_0 = H + H_c \rightarrow M_b = \frac{1}{m_b} = \frac{c}{H - H_c} \tag{4}$$

La altura H es la altura media sobre el terreno, que no es o no tiene nada que ver con H0, que es el dato del altímetro, siendo esta la altura de vuelo sobre el nivel del mar. La altura de vuelo sobre el nivel medio del mar H0 (dato del altímetro) vendrá dada por la altitud del nivel de referencia en función del relieve del terreno.

- **Principio básico de la fotogrametría**

Este principio básico es el desplazamiento o movimiento radial que experimenta un punto en el fotograma a consecuencia de su altitud.

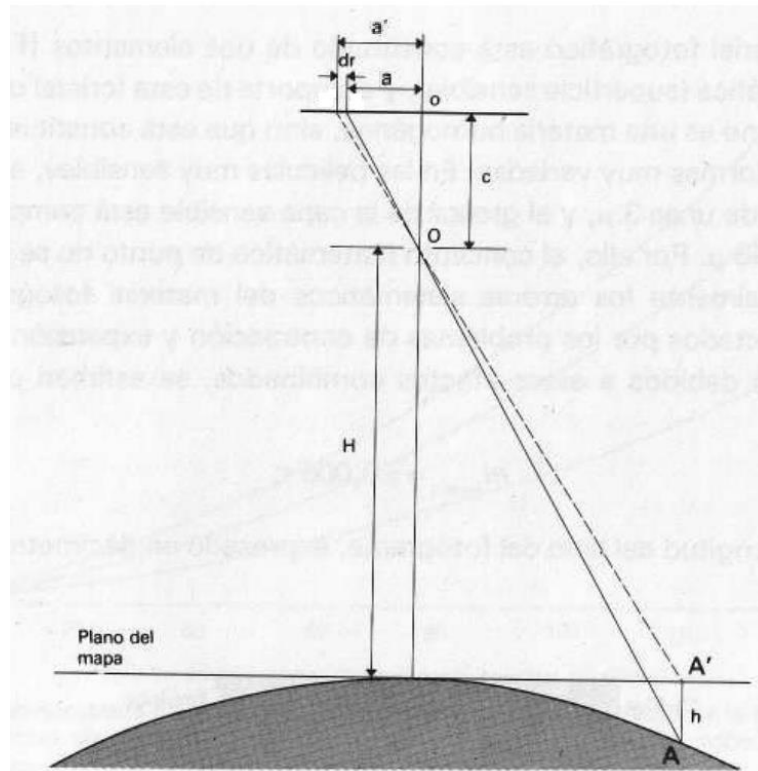


Figura 10 desplazamiento de un punto debido al relieve[14]

Se deduce que la altura del punto sobre el nivel del mar como

$$\frac{H}{a} = \frac{h}{a - a'} \quad (5)$$

La altura del punto sobre el nivel de referencia

$$h = \frac{a - a'}{a} \cdot H \quad (6)$$

• **Técnica de fotogrametría**

La técnica de la fotogrametría se basa en el principio de la estereoscopia para conseguir, a través de imágenes del terreno, tomadas desde dos puntos de vista, recrear el relieve del mismo.

La visión estereoscópica natural se fundamenta en la capacidad que los seres humanos tienen para apreciar el relieve de las cosas. Este proceso es un conjunto de captura de imagen a través de la visión y un proceso mental de unión en el cerebro, produciéndose una única imagen en relieve.

La visión estereoscópica artificial es una reproducción de la natural, en la que el espectador no se encuentra frente al objeto y en su lugar, se observan dos imágenes tomadas desde puntos de vista diferentes generando así, la visión en relieve.

- **Paralaje estereoscópico.**

Se define como paralaje, el cambio de posición de la imagen de un punto en dos fotografías debido al cambio de posición de la cámara en el momento de la toma.

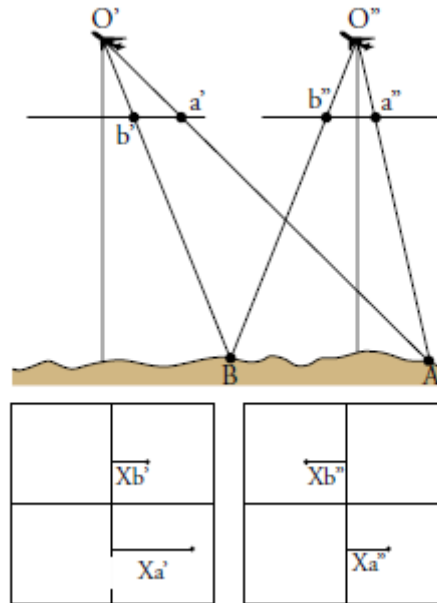


Figura 11. Paralaje estereoscópico.

Se llama paralaje a:

$$P_a = xa' - xa'' \tag{7}$$

$$P_b = xb' - xb'' \tag{8}$$

La cota de cada punto respecto al plano de referencia se puede deducir mediante la relación paralaje-cota:

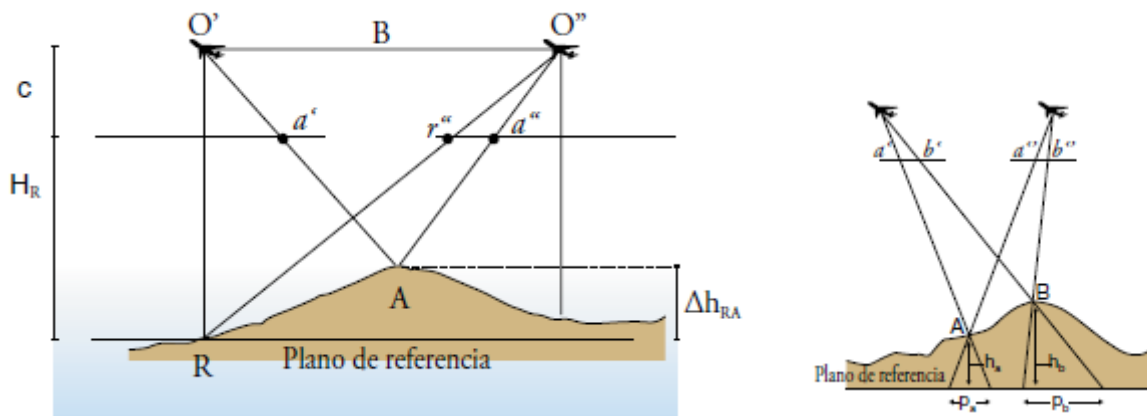


Figura 12. Relación Paralaje-Cota.

$$\frac{H_R}{B} = \frac{c}{P_R} \quad (9)$$

Para A de Figura 12  $\frac{h_a}{B} = \frac{c}{P_A}$  siendo  $P_a = xa' - xa''$  (10)

El paralaje de cualquier punto se vincula directamente con la elevación de altura de un punto respecto al nivel de referencia y es más grande para elevaciones más altas que para elevaciones bajas, conservando un ángulo de vista constante.

El dato relevante a obtener es la altura de ese punto respecto al nivel de referencia, siendo este el aumento de cota que hay entre el nivel de referencia y el punto A.

$$\Delta h_{RA} = \frac{H_R \cdot \Delta P_{RA}}{P_A} \quad (11)$$

#### 4.1.3.5.1. Mínimas características o características de la imagen digital

A día de hoy, casi todas las imágenes fotogramétricas tienen formato digital, ya sean por cómo han sido capturadas por un sensor digital, o por que han sido transformadas a un formato digital mediante un escaneo fotogramétrico.

Al proceso de adquirir imágenes digitales se le llama digitalización y radica en la descomposición de la imagen real en una matriz discreta de puntos de un tamaño definido, donde cada uno tiene un valor proporcional a su nivel de color.

La imagen digital es una matriz bidimensional en la que cada unidad mínima de información es un pixel (picture x element) con coordenadas fija, columna (i,j). Cada pixel, debe tener un valor llamado Nivel Digital (Nd) que es simbolizado por un nivel de gris en la pantalla. El número digital puede representar información de múltiple naturaleza, así puede ser proporcional a las características físicas del área (radiancia, reflectividad, transmisividad, emisividad) o bien equivaler a valores resultantes de la manipulación de la información original a través de técnicas de análisis de imágenes.

Esta configuración se corresponde con una imagen monobanda (una única matriz y que se visualiza en niveles grises). Las imágenes también pueden ser a color. Estas son llamadas imágenes RGB (Red Green Blue), compuestas por tres matrices y ocupan el triple de espacio en comparación con una monobanda, ya que cada matriz posee sus propios niveles digitales.

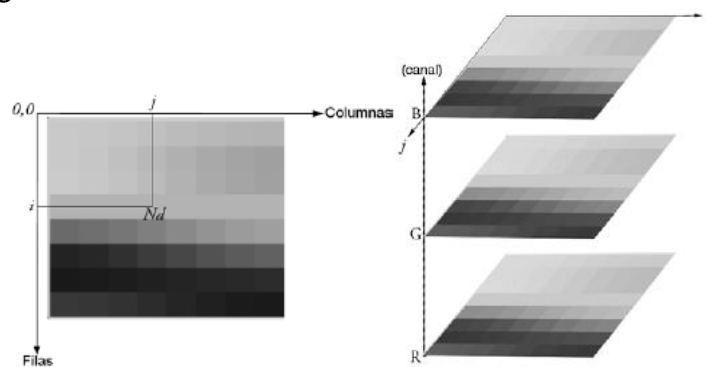




Figura 13. Imagen digital. Imagen digital en RGB.

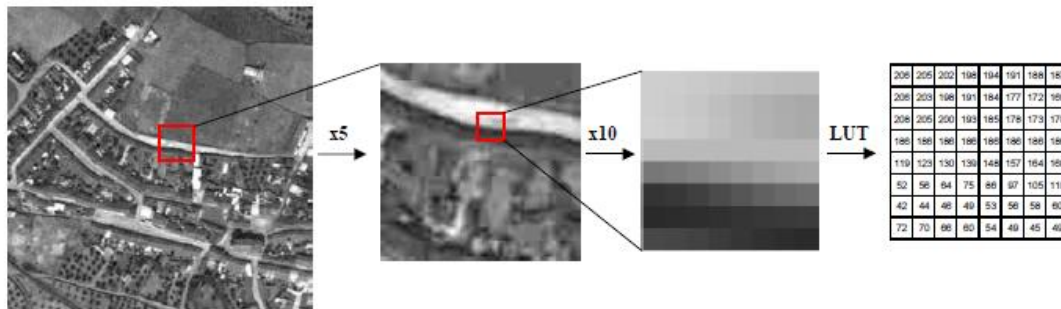
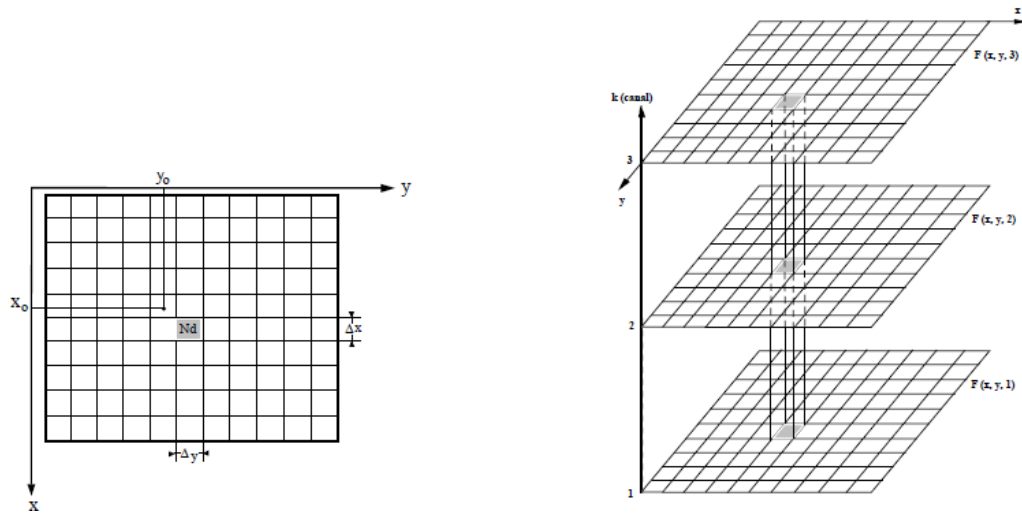


Figura 14. Imágenes digitales. RGB[15]

En las imágenes pancromáticas (monobanda) el tono de la señal está representado, habitualmente, por 8 bits (1 byte). Con esta dimensión se tiene la posibilidad de codificar  $2^8$  tonos de gris = 256 tonos (0 a 255). Esta cifra que en principio puede parecer poca, aun así, es suficiente para todas las aplicaciones teniendo en cuenta que el ojo humano sólo puede distinguir aproximadamente 200 tonos. Generalmente la correspondencia que se aplica entre el valor digital y el tono (tabla de consulta o look up table –LUT–) es negro (0) y blanco (255).

- Resolución

Es calidad de una imagen y depende del tamaño del pixel. Si el tamaño de este es demasiado grande, la imagen pierde información. Por el contrario, si es demasiado pequeño, la imagen tendrá mucha calidad. Como inconveniente, también es necesario mucho espacio de almacenamiento.

La resolución se expresa en ppp (píxeles por pulgada).

En imágenes aéreas, la resolución se denomina espacial y tiene correspondencia directa con el tamaño del pixel en el terreno (GSD).



- Dimensión

Esta propiedad indica el ancho y alto de la imagen. La dimensión se expresa en cm, pulgadas o píxeles.

- Profundidad de color

Corresponde con el número de bits utilizados para describir el color de cada pixel. Cuanto mayor sea la profundidad, más colores habrá por imagen.

Profundidad	Colores ( $2^n$ b)
1 bit	2
4 bit	16
8 bit	256
16 bit	65536
32 bit	4294967296

Tabla 5. Profundidad de color

- Tamaño del archivo

Cantidad de memoria necesaria para almacenar la información de la imagen. De otra manera, el número de bits que se necesitan para almacenar esta imagen en función de la resolución de su largo, ancho y la profundidad. Será el triple si se almacena en color.

$$\text{Tamaño} = R^2 \cdot L \cdot A \cdot P$$

R= Resolución (ppp)

L y A = Largo y Ancho (pulg)

P= Profundidad de color

(12)

Inconvenientes, será necesario un elevado volumen de almacenamiento. Se debe tener en cuenta, que para un proyecto fotogramétrico de dimensiones no muy elevadas, se compone de numerosas imágenes.

- Compresión de imágenes

Debido al punto anterior, se debe tener en cuenta la compresión de imágenes digitales debido al gran volumen de imágenes con calidad necesaria para llegar a un producto final óptimo. Con ello se reduce el espacio de almacenamiento.

Comprimir una imagen es reducir la cantidad de datos requeridos para representar la imagen digital. Esta técnica se fundamenta en la eliminación de todos los datos redundantes que existen en la imagen. A más redundancia exista en la imagen, más compresión puede sufrir. La tasa de compresión (o ratio de compresión) se define como la relación entre el número de bits de la imagen original dividido por el número de bits de la imagen comprimida.

En las imágenes digitales nos podemos encontrar con tres tipos básicos de redundancias:

- Redundancia espacial, es la debida a la correlación entre el nivel de gris de un pixel y el correspondiente de los vecinos próximos.
- Redundancia espectral, debida a la correlación entre el nivel digital correspondientes a las diferentes bandas (imágenes multispectrales).
- Redundancia temporal, debida a la correlación entre imágenes tomadas en distintos momentos (imágenes de vídeo).

Se debe tener mucho cuidado con esta técnica, ya que muchos de los algoritmos de compresión producen pérdidas de información irreversibles que reducen la calidad de la imagen.

La diferencia más grande que existe entre los algoritmos de compresión es que algunos, pierden información para reducir aún más el tamaño del archivo. Estos son llamados algoritmos con pérdidas. Al descomprimir una imagen para mostrarla en pantalla, no son capaces de reproducirla exactamente como la imagen original, sufriendo por tanto, una pérdida de información. Esta pérdida es mínima y el ojo humano no puede apreciarla. En los casos en los que la métrica de la imagen es el principal uso de la misma, hace imposible la utilización de este tipo de algoritmos de compresión.

En el caso de la fotogrametría, los únicos algoritmos que se deben utilizar son los algoritmos sin pérdida, de manera que, aunque no reducen en exceso el tamaño de las imágenes, mantienen la integridad de la misma, algo fundamental para conservar también sus propiedades métricas.

También se debe tener en cuenta el método de compresión que se usan en los distintos formatos de imágenes disponibles en mercado, ya que no todos son soportados por los programas a utilizar para este tipo de procedimientos. Si bien, actualmente, se está tendiendo a estandarizar todos los procedimientos. Los más conocidos son:

- Transformación discreta de cosenos (TDC).

Método de compresión usado en el formato JPG, siendo este, un algoritmo de compresión con pérdida.

La TDC logra concentrar la mayor parte de la información en un número reducido de coeficientes transformados. De esta manera, solo hay que codificar esos pocos coeficientes para obtener una buena representación de todo el bloque de la imagen.

El objetivo de la TDC es convertir las variaciones de intensidad a componentes de frecuencia con la finalidad de poder eliminar las altas frecuencias (el ojo humano es poco sensible a ellas) pero conservando las bajas frecuencias:

- Componente de Alta frecuencia: cambios de brillo grandes en áreas pequeñas.
- Componente de baja frecuencia: cambios de brillo pequeños en áreas grandes.

- Lempel Ziv Welch (LZW).

Este algoritmo es sin pérdidas que se utiliza en formatos tipo GIF o TIFF. Cuando se produce una secuencia de píxeles similar a otra anterior, se sustituye dicha secuencia por una clave de dos valores: Los correspondientes a cuantos pasos se repiten y cuantos datos se repiten.

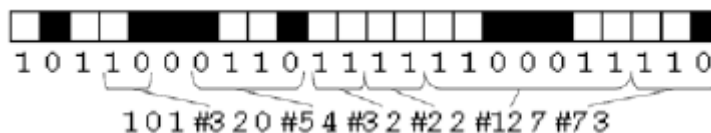


Figura 15. Compresión LZW



- Transformación discreta wavelet (TDW).

Se usa en el formato ECW.

Este algoritmo representa la imagen según la idea de multirresolución. Desglosa la imagen original de manera iterativa generando series de imágenes (2x2 sub-imágenes) con la mitad de resolución en cada nivel.

El nivel de descomposición de la imagen la precisa el usuario y se encriptara el nivel maximo, que tendrá un código más reducido que el de la imagen original.

El algoritmo podrá reproducir la imagen original al descomprimirla, solo hasta un cierto nivel de descomposición de la imagen. Por consiguiente, es un algoritmo sin pérdidas hasta un ratio de compresión de 2:1 o 3:1, para compresiones mayores, sí que tendría pérdidas.

- Pirámide de imágenes.

Es una herramienta que usan la gran mayoría de los restituidores digitales, que economiza en gran medida el proceso de cálculo en muchas de sus fases.

La pirámide de imágenes no es una técnica de compresión, pero sí es un método de reducción de los procesos de cálculo y por esa razón, del volumen de información con la que los restituidores trabajan. La pirámide se basa en la multirresolución. El pilar fundamental o base de la pirámide será la imagen a resolución original y después, se va almacenando en memoria imágenes a resoluciones más bajas sucesivamente.

Los formatos más utilizados en fotogrametría son:

- TIFF: comprimido o sin comprimir es el formato más implantado en fotogrametría.
- ECW: con ratio de compresión pequeño, se utiliza sobre todo en la generación de ortofotos.
- SID: formato comprimido similar al ECW.

Y todos los formatos propios de cada sistema fotogramétrico digital, tales como RSW (Photomod) PIX (PCI geomatic) IMG (Erdas imagine) etc.

- Calidad de la imagen [15]

Para evaluar la calidad de la imagen es preciso considerar la geometría y la radiometría del pixel.

- Geometría

Para asegurar que no se pierde información, la resolución del pixel debe adaptarse a la resolución de la fotografía. Si expresamos la resolución fotográfica por R expresada en líneas dobles por milímetro (lp/mm) y aceptando la fórmula empírica:

$$\Delta D (mm) < \frac{0,7}{2R}$$

Siendo  $\Delta D$  el intervalo de barrido (digitizing interval). Si aplicamos tal criterio a fotografías aéreas de bajo poder de resolución, por ejemplo de 50 lp/mm:

$$\Delta D = 7 \mu m$$

Umbral que hoy se acepta como tamaño ideal del pixel en fotogrametría digital.



#### - Radiometría

Un parámetro de gran importancia para evaluar la calidad radiométrica de una imagen digital es el "bit number". El bit (dígito binario) es la unidad básica de información digital y se expresa por:

$$\text{bit} = \log_2 I$$

El número de niveles de grises G se expresa:

$$G = 2^m \text{ (m= bit number)}$$

Los parámetros poder de resolución y número de niveles de grises son los que definen con mayor entidad la calidad de una imagen digital.

#### ▪ Ruido

La mayoría de las señales están sujetas a ruido, el cual viene causado por diversas fuentes, entre las más importantes:

- Procesos eléctricos, debido a defectos en la correcta medición de la señal.
- Ruido oscuro actual o cuantificado, ocasionado por el intervalo a tener en cuenta en la medición de la señal y su equivalente a un valor concreto.

El aspecto más importante en la señal es la razón entre el valor efectivo de entrada de la señal (s) y el nivel de ruido (N) o también razón señal / ruido (S/N). Con ella calculamos la calidad de la medición de la señal y en un sensor de imágenes, se determina el máximo contraste posible en una imagen.

El ruido se puede expresar en decibelios mediante:

$$S / N = 10 \log \left( \frac{\text{señal eléctrica}}{\text{ruido eléctrico}} \right)$$

#### - Tratamiento digital de imágenes [11]

Antes de empezar con el proceso fotogramétrico, es posible realizar un pre-procesamiento de las imágenes a fin de mejorar la calidad visual, de las mismas. Esto consiste en el tratamiento digital de imágenes.

- Histograma de las una imagen.

El histograma representa la probabilidad de aparición de un determinado nivel digital en la imagen. Una imagen tiene un único histograma que pone de manifiesto su contraste y la homogeneidad de la misma.

Si es con niveles de gris, es una función discreta que da una idea del valor de la probabilidad de que aparezca un nivel de gris concreto. Esta función, para todos los valores de gris, aporta una descripción global de la apariencia de la imagen.

Se considera que una imagen dispone de un buen contraste si su histograma se prolonga ocupando casi todo el rango de tonos.

Una imagen RGB vendrá representada por su pertinente histograma en cada uno de sus canales

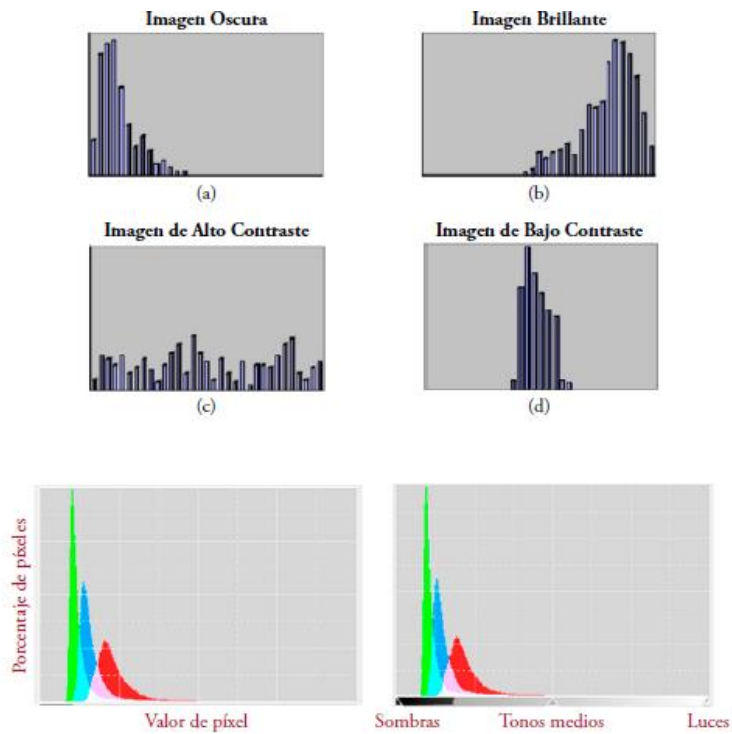


Figura 16. Filtros

- Técnicas de realce de la imagen

La ecualización del histograma es una operación encaminada a distribuir de manera uniforme los niveles de gris entre los píxeles de la imagen. Este proceso asigna mayor rango de nivel digital de la imagen de salida a los niveles digitales más frecuentes en la imagen de entrada. De ahí que, en la imagen realzada quedan mejor contrastados los niveles de gris ocupados por más celdas en la imagen primitiva.



Figura 17. Histograma[16]

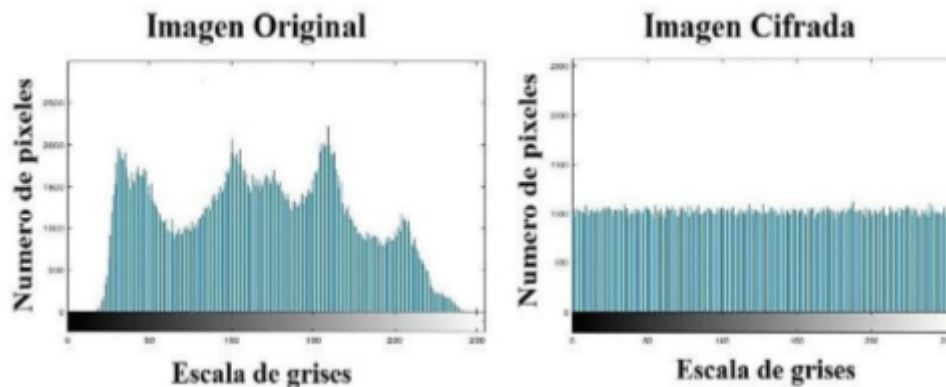


Figura 18. escala de grises imagen[17]

Los realces más frecuentemente aplicadas son:

- Realce lineal.
- Realce lineal con saturación.
- Realce logarítmico o exponencial.

- Filtros

Un filtro es un proceso matemático que radica en aislar componentes de interés, reforzando o suavizando los contrastes espaciales de nivel de gris que componen una imagen. En otras palabras, se trata de modificar los niveles digitales iniciales de cada pixel para que se parezcan o diferencien más de sus vecinos. Consiste en una matriz que se traslada por toda la imagen original y que contempla los valores de los pixeles vecinos para asignar el Nd del pixel en la imagen filtrada. Dependiendo del tipo de matriz con la que se filtre la imagen original, se producirán unos efectos u otros en la imagen filtrada.

- Filtros suavizantes y de paso bajo

Se usan para hacer que en la imagen aparezca algo borroso y también para mitigar el ruido. Trata de equiparar el nivel de gris de cada elemento al de los adyacentes obteniendo un suavizado de los ruidos de fondo.

Entre los filtros suavizantes se encuentran el filtro de la mediana, de la media, el difuminado lineal y el difuminado gaussiano (El valor de cada punto es el resultado de promediar con distintos pesos los valores vecinos a ambos lados de dicho punto).

- Filtros realzantes y de paso alto

Se emplean para reforzar el contraste en la imagen y potenciar detalles que están difuminados.

Algunos de estos filtros son los de enfoque, enfocar bordes, Sobel (calcula el gradiente de la intensidad de una imagen en cada pixel) etc.

En la fotogrametría las imágenes pueden ser manipuladas hasta cierto límite. No se puede exceder el uso del retoque puesto que un manipulado excesivo podría conllevar una distorsión de los datos métricos originales. Tanto los retoques como los realces y todas las técnicas posibles que se puedan realizar en las imágenes deben estar adjuntadas o reflejadas en el pliego de condiciones.



#### 4.1.3.5.2. Equipamiento para vuelo fotogramétrico [15][11]

Las cámaras que se utilizan son cámaras métricas, calibradas y con una geometría tal, que producen resultados óptimos y veraces.

Las cámaras aéreas analógicas han sido usadas hasta la actualidad, pero comienzan ya a quedar obsoletas, están siendo sustituidas por las nuevas cámaras digitales.

##### - Cámaras fotogramétricas analógicas

Las cámaras fotogramétricas analógicas son aquellas cámaras en las que la imagen se graba de forma inmediata en un carrete fotográfico.

Estas imágenes analógicas convencionales se digitalizan mediante escáneres. Se requiere que el intervalo de digitalización (tamaño del pixel) sea igual a la resolución de la fotografía, con objeto de evitar pérdidas de información y que además se conserve la precisión.

La configuración de un escáner depende del tipo de fotodetector utilizado. Los tipos de fotodetectores empleados son fotomultiplicador y CCD (Charge Couple Devices). Los primeros únicamente pueden usarse como elemento simple (lineal) mientras que los CCD se combinan formando matrices lineales o rectangulares.

#### Características generales de los escáneres

##### Fotogramétricos:

Tamaño de pixel = 10 micras (mínimo).

Rango dinámico: 0.1 - 2.5 (B/N) y 0.1 - 3.5 (Color).

Ruido de imagen: 0.02 - 0.03 D.

Precisión geométrica: 3 micras mínimo.

Resolución radiométrica (sensibilidad): 8 bits (B/N) y 24 bits color.

Superficie mínima de escaneo: 23 x 23 centímetros.

Correcta calidad en la formación del color.

##### Artes gráficas:

Tamaño de pixel de hasta 12.5 micras.

Rango dinámico: 0.1 - 2.5 D (B/N) y 0.2 - 3.5 D (Color).

Permiten mayor ruido que los fotogramétricos.

Alta resolución radiométrica.

Baja precisión geométrica.

##### - Cámaras digitales [11]

En una cámara digital, el plano focal de la cámara es reemplazado por un sensor con minúsculas células fotoeléctricas que registran la imagen.

La forma de colocación de los CCD (Charge-Coupled Device) derivan en a dos tipos de cámaras fotogramétricas digitales.

- Sensores digitales aerotransportados (ADS).

El diseño de los sensores digitales aerotransportados debe contemplar las necesidades de los usuarios que los solicitan, para tener oportunidades con respecto a las cámaras convencionales de película. Las características fundamentales demandadas a dichos sensores aerotransportados son:

- Gran ángulo de campo y anchura de barrido, para economizar al máximo el número de pasadas necesarias para cubrir un área.





- Alta resolución y precisión, tanto de carácter geométrico como radiométrico, con el objeto de satisfacer al mayor número posible de usuarios que requieran dichas resoluciones y precisiones.
- Capacidad de proporcionar imágenes multispectrales, cada día más utilizadas, con aplicación en la elaboración de cartografía ambiental y de recursos naturales
- Capacidad de proporcionar imágenes estereoscópicas, que encuentren su adecuado tratamiento en los sistemas fotogramétricos digitales actualmente existentes, facilitando su carácter estereoscópico la extracción de información de las mismas.

- Cámaras lineales[11]

Dispone de tres líneas paralelas de 12K sensores, transversales a la dirección de vuelo. Esta líneas disponen de diferentes inclinaciones: delantera, nadiral y posterior.

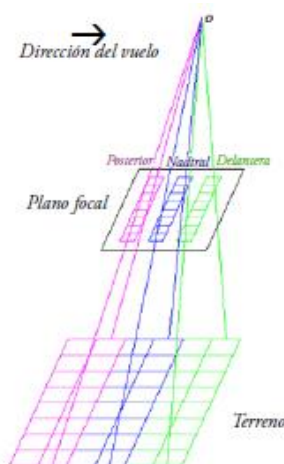


Figura 19 cámara fotogramétrica lineal[11]

De este modo, tras la ejecución de una pasada, lo que se produce son tres bandas continuas de imágenes compuestas por cada una de las líneas capturadas por los sensores.

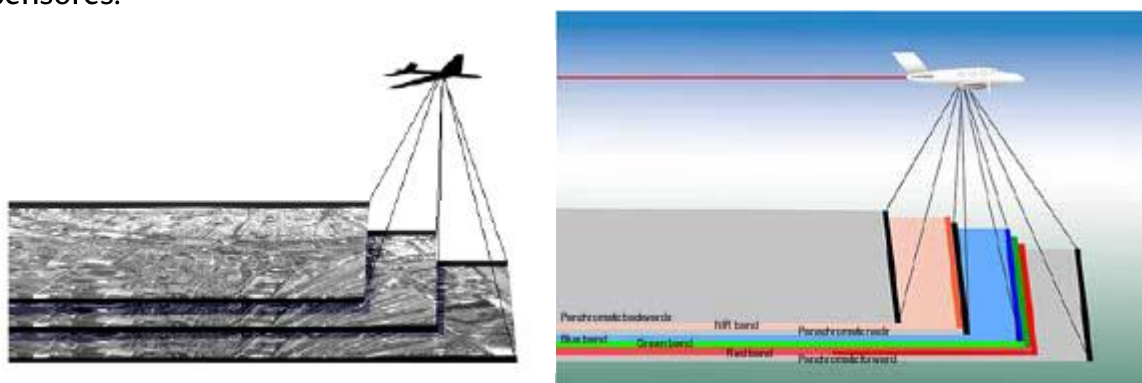


Figura 20. Toma fotogramétrica de una pasada con cámara lineal[11]

Por tanto, una gran ventaja de este tipo de cámaras es que todos los puntos del terreno figuran en tres imágenes. Este registro implica que todos los puntos son capturados bajo la dirección nadiral del avión. Al capturar todo el terreno de forma vertical, se contribuye

en buena parte a la generación de las ortofotos verdaderas, dado que los elementos elevados no aparecerán desplazados en la fotografía. No obstante, cada línea dispondrá de su propio centro de proyección y no se tendrá en cuenta como una toma fotogramétrica con geometría típica. Este aspecto dificulta bastante los cálculos del proceso fotogramétrico. Por ello, este tipo de cámaras requiere estar complementada por un sistema de posicionamiento y sistemas inerciales INS/ IMU que recoja datos y coordenadas de cada línea.

- Cámaras matriciales [11]

Este tipo de sensores son similares a las cámaras aéreas analógicas en lo que respecta a composición. Las cámaras matriciales disponen de 1Kx1K elementos sensoriales (1024x1024píxeles), 2Kx2K, 3Kx2K, 4Kx4K, 4Kx7K, 7Kx9K, 5Kx10K, 9Kx9K. De ellos, los más habituales son los de 3Kx2K y 4Kx4K, de la misma forma que las lineales, también permiten capturar en otros rangos del espectro electromagnético.

A este tipo de sensores también se les equipa de sistemas GPS e INS durante el vuelo, pero esas dotaciones no son indispensables como en el caso anterior, ya que la geometría de la captura, es igual a la de una cámara analógica.

Una de las cámaras matriciales más modernas conjunta varios objetivos en su plano focal, generando imágenes matriciales parciales que se combinan en una imagen completa en postproceso, de 17310 x 1131 píxeles.

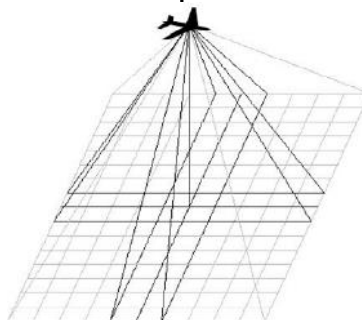


Figura 21 toma imágenes cámara matricial

- Comparación entre cámaras

	Ventajas	Desventajas
<b>Lineales</b>	Registro continuo de todo el terreno desde tres puntos de vista.	Sistema GPS: dependiente de estaciones en tierra a menos de 30Km.
	Mayor resolución	El objetivo ha de estar abierto Permanentemente.
	No necesitan mucha corrección radiométrica.	Es necesario implementar un nuevo flujo de trabajo (ya no existen modelos estereoscópicos) y de software.
<b>Matriciales</b>	Su geometría es igual a la de las fotografías analógicas	Tienen menor resolución.
	No necesitan sistemas GPS	

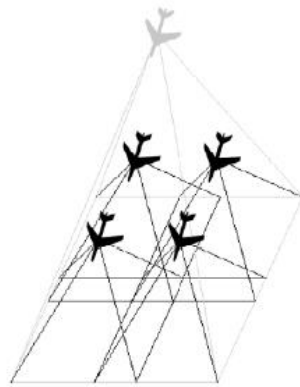


Figura 22. Ventaja de las cámaras lineales con respecto a las matriciales

#### 4.1.3.6. Proceso fotogramétrico[11]

Se comprende cómo proceso fotogramétrico a todas las etapas o fases consecutivas que suponen la producción cartográfica en base a fotografías, generalmente aéreas.

El proceso empieza con la toma imágenes de la zona y finaliza con la obtención de coordenadas tridimensionales de dicha zona. Luego, esas coordenadas, pueden dar lugar a diversos productos, entre ellos, modelos digitales de elevaciones, ortofotos etc.

El problema fundamental de la fotogrametría radica en la reconstrucción de la posición de un par de frames justo como se hicieron en el instante de la toma, para así, por analogía geométrica, poder medir coordenadas tridimensionales del área capturada en la zona de recubrimiento.

En principio, los datos de partida son dos o más imágenes es en formato digital. Además de lo anterior, es necesario obtener coordenadas en el campo de puntos con objeto de orientar el trabajo en un sistema de referencia en particular y obtener una verificación para poder asegurar la calidad del producto.



Figura 23. Fases del proceso de control digital

- Orientación interna

Consiste en un método de transformación del sistema de coordenadas pixel (fila, columna) al sistema de coordenadas de la cámara formuladas en mm y referidas a un sistema cartesiano 3D cuyo origen está en el centro de proyección de la cámara.

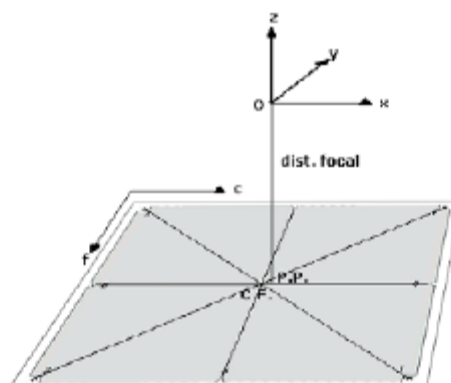


Figura 24. Transformación de coordenadas en la orientación interna



Realizando este proceso se solucionan los siguientes errores:

- En caso de fotografías analógicas, si el punto principal no coincide con el centro fiducial y si la película fotogramétrica ha sufrido deformación.
- Distorsiones del objetivo. Todos los objetivos poseen una distorsión que viene cuantificada en el certificado de calibración de la cámara. En algunas ocasiones es positiva y en otra es negativa.

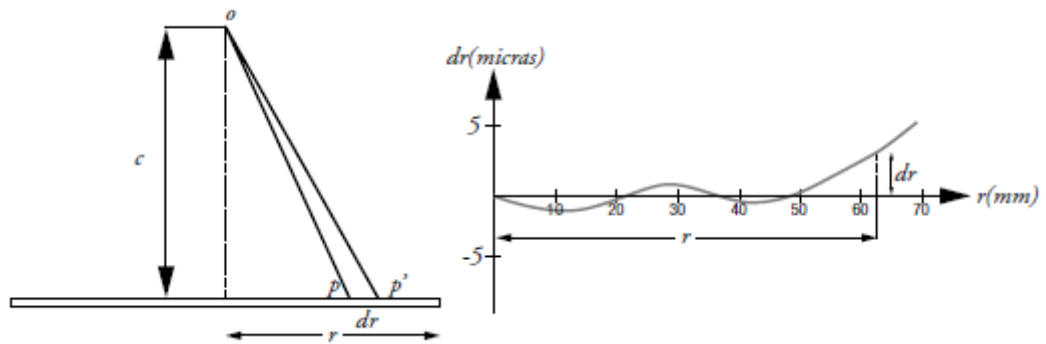


Figura 25. Efecto de las distorsiones del objetivo

- Refracción atmosférica. Hace que la visión de los puntos aparezca en los fotogramas, más alejada del centro de lo que en realidad están.

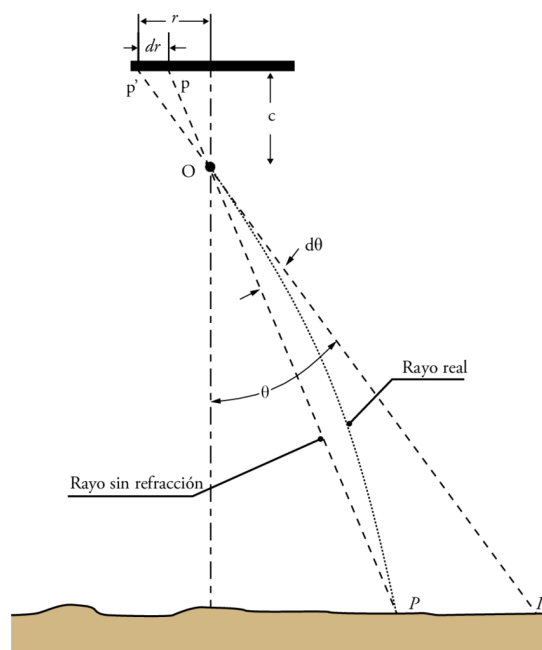


Figura 26 Efecto de la refracción atmosférica

- Esfericidad terrestre. Produce una aproximación de los puntos al centro de la imagen.

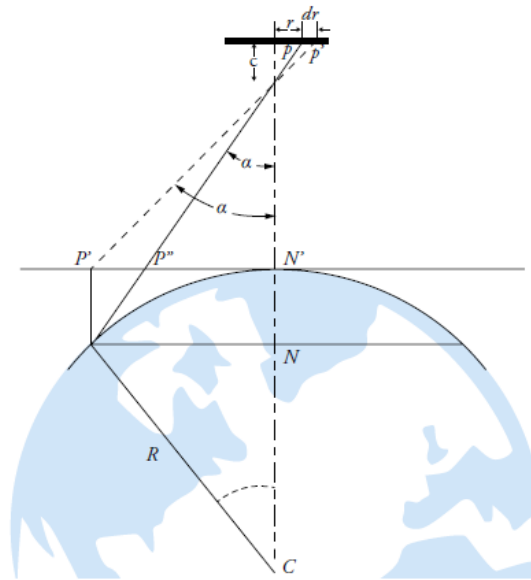


Figura 27 Efecto de la esfericidad terrestre

Aunque se está hablando sobre imágenes digitales cabe distinguir el proceso de orientación interna para ambos tipos de imágenes, analógicas y digitales.

- Orientación interna con cámaras analógicas

Se lleva a cabo en dos pasos:

1. Introducción de datos de calibración de la cámara
  - Distancia focal calibrada
  - Distorsiones del objetivo
  - Coordenadas de las marcas fiduciales en el sistema de coordenadas de la cámara.
2. Se determinan las coordenadas de las señales fiduciales en el sistema de coordenadas imagen.

De esta manera, son conocidas las coordenadas de las marcas fiduciales en los dos sistemas de coordenadas. Si estamos en el sistema de coordenadas por píxeles por que los medimos y en el caso del sistema de la cámara, porque las dan en el certificado de calibración.

Con ambos grupos de coordenadas, se calcularán los parámetros de conversión entre los dos sistemas. Esta transformación puede ser afin o proyectiva. Depende de lo sea necesario se selecciona una u otra en función de las exactitudes y precisiones requeridas. El proceso de medición de las marcas fiduciales en los restituidores digitales de última generación suelen ser automáticos. En algunos casos la operaciones es no automática, el operador tiene que indicar el centro de cada una de las marcas fiduciales. En otros casos se puede considerar semiautomática ya que con indicar manualmente las marcas fiduciales en el primera fotografía del proyecto sería válido, si se marcaran todas, estaríamos en el proceso manual.



- Orientación interna con cámaras digitales.

Consiste únicamente en la identificación de la posición del punto principal de la imagen, en lo que respecta al centro de la imagen digital (fila, columna).

A la imagen digital no le hace falta disponer de puntos fiduciales, por ese motivo el proceso es completamente automático. Lo único que se debe fijar son los parámetros de calibración de la cámara.

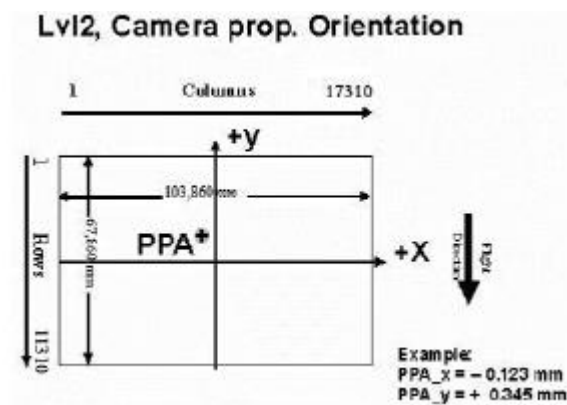


Figura 28. Orientación interna con cámaras digitales

- Orientación relativa

Esta es el paso del proceso en la que se vinculan geoméricamente las imágenes estereoscópicas, construyendo el modelo.

Este punto consiste en detectar puntos homólogos en cada imagen para después reconstruir haces y generar el modelo.

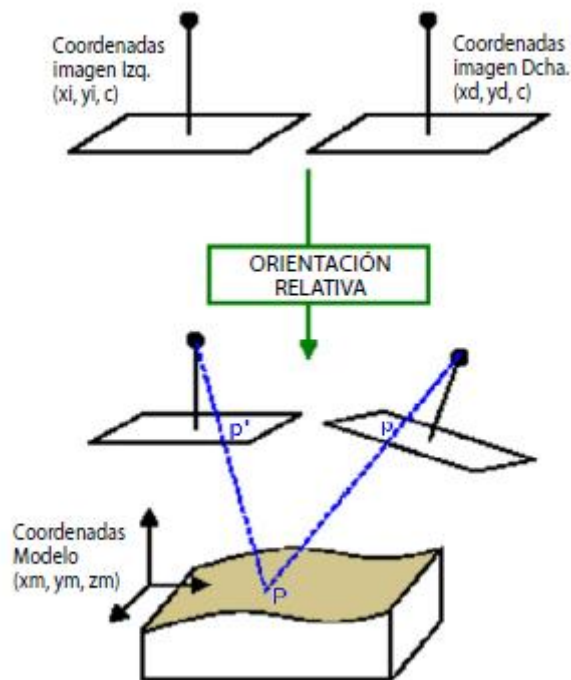


Figura 29. Orientación relativa

La reconstrucción de los haces se produce por la condición de coplaneidad, que exige a que se encuentren los dos centros de proyección de los puntos de imágenes homólogos y el punto terreno en un único plano.

La orientación relativa se habrá efectuado correctamente si se produce la intersección de todos los haces homólogos. El mínimo número de puntos de intersección para alcanzar la formación del modelo es de 6, dispuesto de forma según Vön Grüber. Este número será el mínimo, si estos se establecen de forma manual en cada imagen.

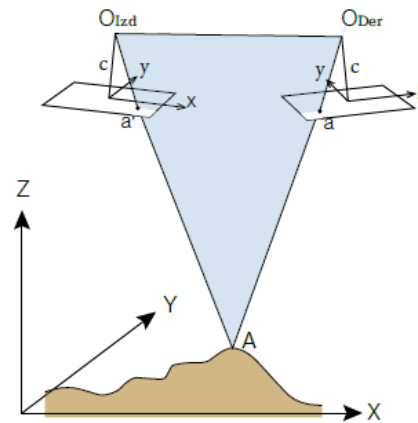


Figura 30. Condición de coplanalidad

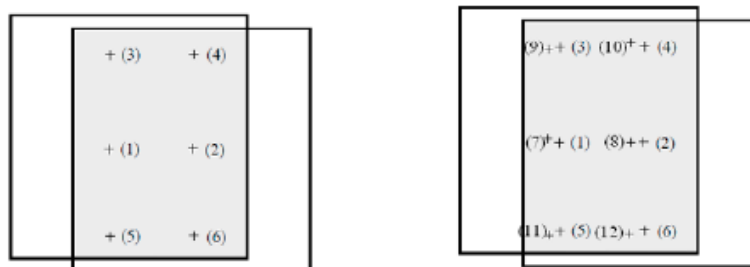


Figura 31. Distribución de Von Grüber / distribución de Von Grüber en orientación relativa automática

Si los restituidores son digitales proponen la posibilidad de ejecutar este proceso de forma automática, mediante técnicas de correlación. Haciendo uso de esta técnica habrá que incrementar el número de puntos a lo llamado puntos dobles en la distribución de Vön Grüber.

Aunque este proceso se lleve a cabo de forma automática, exige una revisión exhaustiva por parte de un operador, ya que en función de la técnica de correlación, a veces los puntos seleccionados por restituidor no son los adecuados.



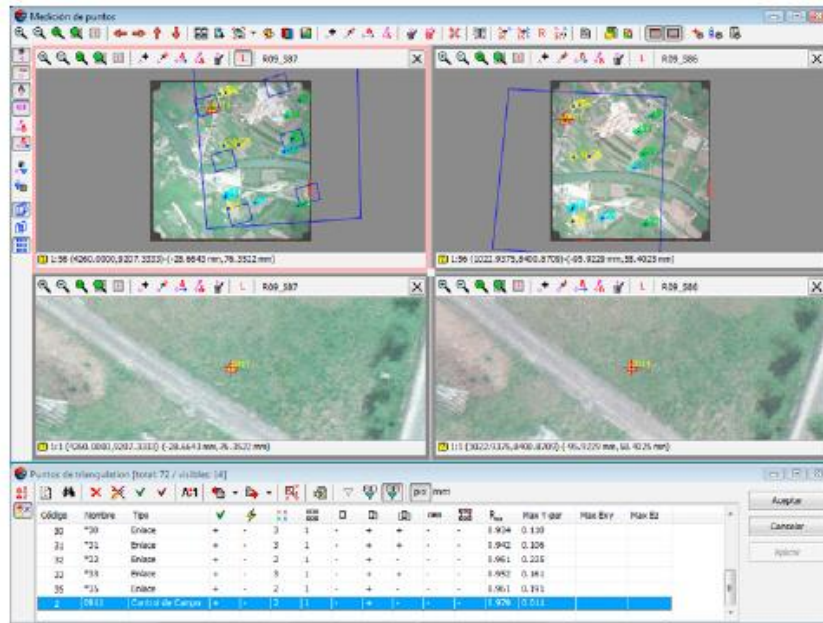


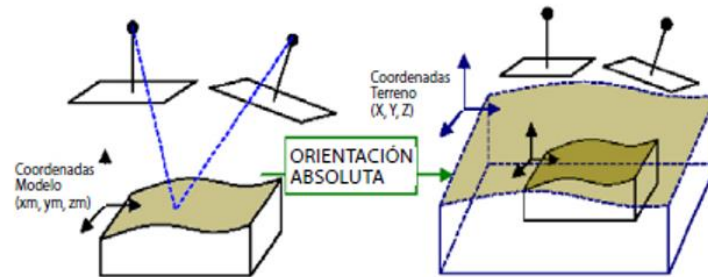
Figura 32. Proceso orientación relativa digital

- Orientación absoluta

Consiste en nivelar el modelo, escalarlo y trasladarlo a su verdadera posición en el espacio.

Para realizarlo se han de conocer una serie de puntos  $n \geq 3$  (3 ecuaciones con 7 incógnitas), tanto en el sistema de coordenadas modelo como en el del terreno.

En la realidad, se utilizan al menos 4 puntos de apoyo para hacer posible una resolución del sistema mediante mínimos cuadrados y así comprobar la exactitud.



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda \cdot [R] \cdot \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}$$

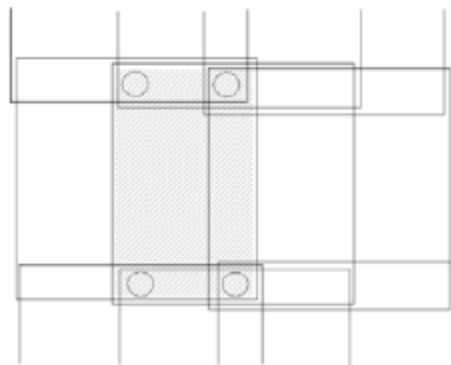
Figura 33. Orientación absoluta / transformación de la orientación absoluta

- Puntos de apoyo (GCP)

Necesarios para la orientación absoluta. Se toman en el campo con coordenadas que hagan referencia al sistema de coordenadas en el que tenga que entregar el trabajo final.

Deben estar bien distribuidos y deben de reunir unas características:

- Deben ser claramente identificables en todos los fotogramas que aparezcan.
- Deben ser detalles constantes o fijos en el terreno
- Se ha de señalar con anterioridad a la salida de campo para cumplir con los requisitos de distribución.
- Debe permitir el correcto posado en cota por parte del operador en el proceso de identificación
- Deben tener una dimensión adecuada para la escala de la imagen. En caso de ser un punto artificial que ha sido ubicado en el terreno, se podría disminuir a la mitad el tamaño mínimo del mismo.



*Figura 34. Distribución ideal de los puntos de apoyo*

Cada punto debe enumerarse con una designación única que haga referencia al número de imagen al que pertenece, la pasada en la que se realiza y su número propio.

En la actualidad, con la llegada de los GPS, se obtienen de esta forma las coordenadas de los puntos de apoyo en campo.

Además de entregar las descripciones de los puntos y el listado de coordenadas, se deben entregar los cálculos realizados para la transformación de coordenadas de los puntos en el sistema de referencia del proyecto.

Una vez sabidas las coordenadas de los puntos de apoyo, habrá que precisar su ubicación en las fotos en las que aparezcan y con las coordenadas bien definidas en los dos sistemas, así se podrán calcular los parámetros de la transformación.

- Orientación exterior (relativa y absoluta en un solo paso)

Algunos restituidores digitales pueden realizar ambas orientaciones en un solo paso. Realizándolo así no se calcula el modelo e inmediatamente se consiguen los parámetros para la transformación de coordenadas imagen en el sistema de la cámara al sistema terreno.

Para este fin se usa la condición de colinealidad, que fuerza a que se encuentren en la misma recta, el centro de la proyección, el punto imagen y el punto de terreno proyectado.

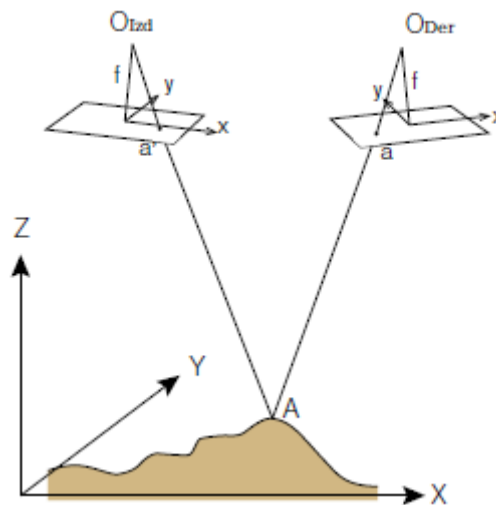


Figura 35. Condición de colineación

- Aerotriangulación [11]

Proceso que se realiza en un proyecto fotogramétrico con el fin de disminuir el número de puntos de apoyo necesarios en campo.

El fundamento de la aerotriangulación es que una vez que se tenga un par fotogramétrico plenamente orientado, se puede trasladar las coordenadas de puntos del terreno al modelo siguiente, para no tener que tomarlos de nuevo. A esto se le llama aerotriangulación por modelos independientes.

Sin embargo, está más extendido otro método que se califica como aerotriangulación por haces, en el que se hace el ajuste de toda la pasada a la vez.

Con la implementación de los vuelo con GPS y con sensores inerciales, se ha reducido bastante el número de puntos de apoyo necesarios para adaptar correctamente un bloque fotogramétrico. El GPS registra las coordenadas del centro de proyección de cada imagen. No obstante, continúa siendo necesario un apoyo de campo suficiente. El GPS y la cámara funcionan de modo autónomo y la toma de datos de ambos sigue lapsos de tiempos distintos. La antena GPS y la cámara tiene un desfase que es difícil de evaluar con precisión, la plataforma giroestabilizadora hace que la cámara esté en continuo movimiento con respecto a la antena.

- Distribución y número de puntos de apoyo

Para el método de aerotriangulación por haces, partiendo de un vuelo con de GPS, se adquieren puntos dobles en las esquinas del bloque y un punto por cada dos modelos en la zona de recubrimiento entre pasadas.

La exactitud está sujeta por los puntos de apoyo de los extremos del bloque, mientras que los puntos interiores poseen una incidencia muy pequeña en la planimetría, pero si influyen en altimetría.

- Restitución fotogramétrica [11]

Una vez finalizadas todas las orientaciones fotogramétricas y llevadas a cabo las comprobaciones de exactitudes alcanzadas, se podrá empezar a obtener el registro tridimensional del terreno.

Se conoce por restitución al proceso de extracción de la información métrica del modelo estereoscópico con ayuda de un índice móvil según el principio de marca flotante.

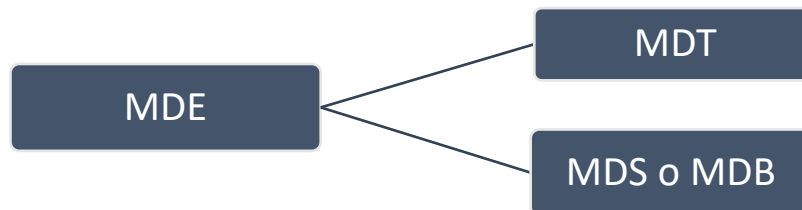
La herramienta que permite hacer las orientaciones y los procedimientos de medición y registro de coordenadas se llama restituidor.

El principio de marca flotante es aquel por el que dos marcas, que se colocan sobre dos puntos homólogos, una vez hechas correctamente todas las orientaciones, se han de fusionar en una sola imagen (una sola marca). Además, se cumple que esa marca estará a la altitud del punto sobre el que esta "posada".

De este modo, el operador se ira colocando sobre todos los elementos del terreno e irá adquiriendo un registro de coordenadas tridimensionales de ellos.

Este proceso de restitución tiene como resultante la cartografía vectorial, que es el primer subproducto del proceso fotogramétrico.

- Modelos digitales [18]-[20]



MDE o DEM (modelo digital de elevación): Un modelo digital de elevación es una matriz de celdas de tierra libre referida a un dato vertical.

Cuando se elimina la vegetación y los elementos creados por el hombre, a partir de los datos de elevación, se genera un DEM.

En este tipo de modelos, se elimina los puntos no terrestres, estos son, puentes, carreteras, edificios construidos y elementos naturales, tales como, árboles y otros tipos de vegetación.

MDT o DTM (modelo Digital del Terreno): se describe como una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X, Y, Z guardadas en forma digital. Incluye no sólo alturas y elevaciones, además de otros elementos geográficos y características naturales como ríos, líneas de crestas, etc. Un DTM es un DEM al que se ha mejorado con elementos tales como, líneas de ruptura y observaciones, que no es información original para corregir los elementos producidos utilizando sólo los datos originales. Reproduce la forma del terreno una vez que fueron eliminados todos los elementos externos o ajenos al mismo como son la vegetación, edificaciones y demás elementos que no son parte del terreno

MDS o DSM: El Modelo Digital de Superficie (DSM) muestra las elevaciones sobre el nivel del mar de las superficies reflectantes de árboles, edificios y otras características elevadas sobre la "Tierra desnuda". Reproduce todos los elementos existentes o presentes en la superficie de la tierra (vegetación, edificaciones, infraestructura y el terreno propiamente)

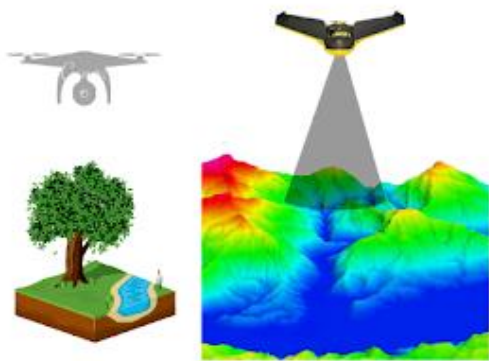


## Modelos digitales de Superficie y de Terreno

Mediante la fotogrametría con Drones se pueden obtener dos productos cartográficos básicos: i) **Modelos Digitales de Superficie (MDS)** y ii) **Ortomosaicos**, sin embargo, con la discretización de la nube de puntos se puede obtener un tercer producto que son los **Modelos Digitales de Terreno (MDT)**.

### Modelo Digital de elevaciones (MDE)

Un MDE representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. Con los MDE no solo se puede conocer la conformación o morfología del terreno (MDT) sino también los elementos de origen antrópico y la vegetación presente en el mismo (MDS).



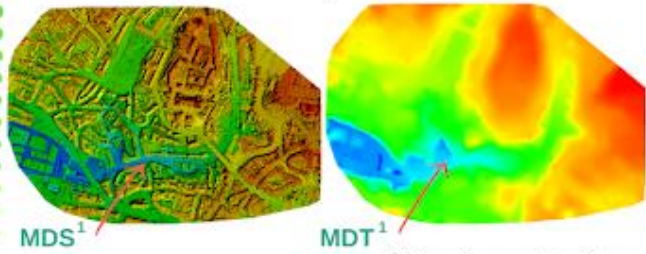
### Modelos Digitales de Superficie (MDS)

Los MDS representan todos los elementos existentes o presentes en la superficie de la tierra como la vegetación, edificaciones, infraestructura y el terreno propiamente.



### Modelos Digitales de Terreno (MDT)

Los MDT recrean la forma del terreno una vez que fueron removidos todos los elementos ajenos al mismo como son la vegetación, edificaciones y demás elementos que no forman parte del terreno.



<sup>1</sup><https://support.pix4d.com>

Figura 36. MDS y MDT[20]

Lo que representa un MDS: todas las elevaciones presentes en la superficie, terreno, infraestructura y vegetación.

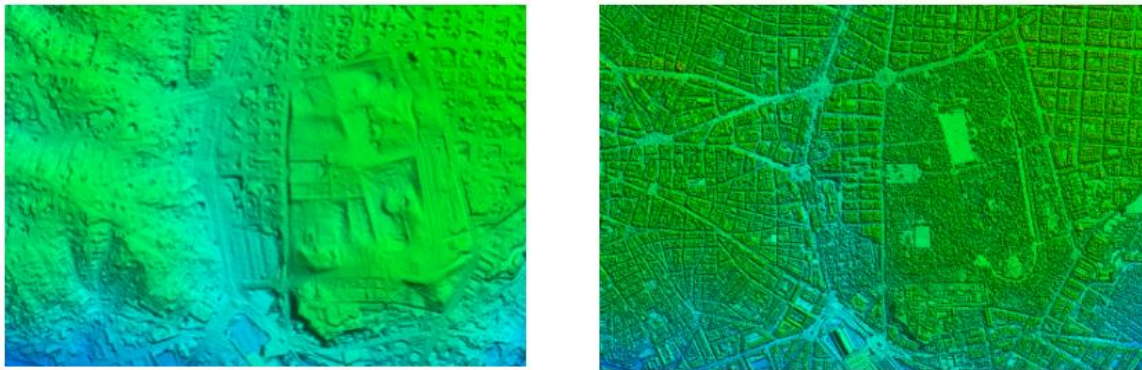
Qué tenemos: el mundo real.



Lo que representa un MDT: solo la elevación del punto más bajo de la superficie "terreno".



Figura 37 Diferencias-entre-un-Modelo-Digital-de-Superficie-MDS-y-un-Modelo-Digital[21]



Ejemplo de MDT (izquierda) y MDS (derecha) de la misma zona urbana

Figura 38 MDT/MDS[22]

#### 4.1.3.7. Planificación de un proyecto fotogramétrico tradicional [23]

(Resumen de Apuntes de fotogrametría 3. Autor Juan Antonio Pérez)

##### - Fases de un proyecto fotogramétrico

Antes de comenzar la planificación se debe realizar un planteamiento. Este planteamiento consiste en proporcionar el alcance fotográfico de la zona a levantar, cumpliendo las especificaciones requeridas y reflejadas en el pliego de condiciones. Para esta planificación se debe tener presente los factores que influyen en el vuelo para evitar retrasos, errores y variaciones en los planes en los momentos críticos del vuelo.

El proyecto se puede dividir en tres fases:

1. Planificación de vuelo. Debe aplicarse para tomar las fotografías aéreas que se utilizarán en el proyecto.
2. Planificación del control terrestre. Conjuntamente con la realización de todos los trabajos topográficos que cubran la precisión exigida por el proyecto.
3. Estimación de los costos.

##### - Planificación del vuelo

Fase principal. El grado de éxito del proyecto depende, principalmente, de la buena calidad de las fotografías.

Se denomina proyecto de vuelo al conjunto de operaciones previas a la realización del vuelo por el cual se organizan las operaciones para lograr el propósito planteado y las condiciones establecidas.

La misión del vuelo fotogramétrico trata de:

- Sobrevolar la zona a una altitud calculada en función de la escala requerida y de la distancia principal de la cámara.



- Cubrir con sus imágenes una zona establecida y para ello es necesario que cada fotograma tenga una zona común con las colindantes llamada, "zona de recubrimiento".

Para poder cumplir estos objetivos, el dron debe volar a una altitud continua, siguiendo la vía preestablecida y una velocidad constante, para poder capturar con lapsos regulares, que se correspondan a recorridos iguales.

Conjuntamente con lo anterior, existen una serie de decisiones previas entre ellas la escala del mapa, formato de los fotogramas, proyección del mapa, elipsoide de referencia etc., que deben tener en cuenta a la hora de estructurar el planteamiento, ya que repercuten en las condiciones de vuelo. Existen otras condiciones que se relacionan con la calidad de la fotografía tanto en su aspecto geométrico, como en el fotográfico.

- Aspectos geométricos de la fotografía aérea:
  - Certificado de calibración de la cámara: nos dará los parámetros de orientación interna (distancia principal, punto principal, coordenadas de las marcas fiduciales, distorsiones).
  - Escala de la fotografía.
  - Recubrimientos longitudinales y laterales.
  - Seguridad de un recubrimiento total en toda la zona.
  - Arrastre de la imagen sobre la fotografía.
  - Horas útiles de tomas fotográficas.
- Condiciones fotográficas,
  - Contraste fotográfico de la película.
  - La calidad de la imagen.
  - La homogeneidad de tonalidad.
  - La ausencia de nubes.
  - Longitud e intensidad de las sombras.

La puesta en práctica de un planeamiento de vuelo puede analizarse desde distintos puntos de vistas:

- Desde un punto de vista técnico:
  - El modelo estereoscópico se representará lo más estandarizado posible en escala y en recubrimientos, y este será de superficie máxima.
  - La fotografía aérea será tan vertical como sea posible y deberá existir una buena información para poder rectificar los desplazamientos angulares.
  - La fotografía cumplirá las condiciones propias de aplicación métrica.
- Desde el punto de vista económico:

La superficie será cubierta con el menor número de fotogramas para la escala elegida, poseerá de un menor número de modelos, con lo cual disminuirá el número de trabajos, aumentando así el rendimiento.

El planeamiento de vuelo debe estar planificado al detalle y ejecutado rigurosamente de acuerdo con un plan de vuelo, que consta de dos apartados:



1. Un mapa de vuelo en el que muestra donde deben ser hechas las fotografías.
2. Especificaciones que definen como deben tomarse, incluyendo requisitos específicos tales como cámara, escala, altura de vuelo, recubrimientos, inclinaciones permitidas etc.

- Propósito de la fotografía

Para planear un vuelo se debe tener en cuenta cual va a ser la utilización de las fotografías tomadas. Una vez definido esto, puede seleccionarse el equipo óptimo necesario a utilizar, así como los procedimientos.

Para la obtención de planos por fotogrametría aérea, son necesario unas magníficas condiciones métricas de las imágenes, dado que se van a realizar sobre ellas mediciones precisas. Estas se adquieren usando cámaras calibradas, película con granulometría fina, tiempos de exposición cortos y emulsiones de alta resolución. A día de hoy, las cámaras usadas son digitales, por ello, no hacen falta películas ni emulsiones.

Para la realización de mapas topográficos es recomendable realizar las fotografías con cámaras gran-angulares o super-granangulares, para obtener una amplia relación base altura (B/H).

Es demostrable que los errores en calcular la posición y elevación de puntos en un modelo estereoscópico, aumentan con vuelos de gran altura. Por ello, un requisito favorable para la adquisición de buenas especificaciones en la determinación de puntos por fotogrametría es efectuar vuelos bajos y ángulos paralácticos grandes, es decir empleo de cámaras granangulares o supergranangulares

- Elección de la escala de la fotografía

La opción seleccionada de la escala de la imagen es función de la escala de representación (escala del plano a representar,  $M_k$ ) y del tamaño de los objetos ( $M_b$ ) que se trata de detectar. Este es el primer problema que hay que solventar.

Por otro lado, la escala de la imagen restringirá la detección del tamaño de los objetos. Se admite para la definición de un punto perteneciente a un detalle natural del terreno, con apoyo de instrumentos provistos de elementos de ampliación de imagen, los siguientes valores:

- $m_l = 0.02 \text{ mm}$  (Para un punto cualquiera en condiciones normales de observación).
- $m_l = 0.01 \text{ mm}$  (Detalle natural muy nítido o punto de apoyo señalado artificialmente en el terreno).

Para las siguientes escalas podemos detectar el tamaño mínimo de los objetos:

<i>1:mb</i>	<i>1:5000</i>	<i>1:10000</i>	<i>1:20000</i>	<i>1:30000</i>
<i>Pto natural cualquiera</i>	0.10 m	0.20 m	0.40 m	0.60m
<i>Pto de Apoyo</i>	0.05 m	0.10 m	0.20 m	0.30 m





- Altura de vuelo. Nivel de referencia

Tras determinar cuál será la escala de la imagen, y sabida la distancia principal de la cámara, se puede obtener la altura de vuelo sobre el terreno.

Los problemas más importantes en la planificación de un vuelo se presentan cuando el terreno es montañoso.

- Disposición de las fotografías. Recubrimientos

El objeto de los recubrimientos fotográficos es el poder usar el principio de la visión estereoscópica a los fotogramas aéreos. El componente común entre dos fotografías consecutivas es el modelo estereoscópico, debiendo poderse ligar estos modelos tanto longitudinalmente como transversalmente.

- Recubrimiento longitudinal

Partiendo de una situación ideal:

Eje principal totalmente vertical, terreno llano y horizontal. Si un dron volando en línea recta y a una altitud permanente, toma una serie de imágenes a intervalos iguales, estas fotos se alinean formando una banda o pasada fotográfica.

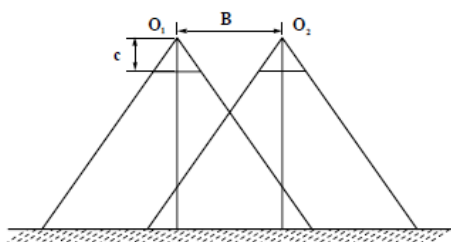


Figura 4-a. Toma fotográfica de un modelo.

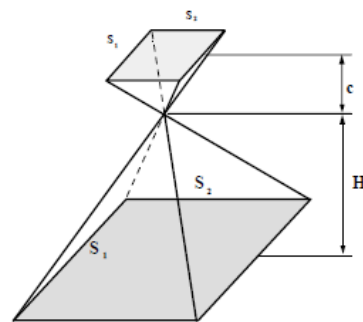


Figura 4-b. Superficie cubierta por una fotografía.

$$S_1 = mb s_1 \quad S_2 = mb s_2$$

Figura 39

Siendo B la distancia cubierta entre dos exposiciones sucesivas (base), dos fotos consecutivas tendrán una parte común si  $B \leq S_1$ , pero para que todo punto de la zona resulte cubierta dos veces es imprescindible que  $B < S_1 / 2$ . Mapa de vuelo ideal será con recubrimiento longitudinal del p%.

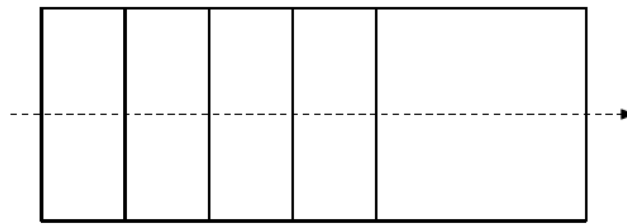


Figura 40. Ejecución de vuelo fotogramétrico ideal

Partiendo de una situación real:

- La pendiente del eje vertical; si el eje de la cámara está inclinado, la superficie cubierta será trapezoidal (Fig. 6-a).
- Fluctuación en la altura de vuelo (Fig. 6-b).
- El relieve del terreno; la superficie se deforma de modo regular (Fig. 6-c).

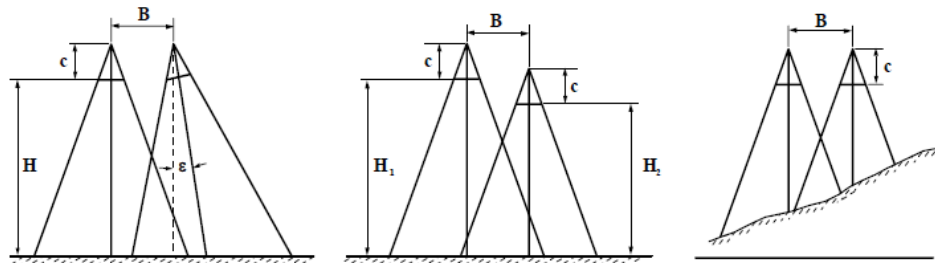


Figura 6-a

Figura 6-b

Figura 6-c

Estas variabilidades de forma no deben provocar defectos de recubrimiento estereoscópico, optándose para B un valor menor de  $S_1 / 2$ , esto es, un recubrimiento superior al 50%, pero sin elevar este margen, ya que en caso de exceso elevaríamos el número de pares, disminuyendo el rendimiento y por tanto la relación (B/H) en la que se basa la precisión.

Denominado p% al recubrimiento longitudinal expresado en tantos por ciento, se establece normalmente este en el 60%, con una tolerancia de  $\pm 5\%$ .

$$B = S_1 \cdot (1 - p) = s_1 \cdot m_b \cdot (1 - p) = s_1 \cdot m_b \cdot \left(1 - \frac{p\%}{100}\right) = \quad (13)$$

- Recubrimiento lateral (Bloques<sup>1</sup> de bandas<sup>2</sup> paralelas)

Para cubrir un amplio territorio es preciso realizar varias pasadas (o bandas) dispuestas lateralmente respecto a la inicial. Deben ser paralelas y abarcar de modo que no exista ningún espacio vacío en la cobertura (figura 41).

<sup>1</sup> Conjunto de fotografías o modelos que componen el vuelo fotogramétrico que recubre una determinada zona objeto de nuestro trabajo

<sup>2</sup> Conjunto de fotografías efectuadas por el dron en la dirección del vuelo

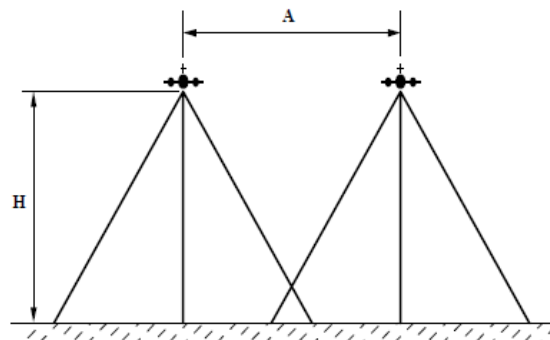


Figura 41. recubrimiento transversal entre pasadas adyacentes.

El recubrimiento lateral ( $q\%$ ) deberá ser mínimo para reducir en lo posible el número de coordenadas de imagen (o cliché<sup>3</sup>), siendo  $A$  la distancia entre dos ejes de vuelo contiguos, es preciso en terreno llano que  $A < S_2$ .

Generalmente, un recubrimiento transversal se selecciona con valores comprendidos entre el 10% y el 20 %.

$$A = S_2 \cdot (1 - q) = s_2 \cdot m_b \cdot (1 - q) = s_1 \cdot m_b \cdot \left(1 - \frac{q\%}{100}\right) = \quad (14)$$

Los defectos de recubrimiento lateral pueden ser resultado de:

- La Inclinación del eje transversal.
- El relieve del terreno.
- Errores en el mantenimiento de la altitud.
- Error en la apreciación de la magnitud  $A$ .
- Error en la corrección de la deriva.
- Errores en el mantenimiento de una ruta constante.

- La deriva

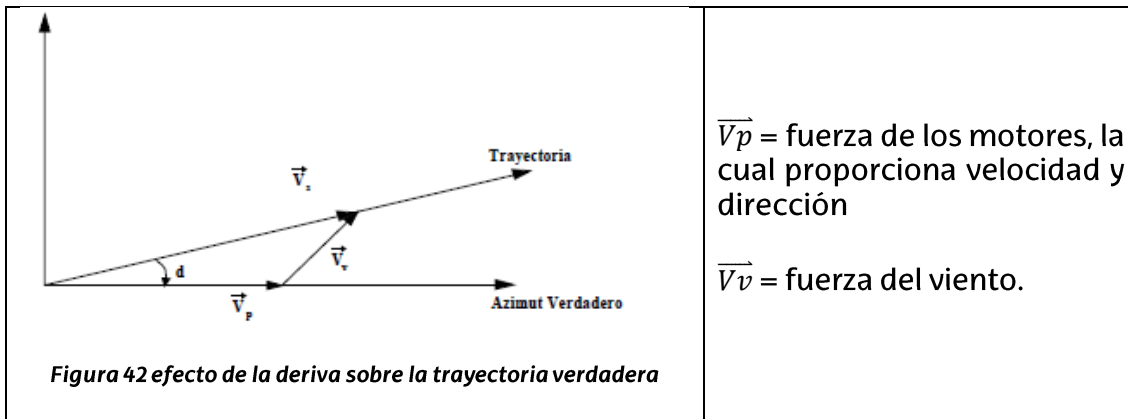
Al realizar un vuelo fotogramétrico se debe considerar que, como resultado del empuje del viento sobre el dron, se obtendrían resultados no deseados, entre ellos, vacíos en el recubrimiento entre pasadas, disminución del recubriendo transversal, mal seguimiento de los ejes de vuelo etc.

Por estos motivos, a la hora de realizar el vuelo, se deberá tener en cuenta este desplazamiento y corregirlo por el medio al que se le llamara deriva.

Se refiere como azimut verdadero, al eje de simetría del dron ( $Av$ ). A falta de viento, el eje de vuelo corresponde con  $Av$ .

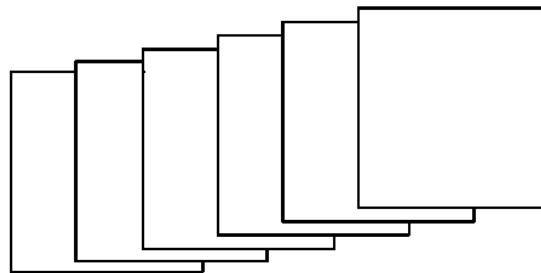
De darse viento, la masa de aire en la que se traslada el UAV se mueve respecto al suelo, estando esta masa sometiendo al vuelo a dos fuerzas.

<sup>3</sup> Coordenadas imagen también llamadas coordenadas placas, placa o cliché. El sistema de coordenadas imagen es un sistema plano al que se le añade un tercer eje, perpendicular al plano de la fotografía, pasando por el centro de proyección al que consideramos origen de coordenadas.



La trayectoria sería la resultante de las fuerzas ( $\vec{v}_s$ ), la velocidad con respecto al suelo. El ángulo entre el trayecto verdadero y el azimut verdadero es la deriva ( $d$ ).

Si los lados de las imágenes tomadas son paralelos y perpendiculares al UAV, el recubrimiento que se obtiene, habrá reducido la superficie útil que pueda ser usada.



*Figura 43. Efecto de la deriva de una pasada*

Para resolverlo sería preciso girar la cámara a bordo para que un lado del modelo sea paralelo a la ruta verdadera, de manera que hay que identificar constantemente el ángulo de deriva ( $d$ ) y girar la cámara un ángulo ( $-d$ ).

La deriva de un dron también se puede ajustar mediante el trim. Trimmear es el ajuste fino para hacer que el dron continúe en un vuelo estable y estático sin apenas tocar los controles. Si el dron se mueve, cuenta con una función en los controles remotos, llamada "Trim", que sirve para hacer el ajuste fino del vuelo del dron.[24]

- Mapa de vuelo

El mapa de vuelo facilita los límites del proyecto, los ejes de vuelo indican al piloto por donde debe volar para conseguir el recubrimiento deseado. Se realiza sobre algún mapa ya existente de la zona, señalando sobre esta cartografía, la zona de trabajo. Calculado el tamaño del territorio correspondiente a cada imagen a la escala del mapa, se señala sobre éste los correspondientes ejes de vuelos de cada pasada, atendiendo a mantener el recubrimiento lateral previsto. Sobre los ejes de vuelo y a intervalos regulares a los que corresponda el recubrimiento propuesto, se señalarían los puntos sobre cuya vertical, deberá realizarse toma.

Teniendo en cuenta un vuelo ideal, el punto central de cada fotografía corresponderá con los puntos planteados, estando todos éstos sobre la misma recta en cada pasada, siendo las pasadas estrictamente paralelas.

- Parámetros de un vuelo vertical

Siendo un caso ideal, donde el vuelo dispone una altura H, recorrerá el terreno a levantar disparando el obturador de la cámara a intervalos regulares de tiempo, de forma que dos fotogramas dispongan del recubrimiento adecuado y se dividan sus pasadas sobre el terreno en trayectorias paralelas, recorriendo la zona por pasadas que cuenten a su vez de suficiente recubrimiento lateral, para poder solapar unas con otras.

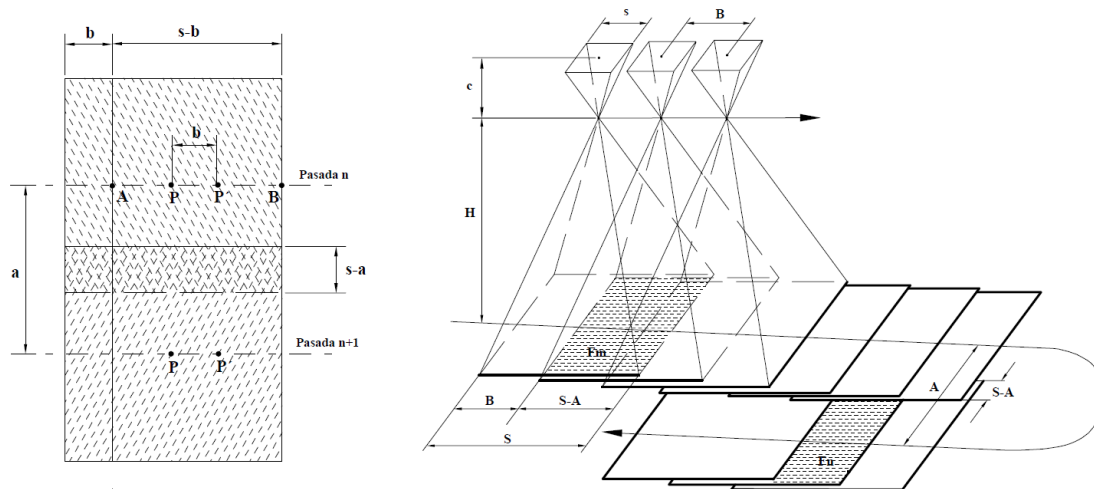


Figura 44. Disposición ideal de fotogramas

s= lado del negativo  
Fa= superficie del terreno cubrir  
c=constante de la cámara  
Vg=velocidad del dron

P=punto principal en O1  
P'=punto principal en O2  
B=fotobase  
a=distancia entre los puntos principales de dos pasadas consecutivas

$$A = S_2 \cdot (1 - q) = s_2 \cdot m_b \cdot (1 - q) = s_1 \cdot m_b \cdot \left(1 - \frac{q\%}{100}\right) = \quad (15)$$

Recubrimiento longitudinal:

$$p = \overline{P'A} + \overline{P'B} = \overline{P'A} + \overline{PB} - \overline{PP'} = \frac{s}{2} + \frac{s}{2} - b = s - b \quad (16)$$

$$p\% = \frac{(s - b) \cdot 100}{s}$$

Recubrimiento transversal:

$$q\% = \frac{(s - a) \cdot 100}{s} \quad (17)$$

Escala de imagen:



$$Mb = \frac{1}{m_b} = \frac{c}{H} = \frac{s}{S} \quad (18)$$

Superficie cubierta por una foto:

$$Fg = S^2 = (s \cdot mb)^2 \quad (19)$$

Longitud de la base con recubrimiento longitudinal de p%:

$$b = s \cdot \left(1 - \frac{p\%}{100}\right) \rightarrow \text{fotobase} \quad (20)$$

$$B = b \cdot m_b = S \cdot \left(1 - \frac{p\%}{100}\right) \rightarrow \text{base}$$

Intervalo entre pasadas:

$$a = s \cdot \left(1 - \frac{q\%}{100}\right)$$

$$A = S \cdot \left(1 - \frac{q\%}{100}\right) \quad (21)$$

Numero de fotos por pasada:

$$np = \frac{Lp}{B} + 1 \quad (22)$$

Numero de pasadas:

$$nq = \frac{Lp - S}{A} + 1 \quad (23)$$

Superficie estereoscópica por par:

$$Fm = (S - B) \cdot S \quad (24)$$

Superficie adicional estereoscópica por foto:

$$Fn = A \cdot B = S^2 \cdot \left(1 - \frac{p\%}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{q\%}{100}\right) \quad (25)$$

Numero de fotos necesarias:

$$nt = np \cdot nq \rightarrow \text{suspuesta superficie uniforme} \quad (26)$$

Intervalo entre exposiciones:

$$\Delta t = \frac{B}{Vg} = \frac{s \cdot m_b}{Vg} \cdot \left(1 - \frac{p\%}{100}\right) \quad (27)$$

- Arrastre de la imagen

El arrastre de la imagen se detecta como una pérdida de la nitidez en ésta.

Al realizar fotografías y hallarse la cámara en movimiento, será preciso regular el tiempo de exposición en conjunción con la velocidad del vuelo, para que el arrastre que se



provoque se encuentre dentro de unos límites que admisibles, dentro del concepto de nitidez fotográfica. Los motivos que pueden causar el arrastre de la imagen son:

- Desplazamiento de la cámara en la dirección del vuelo.
- Vibraciones de la cámara transmitidas por el dron.
- Balanceo del dron

El primer efecto es mucho más grande que los otros dos, los cuales con un buen ensamblado de la cámara sobre los sistemas de suspensión antivibrantes, buenas condiciones atmosféricas y un buen pilotaje, quedarán prácticamente anulados.

$$\Delta s = Vg \cdot \Delta t \cdot M_b$$

$$\Delta s \approx 278000 \cdot Vg \cdot \Delta t \cdot M_b \rightarrow$$

Siendo:  
*Vg*: velocidad del vuelo (km/h)  
*Δt*: tiempo de obturación de la cámara (s)  
*M<sub>b</sub>*: escala de a imagen  
*Δs*: desplazamiento de la cámara (μm)

(28)

Para una escala de la imagen definida, el dron deberá tener una velocidad de crucero tal que, conjuntamente con los tiempos de exposición de la cámara, de un valor tolerable de nitidez ( $\leq 0.03\text{mm}$ ).

- Métodos de navegación fotográfica

Un método de navegación que trata de guiar al dron entre un punto de partida y uno de llegada, conociendo su posición todo el tiempo. Generalmente las trayectorias vienen obligadas por el trabajo, de forma que el dron no puede prácticamente separarse de su trayectoria, para asegurar el recubrimiento lateral.

Se pueden distinguir varios métodos distintos de navegación:

- Navegación a simple vista con cartografía disponible

Se representan, sobre los mapas-índices, los ejes de vuelo o pasadas y la situación con el menor error posible, de los puntos principales de los fotogramas. El piloto del dron tratará de seguirlo permitiendo usar referencias hacia adelante y hacia atrás. Las pasadas irán contabilizadas, así como todas las imágenes de inicio y fin de la pasada, que llevarán etiquetado su número de exposición.

- Navegación a simple vista sin cartografía previa

Realización de un vuelo sin mapa previo.

Existen diversos métodos de navegación sin cartografía:

- ✓ Sobrevuelo a mayor nivel

Este métodos será usado cuando la zona de trabajo es razonablemente pequeña (ciudades, áreas de ríos, pequeños proyectos de desarrollo, emplazamiento de presas.....etc.).



Este método implica fotografiar inicialmente la zona de trabajo desde una gran altitud y a menor escala. Sobre las fotografías obtenidas previamente, se marcan las pasadas fotográficas a la escala correcta elegida para el vuelo final, ejecutando el vuelo basándose en la información obtenida.

En la utilización de esta modalidad, la primera operación que hay que determinar es la escala necesaria para sobrevolar el área. Se debe tener en cuenta el tamaño del área requerida y la escala a la cual el dron tiene que volar para misión final.

- ✓ Vuelo de franjas entrelazadas

Este método se utiliza para zonas de trabajo más extensas.

Se empezará por realizar un vuelo a una escala menor (mayor altitud), para preparar el material básico mediante franjas enlazadas. Se planificará la zona de trabajo a sobrevolar de manera que fuera mayor que la solicitada.

Obtenidas las copias, se unen entre sí para formar franjas, estableciendo la línea central y las transversales de manera que el detalle común de ambas quede alineado. Sobre la franja central se dibuja un eje de vuelo y se agregan el resto de los ejes de vuelo a ambos lados, hasta completar la zona de trabajo a obtener. Establecidos todos los ejes de vuelo de las pasadas, se pueden numerar las pasadas para su organización, procediendo a realizar el vuelo a la escala final apoyándonos en la información aportada por las fotografías anteriores.

- ✓ Navegación de línea lateral

Este es método más simple desde un punto de vista de la planificación, pero obliga a un gran respaldo en cuanto a la producción fotográfica.

Se basa en una o más pasadas principales que van a ser usadas para lo que se llama seguimiento de la línea lateral. De nuevo el bloque se planifica de tamaño más grande de lo necesario.

Se realiza un vuelo de inspección previamente para pruebas de exposición y planificación de la pasada principal. Realizadas estas pruebas, se procede a la toma de las imágenes principales con las especificaciones definidas para el vuelo; al final de la pasada el UAV vuelve a la base y se procesan las imágenes. Se hace un conjunto de copias y se forma la pasada trazando una línea central (eje de vuelo). A partir de ésta se trazan dos ejes paralelos con el recubrimiento lateral especificado.

Una vez marcadas las dos nuevas pasadas se vuelve a realizar otro vuelo para la obtención de los fotogramas de las nuevas pasadas. El piloto usará como referencia para la toma de estas nuevas imágenes, la línea del recubrimiento lateral, de esta forma tendrá una información terrestre visible en el área de recubrimiento  $q\%$ .

Efectuadas estas nuevas tomas, el avión vuelve a la base, se obtienen las imágenes y sobre esta nueva toma se repite el proceso.

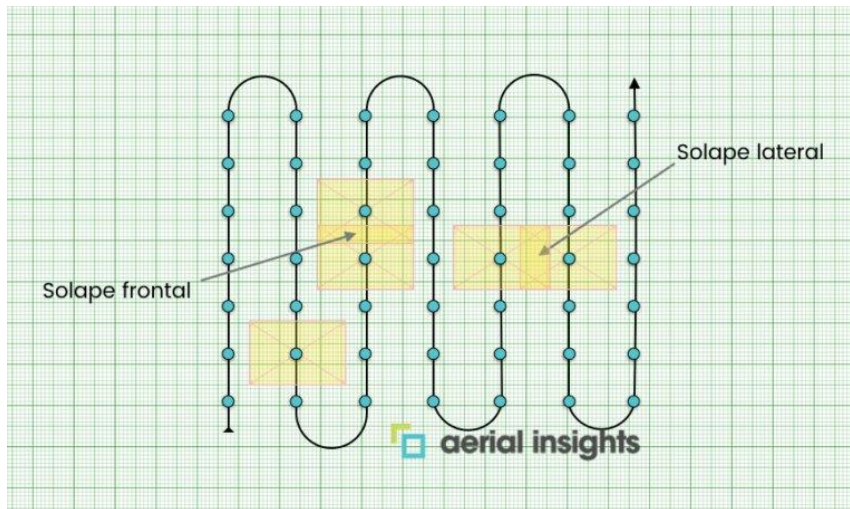


- Escenario de vuelo [25]

Cada resultado necesita técnicas ligeramente distintas a la hora de volar y tomar las imágenes, por ello, dependiendo de uso, se planifican diferentes escenarios de vuelo.

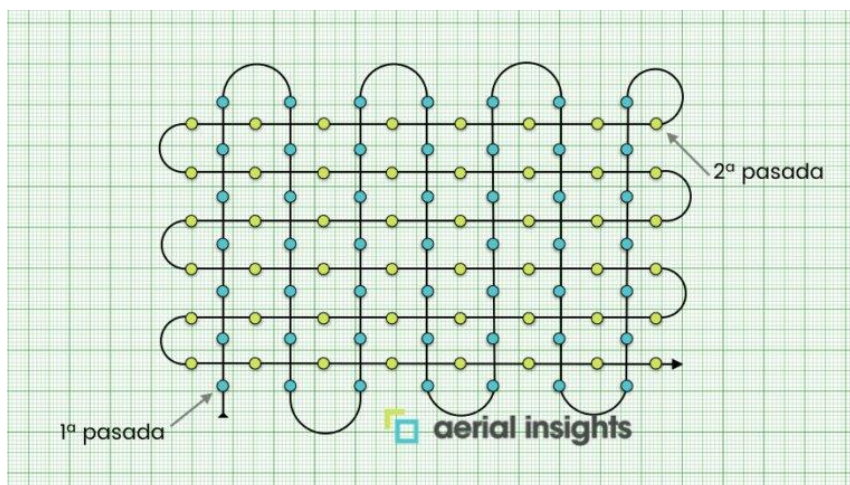
- ✓ Vuelo para generar ortomapas

La trayectoria a realizar será la de forma de cuadrícula. Los solapes mínimos son entre 75% (frontal) y al menos el 60% (lateral). La posición de la cámara será totalmente perpendicular dirigida al suelo (plano cenital).



- ✓ Vuelo de canteras y áreas construidas

Para producir reconstrucciones en 2D como 3D es esencial disponer de varios enfoques alternativos para cada área. Por ello, es necesario llevar a cabo una trayectoria de doble cuadrícula, es decir, completar una trayectoria como para el supuesto de una ortofoto y continuar con otra equivalente a 90 grados. Con este tipo de trayectoria se garantiza tener fotografías desde cuatro puntos (aproximados) norte, sur, este y oeste. El solape, debe ser el mismo que en el caso anterior, 75% y 60%.

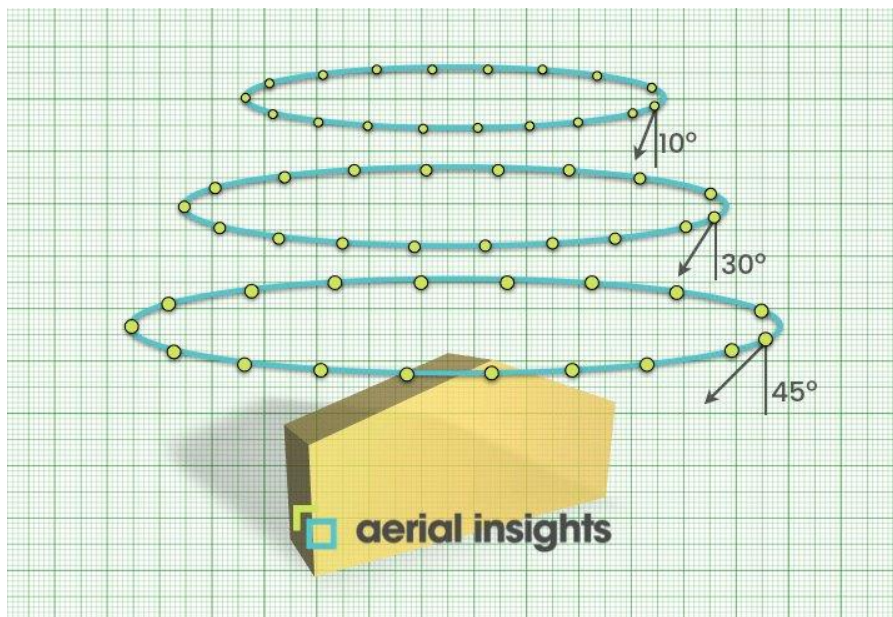


✓ Vuelo para generar volúmenes 3d (edificios, estructuras verticales)

Para este caso, es necesario realizar tres trayectorias circulares a alturas diferentes, en un único vuelo o en varios vuelos sucesivos.

La cámara se debe establecer en un ángulo de  $45^\circ$  en la trayectoria más baja,  $30^\circ$  en la media y  $10^\circ$  en la más elevada. Es indispensable tomar entre 40 y 80 capturas en cada una de las vueltas, es decir, cada foto estará separada de la anterior por  $5^\circ - 10^\circ$  grados. En cualquier caso, la cámara debe usar como punto de interés el centro aproximado del objeto.

En el caso de objetos muy grandes es necesario ajustar estos valores de forma que continúe existiendo la misma proporción de solape entre imágenes. En este caso, más fotos, cada menos grados y si el objeto es muy alto, incorporando progresivamente más órbitas.



Sobre todo se debe evitar integrar la línea del horizonte, el cielo o el sol en las fotografías. Un juego de fotos en el que se muestre será un buen candidato para problemas durante reconstrucción.

Otro elemento importante al dar vueltas alrededor de un objeto, es la posición del sol, ya que este va a ser variable, con lo que se dispondrán fotografías de lugares en sombra con otras completamente iluminadas. En algún caso, zonas señaladas pueden estar subexpuestas y otras sobreexpuestas. Si no hay unos parámetros de cámara que permitan usar una exposición fija, se ha de emplear la exposición automática.

Si se va a realizar un vuelo en una zona que no se ajusta a ninguno de los casos anteriores, Si es una conjunción de áreas planas y edificaciones bajas, se realiza un vuelo similar al descrito en segundo lugar. Si es una estructura vertical en medio de una zona plana, se ha de usar el primer y tercer caso.

De todos los métodos anteriormente vistos, en este caso, como se quiere realizar una fotogrametría para la agilización de toma de datos y de esta manera optimizar tiempo en la evaluación de la eficiencia energética, se deberá de retener en cuenta el tipo de objeto (un solo edificio, un terreno, una ciudad, elementos industriales...) a estudiar.



- **Sistemas de navegación avanzados**

Los sistemas electrónicos de navegación están fundamentado en el conocimiento de las coordenadas del vuelo respecto al terreno en cada etapa de la evolución del vuelo, con el fin de guiar automáticamente al vehículo a los puntos de exposición aérea, establecidos con antelación en el planeamiento de vuelo.

Existen diferentes sistemas pero actualmente es más usado es el sistem GPS (Global Position System).

Este sistema de navegación permite obtener en modo cinemático posiciones en coordenadas X, Y, Z del orden del 0,5 m, posibilitando el uso tanto en funciones de navegación como en funciones de obtención de ciertos componentes de la orientación externa, coordenadas de los centros de proyección (X0, Y0, Z0), posibilitando la generación automática de los gráficos de vuelo.

- **Condiciones para la toma de fotografías aéreas**

La obtención de fotografías aéreas se llevara a cabo cuando la altitud del sol sea óptima, es decir, en aquel lapso de tiempo en el cual, los rayos solares tengan una inclinación tal que las sombras emitidas por los accidentes sea mínima, por ello las limitaciones serán superiores en terreno accidentado.

No existe un planteamiento fijo para considerar la altitud solar mínima adecuada en el transcurso del año, pero suele tomarse una altura mínima de 30° del sol sobre el horizonte y en regiones poco accidentadas puede llegarse a los 20°.

Cada región tendrá un periodo del año donde se cumplen estas condiciones. Concretamente en España, en épocas englobadas entre el 1 de Mayo y el 31 de Septiembre las tomas fotográficas se efectuarán cuando la altitud del sol sobre el horizonte sea superior a 45°, siendo posible considerar durante el resto de los meses altitudes de 30°.

Los vuelos se harán con cielo despejado y cuando el terreno a retratar no tenga nieve, nieblas o brumas, que dificulten la claridad de los fotogramas

- **Especificaciones técnicas[22]**

En el siguiente apartado se expone de manera resumida un Pliego de Condiciones Técnicas Generales para Vuelos Fotogramétricos (IGN/PNOA). En el Anexo se encontraran detalladamente el pliego de condiciones de IGN/PNOA en su versión adaptada al País Vasco. Cabe recordar que este pliego está enfocado al estudio de un terreno, por ello, algunos de los puntos, en caso de estudio de objetos, puede ser eliminado o modificado.

1. **Objeto y características generales**

En este punto se expone sobre que elemento o terreno se va a realizar el estudio. Además de ello, se puede especificar el GSD que se pedirá, y también el sistema geodésico de referencia, en caso de ser necesario. Para el país vasco se usara el ETRS89 adoptado como oficial en España en el RD 1071/2007 del 27 de julio. También es



mencionara el sistema altimétrico de referencia, siendo este el nivel medio del mar en el mareógrafo de Alicante y el modelo para la transformación de altitudes elipsoidales a ortométricas en caso de que el estudio sea en un terreno

## 2. Condiciones generales del trabajo

### 2.1. Sistema geodésico de referencia

- i. Sistema geodésico de referencia
- ii. Altitudes elipsoidales
- iii. Transformaciones de altitudes elipsoidales a ortométricas
- iv. Proyección cartográfica y sus datos
- v. Distribución hojas
- vi. Modelo geoide

### 2.2. Vuelo fotogramétrico

#### 2.2.1. cámara fotogramétrica y equipos auxiliares

- i. Cámara
- ii. Formato de los fotogramas
- iii. Campo de visión transversal
- iv. Calibración de la cámara
- v. Control automático de posición
- vi. Resolución espectral del sensor
- vii. Resolución radiométrica
- viii. Sistema FMC
- ix. Plataforma giroestabilizadora automática
- x. Ventana fotogramétrica
- xi. Sistema de navegación basado en GPS
- xii. Sistema inercial (IMU/INS)

#### 2.2.2. Vuelo y cobertura fotográfica

- i. Planificación de vuelo
- ii. Fechas, horarios y condiciones de vuelo
- iii. Tamaño del pixel y altura de vuelo
- iv. Dirección de las pasadas
- v. Recubrimiento longitudinal
- vi. Recubrimiento vertical
- vii. Numero de pasadas
- viii. Longitud máxima de una pasada longitudinal
- ix. Pasadas ininterrumpidas
- x. Desviaciones de las trayectorias del vuelo
- xi. Desviaciones de la vertical de la cámara
- xii. Diferencias de verticalidad entre fotogramas consecutivos
- xiii. Deriva no compensada
- xiv. Cambios de rumbo entre fotogramas no consecutivos
- xv. Zona a cubrir



### 2.2.3. Toma de datos GPS en vuelo

### 2.2.4. Procesado de datos GPS e IMU

- i. Procesado de la trayectoria
- ii. Precisión de las orientaciones externas

### 2.2.5. Procesado de imágenes digitales

- i. Radiometría
- ii. Orientación de las imágenes

### 2.2.6. Productos a entregar del vuelo fotogramétrico

- i. Planificación de vuelo
- ii. Gráficos y datos de vuelo realizados
- iii. Gráficos de seguimiento de vuelo
- iv. Ficheros GPS-IMU de vuelo originales y procesados
- v. Fotogramas digitales con formatos y datos especificados
- vi. Bases de datos usadas
- vii. Certificados de calibración de las cámaras, objetivos empleados y sistemas integrados
- viii. Vectores de excentricidad
- ix. Informe descriptivos del proceso de vuelo

## 3. Apoyo de campo

### 3.1. Configuración de los bloques de aerotriangulación

### 3.2. Instrumentos a emplear

### 3.3. Ejecución de los trabajos

- i. Distribución de puntos de apoyo
- ii. Estaciones de referencia
- iii. Método de observación de los puntos
- iv. Condiciones y bases de datos de los puntos de apoyo

### 3.4. Precisión

### 3.5. Resultados finales

### 3.6. Productos a entregar

- i. Fotogramas pinchados
- ii. Ficheros GNSS de apoyo
- iii. Calculo líneas base



- iv. Cálculo y compensación de las coordenadas de puntos de apoyo
- v. Gráficos de apoyo
- vi. Reseñas, bases de datos e informe descriptivo de puntos de apoyo de campo

#### 4. Aerotriangulación

##### 4.1. Ejecución de los trabajos

- i. Método
- ii. Medición de puntos de enlace
- iii. Ajuste de bloque
- iv. Zona a recubrir
- v. Puntos de chequeo
- vi. Desviación estándar a priori de los puntos de apoyo y centros de proyección

##### 4.2. Precisiones

##### 4.3. Productos a entregar

- i. Datos de cálculo de aerotriangulación
- ii. Gráficos de canevas
- iii. Bases de datos de vuelo
- iv. Informe descriptivo

#### 5. Grabación y archivos de producto

##### 5.1. Ejecución de los trabajos

- i. Grabación de productos y documentos
- ii. Almacenamiento
- iii. Número de copias
- iv. Medio y estructura de almacenamiento
- v. Entregas parciales

##### 5.2. Productos a entregar

- i. Listado de ficheros
- ii. Informe descriptivo del proceso de archivo

#### 6. Control de calidad

##### 6.1. Ejecución de trabajos

##### 6.2. Productos a entregar

#### 7. Envío de productos

##### 7.1. Productos a entregar



## - Control terrestre (Puntos de apoyos)

En la fase de orientación absoluta es necesario conocer las coordenadas terrestre de una secuencia de puntos de la imagen, para poder adaptar la escala del modelo estereoscópico y llevar a cabo la nivelación de éste. El número mínimo de puntos para poder realizar esta operación es de tres, dos puntos en  $X, Y, Z$  (Planimétrico-Altimétrico) para poder realizar el ajuste de la escala del modelo y un tercero en  $Z$  (Altimétrico) de modo que sumados a los dos anteriores, generan tres puntos de coordenadas altimétricas conocidas, para poder proceder a la nivelación del modelo.

La determinación de las coordenadas planimétricas (control horizontal) y altimétrica (control vertical) de estos lugares se conoce con el nombre de apoyo de campo o GCP. La determinación de los puntos de apoyo puede efectuarse mediante:

1. Utilizando procedimientos clásicos de la topografía
2. Utilizando GPS

Para realizar este punto es necesario la existencia de redes geodésicas, así como saber su densidad y el estado de materialización en el terreno. En las zonas donde estas redes no existen o son pocas, incrementan el trabajo de control terrestre, así como en zonas con gran vegetación y terreno accidentado.

- Número y distribución

La distribución de los puntos de apoyo en las esquinas del modelo, está condicionada al hecho de que estos deben contribuir al apoyo para la pasada superior e inferior, y de la misma manera para los fotogramas antecedente y precedente, a fin de obtener el mínimo de puntos precisos de control terrestre.

Por razones de exactitud, dado que al efectuar la restitución, resulta peligroso realizarla fuera de los límites que enmarca el cuadrilátero que une estos puntos.

Sin embargo, esta distribución no siempre es posible.

- Elección de los P.A. fotogramétricos

Con ayuda de la cartografía existente e imágenes del vuelo, se van analizando los entornos donde pueden seleccionarse en campo.

La elección de los puntos de apoyo debe responder a los siguientes criterios:

- El detalle planimétrico deberá ser perfectamente identificable en todos los fotogramas.
- Los puntos se seleccionarán en el interior de la zona marcada previamente, con fin de que cumplan los requisitos para la efectuar la orientación absoluta del modelo.
- A ser posible, los puntos permanecerán definidos por alineaciones rectas, tales como esquinas de corrales, esquinas de casas, cruces de caminos, etc. Si corresponden a un detalle natural, se seleccionaran aquellos cuyo valor sea " $ml \times mb$ ".



- Preferentemente serán un detalle artificial y estable.
- Los puntos altimétricos serán conveniente seleccionados sobre partes del terreno de poca pendiente (lo más horizontal posible), evitando, dentro de lo posible, los detalles que se presten a un mal objetivo estereoscópico (playas brillantes, arenas.....etc.).
- Los puntos de apoyo se seleccionan en todas las imágenes y se marcan mediante un círculo, teniendo como centro el punto de identificación y un número de serie.
  - Pre señalización de los P.A.

En planos a escalas grandes, orientados principalmente a la ingeniería es necesario tener presente, a la hora de realizar la planificación del levantamiento, la fase de replanteo del proyecto.

Estos requerimientos prácticamente no los encontraremos en la naturaleza, y aunque la zona objeto del estudio proporcione gran cantidad de detalles artificiales, muy pocos alcanzan la utilidad para emplearse con dicho fin.

Para conseguir salvar estos inconvenientes se usa la preseñalización, siendo esta la señalización en el campo mediante de una serie de indicadores, previamente al vuelo, distribuidas según una densidad y forma, para permitir usarlas como puntos de apoyo fotogramétricos.

La forma de estas señales generalmente es la cuadrada, en las que el material utilizado es de aluminio, contrachapado o cartón. El tamaño variara con la escala de la fotografía.

- Para escalas pequeñas ( $\approx 1:18000$ ) 75 x 75 cm.
- Escalas medias ( $\approx 1:7500$ ) 30 x 30 cm.
- Escalas grandes ( $\approx 1:3000$ ) 15 x 15 cm.

Otra forma adoptada en algunos caos es la circular, representada por círculos blancos trazados con cal sobre el suelo, previamente limpio, pudiéndose mejorar reemplazar los círculos por cruces.

- Estimación de los costos

Los costos de realización de un vuelo fotogramétrico suelen expresarse por superficie (para bloques) o por kilómetros (caso de traza), y es de relevancia poder vincularlos en función de las distintas escalas de la imagen.

Los puntos de estudio anteriores están diseñados para la realización de una fotogrametría en terreno. Debido a que no hay un consenso general para la realización de fotogrametría área con dron para edificios o ciudades, dependiendo del estudio a realizar se deberá adaptar el plan a los requisitos correspondientes. Actualmente, existen programas y aplicaciones que facilitan la planificación de los vuelos mediante UAV. (4.1.3.9. ESTUDIO DE MERCADO)

#### 4.1.3.8. Errores que pueden aparecer y problemas





Una buena planificación de vuelo es el elemento que tiene mayor influencia en la calidad de los resultados finales en el momento de generar mapas 2D y reconstrucciones 3D.

#### 4.1.3.8.1. Elección de tipo de vuelo ¿Cuáles se pueden realizar? [26]

- Perfil de vuelo: corresponden a los perfiles básicos de vuelos o rutas efectuados con el dron en el aire. se pueden encontrar los siguientes perfiles de vuelo durante el vuelo del dron:  
avance

**Ascenso:** se trata del perfil de elevación de la dron cuando despegar o cuando se quiere desplazar en altura. El despegue es un momento crítico debido a que las hélices desplazarán el viento contra el suelo pudiendo volcarlo.

**Descenso:** corresponde al descenso del UAV, ya sea para aterrizar o para descender en altitud. De la misma manera que el ascenso, se debe tener precaución en el aterrizaje para prevenir el volcado del dron cuando se encuentre próximo a la superficie de aterrizaje.

**Crucero:** se puede considerar que el dron se halla en modo crucero cuando describe una trayectoria horizontal homogénea y rectilínea durante su progreso a velocidad constante. De esta manera, si el dron se encuentra a una altitud de 40 metros y comienza a desplazarse horizontalmente hacia un punto, el modo de vuelo que llevará será de crucero. Este es la modalidad de vuelo principal y es fundamental para mapear el territorio y generar mosaicos territoriales sin distorsiones de imagen.

**Estacionario:** el dron se encontrará en vuelo estacionario cuando, sin necesidad de manipular los mandos, el dron este en el aire de forma estática. Este modo de vuelo con rachas de vientos elevadas puedan desplazar el dron si se encuentra tomando imágenes de lugares puntuales.

- Movimientos del dron en vuelo: corresponden a las actividades básicas que realiza el dron para desplazarse. Estas maniobras son:

**Guiñada:** se denomina así al movimiento de rotación de un dron sobre su eje vertical. Este desplazamiento permite efectuar un giro del dispositivo en 360° a la derecha o a la izquierda. Mediante este movimiento de rotación se puede variar la dirección del dron y orientar siempre su elemento frontal en el sentido de la dirección de avance. En control de guiñada es crucial para controlar la posición del dron y localizar las luces delanteras y traseras para el avance adecuado. La simetría de algunos modelos de drones impide identificar la parte frontal, lateral y trasera a distancia si no identificas las luces o el gimbal (cardán)<sup>4</sup>.

**Alabeo:** es el movimiento de ladeo o inclinación hacia la derecha o izquierda que induce al dron a planear realizando ligeros giros a la derecha o izquierda. Este movimiento se efectúa sobre el eje longitudinal al dron que cruza de la punta a la cola, y es más visual en drones de ala fija, pues al tiempo que avanza se puede inclinar la aeronave a la izquierda o a la derecha.

<sup>4</sup> Cardan o Gimbal: término genérico para un soporte pivotante que permite la rotación de objetos alrededor de un eje, pero en el mundo de los drones, los cardanes ayudan a estabilizar las cámaras en una montura motorizada de dos o tres ejes.



**Cabeceo:** el movimiento análogo al alabeo, aunque en este proceso, la inclinación se realiza de arriba a abajo. Esta inclinación posibilita realizar una picada hacia abajo o hacia arriba. El eje de rotación es transversal y cruza el dron de izquierda a derecha. Los movimientos de cabeceo durante la realización de toma de imágenes frontales propician la inclinación de la zona frontal del dron haciendo que se vean partes de las hélices aunque la cámara permanece estabilizada.

- Sistemas de vuelo según el alcance visual: en función de las condiciones visuales en las que se encuentre, el peso del dron, las distancias legales establecidas y los mecanismos de control de la aeronave se podrá encontrar los siguientes sistemas de vuelo:

**VLOS:** se trata del vuelo convencional dentro del alcance visual. Este sistema de vuelo permite volar el dron sin perderla de vista, una distancia máxima de 500 metros y una altura sobre el terreno de 120 metros desde el objeto más elevado situado en un radio de 150 metros de la aeronave según la legislación española.

**EVLOS:** se refieren a aquellos vuelos dentro del alcance visual en el que se solapan las zonas de vuelo mediante radios consecutivos. Se podría considerar como un sistema de vuelo variante VLOS y que permite operar con un piloto que trabaja en una zona de influencia de 500 metros y 120 metros de altura respaldándose en otros pilotos que se van solapando de manera gradual en radios de 500 metros. Con esta modalidad de operación se produce un VLOS extendido y el elemento visual pasa de piloto en piloto respaldándose entre ellos a través de comunicación por emisora.

**BVLOS:** serán aquellos vuelos que se realiza fuera del alcance visual y en los que se necesita trabajar con medios auxiliares que permitan tener bajo control la posición la aeronave en todo momento. Se puede realizar este tipo de vuelos a una distancia máxima de 500 metros y una altura sobre el terreno de 120 metros desde el objeto más elevado situado en un radio de 150 metros de la aeronave según la legislación española.

- Modo de vuelo: se puede encontrar diferentes tipos de vuelo en función de la asistencia y opciones soportadas por el dron.

**Vuelos estabilizados con ayuda GPS:** cuando se desplace el dron y se suelten los mandos del control, la aeronave, se detendrá de forma automática para posicionarse en modo estacionario. Es una buena opción para que el dron quede inmóvil en caso de soltar los mandos de control.

**Vuelos en modo ATTI:** cuando se desplace el dron y se suelte los mandos del control, el dron se dejara ir en esa dirección siguiendo un vuelo de crucero sin detenerse hasta que se vuelvan a tomar los mandos. Interesante para dejar que el dron avance pasivamente, pero peligroso por riesgo de perderlo o estrellarlo si no retomas el control a tiempo.

#### 4.1.3.8.2. *Trayectoria de vuelo* [27]



La trayectoria de vuelo será ligeramente diferente en función del tipo de resultado que se necesite y el terreno/estructura que se necesite reconstruir. La trayectoria de un vuelo para una ortofoto es muy diferente que la trayectoria de un vuelo para generar un volumen 3D.

Las trayectorias de vuelo se explican en 4.1.3.7.PLANIFICACION DE VUELO FOTOGRAMETRICO. ESCENARIO DE VUELO.

#### **4.1.3.8.3. Planificación de vuelo [28]**

Una planificación adecuada debe incluir el número de pasadas, velocidad y altura de vuelo, recubrimiento entre pasadas, inclinación de la cámara, cuando obtener la fotografía, ángulo, barrido, distancia entre puntos y desniveles. Asimismo, si se trata de un vuelo LIDAR debería incluir el ángulo y frecuencia de barrido, distancia entre puntos, ancho de barrido etc.

La selección de la fecha también es importante y debe tenerse en cuenta las condiciones meteorológicas y ambientales esperadas. Unas condiciones desfavorables pueden afectar la operatividad del sistema y reducir el alcance y precisión esperada. En general, el vuelo no debe realizarse cuando halla niebla, nieve, humo, polvo, zonas inundadas o factores medio ambientales que dificulten o reduzcan la precisión del sensor.

Con respecto al horario se recomienda volar en horas en la cuales la altura del Sol sobre el horizonte sea  $\geq 40$  grados sexagesimales.

Un error muy común en los vuelos con drones es no tener en cuenta la altura y desnivel del terreno a cartografiar. Una planificación correcta se debe considerar esto. Además se debe volar a distancia constante del terreno para mantener un tamaño de pixel homogéneo.

#### **4.1.3.8.4. Elección del tipo de drone / cámara[27]**

Los drones de ala fija son preferibles para cubrir extensiones por encima de unas pocas decenas de hectáreas. Su gran autonomía de vuelo, cercana a la hora, y su mayor velocidad de crucero los hace ideales para cubrir grandes cultivos, estructuras lineales y carreteras, etc.

Por otro lado, los multirrotores son más recomendables para mapear extensiones más pequeñas. Lo usual es que sus baterías sean suficientes para vuelos de 20-30 minutos.

Si las condiciones de viento son intensas, un multirrotor con gimbal dará más estabilidad en las imágenes, al coste de tener que planificar vuelos algo más cortos. Las alas fijas, especialmente las de menor peso, suelen ser más vulnerables a las ráfagas de viento.

Hay cámaras que no son apropiadas para ciertos trabajos. Por ejemplo, no es posible calcular índices de vigor agrícolas (ej., NDVI, SAVI...) con cámaras RGB. Para ellos son necesarias cámaras multispectrales. Dela misma forma, si queremos capturar imágenes termográficas necesitaremos que una cámara termográfica.

#### **4.1.3.8.5. Solape de imágenes[27]**

Para que un detalle sea reconstruido con precisión, es necesario realizar un número mínimo de capturas. Esto se plasma en el solape longitudinal y transversal entre una imagen y la anterior/siguiente.

Un solape deficiente tenderá a generar vacíos en la ortofoto, roturas y discontinuidades que serán evidentes a simple vista. Al contrario de lo que se cree, no es cierto que a mayor solape se obtenga mejor precisión en el resultado. Sin embargo, un solape longitudinal



excesivo, con los centros de cada imagen muy juntos, se pierde visión estereoscópica a la hora de la restitución, así un solape del 80% no permite observar correctamente el efecto 3D de la visión estereoscópica. En la mayoría de los casos, solo consigue elevar los costes de procesado y alarga los tiempos de entrega.

Como regla general, se aconsejan solapes (aproximados) del 70-80% frontal y del 60-70% lateral. La mayoría de softwares de planificación permitirán incluir este dato como parámetro.

Por lo que se refiere a volúmenes 3D, el solape es un tanto más difícil de calcular. En cualquier caso, como ejemplo, una estructura semejante a un edificio requerirá un conjunto de trayectorias circulares a varias alturas. Las imágenes generadas para una altura en concreto deben solaparse con las alturas superiores/inferiores. Cada vuelta debe generar una foto cada 5-10 grados, es decir, entre 40 y 80 fotos.

#### 4.1.3.8.6. Resolución y precisión[27]

Estas dos variables dependen de varios factores.

Por resolución se entiende al grado de precisión de las imágenes tomadas con el dron y está directamente vinculada con la GSD (Ground Simple Distance). La GSD indica la distancia ente dos centros de píxeles (4.1.3.5.1 mínimas características o características de la imagen) consecutivos calculados en el suelo. Por tanto, a menor sea el valor de la GSD de las imágenes, mayor será la resolución espacial que logremos en el modelo.

Los dos principales factores que afectan le directamente son:

- La altura de vuelo: a mayor altura de vuelo, mayor superficie cubierta pero con un menor detalle. En otras palabras, la GSD aumenta a medida que aumentamos la altura de vuelo.
- El sensor y la óptica de la cámara: usando una cámara con más megapíxeles se obtiene una mejor GSD a la misma altura de vuelo.

Una vez se realice el procesamiento de las imágenes, el resultado se aproximará con la GSD de las imágenes de entrada. De todas formas existen factores que al igual que el GSD, afectan a la presión de los resultados. Entre todas ellas, las que más suceden, imágenes borrosas, con poco solape, mala iluminación, etc., producirán ortofotos con poca nitidez. Los píxeles se corresponderán con la GSD, pero no es posible distinguir detalles que, aun cuando la GSD sea suficiente, no estarán debidamente delimitados. En cierto modo, el producto será una versión sin detalle de las originales.

#### 4.1.3.8.7. Puntos de control

Se recomiendan usar, siempre que sea posible, ya que su uso resulta positivo en el procesamiento de las imágenes obtenidas. Para ello, es necesario anotar las coordenadas de cada punto además de una referencia visible en cada una de las imágenes para poder identificarlas.

Los puntos de control son marcas apreciables realizadas con pintura, cal, dianas, elementos del terreno u otros objetos que son irreconocibles dentro de las imágenes tomadas por el dron. Para obtener estos puntos de control es indispensable utilizar un GPS RTK o una estación total de modo que conozcamos las coordenadas geográficas exactas (x,y,z y/o latitud, longitud y altitud) de cada punto.

Como mínimo serán necesarios entre 4 y 5 puntos de control. No obstante lo ideal es tener varios puntos extra sobre los que poder apoyar los cálculos. En el supuesto de tener



datos muy extensos, con formas alargadas, etc. se recomienda poner puntos de control cada 500-1.000 metros lineales. Independientemente de estos puntos también es aconsejable tomar algún punto de control extra (puntos de validación). Aunque quedan fuera de los cálculos son útiles después para validar la precisión del modelo. Es esencial que los puntos de control sean visibles en varias imágenes. Por eso, es conveniente evitar las áreas más alejadas de la zona fotografiada. Se debe evitar punto de control muy pequeño, del mismo color que su entorno, u oculto por otros factores, ya que estos resultaran inservibles. [27]

#### **4.1.3.8.8. Extensión del área[27]**

En función del caso, es vital que el trabajo previo de planificación de la misión incluya la selección adecuada del tipo de dron. Ya que, con un multirroto se cubren alrededor de 15-30 hectáreas como máximo por vuelo, al tiempo que con un dron de ala fija se pueden cubrir 100 hectáreas incluso excederlas.

Si se dispone de una pequeña extensión, están se planifican de forma sencilla, tan solo hay que tener en cuenta el solape entre imágenes y el tipo de trayectoria. En extensiones mal amplias, es probable que haya que realizar un cambio de baterías o cargar las ya disponibles en el dron. Se debe tener en cuenta que es necesario, al menos un solape del 20% en cada misión, esto es, las zonas de contacto entre las áreas cubiertas deben ser visibles en todas la misiones de vuelo. Si se disponen de puntos de control, es recomendable que alguno de ellos esté en las zonas comunes. Además, es conveniente limitar la cantidad de toma de imágenes a unas 1000-1200 imágenes por misión.

#### **4.1.3.8.9. Falta de control de calidad[28]**

El control de calidad debe acompañarse de una serie de test de control, con la apoyo de un conjunto de herramientas, que permitan estimar objetivamente los resultados obtenidos.

El control de calidad se hace particularmente importante si para procesar los datos obtenidos se ha optado por métodos de procesamiento automáticos, como se ha de hacer con la clasificación automática de puntos LIDAR.

La estructura de los trabajos de control de calidad de un vuelo con UAV debe integrar por una parte, el análisis de la documentación generada en cada una de las fases y por otra, la revisión de la metodología, medios técnicos empleados y parámetros de precisión obtenidos.

No se debe esperar al final del proceso para realizar un control de calidad, si no que se debe ir haciéndolo desde las fases iniciales.

De forma muy esquemática se debe hacer:

- control de calidad de la planificación
- control de calidad de la ejecución
- análisis y test de control

El control de calidad debe incluir:

- Análisis de la documentación en cada una de las fases.
- Revisión de la metodología.
- Medios técnicos utilizados.
- Parámetros de precisión obtenidos.

#### **4.1.3.8.10. Errores con el dron (principalmente marca DJI)[29]**

- Asumir que los sistemas de visión están siempre activos



El Sistema de Visión Abajo también se conoce como VPS, o Sistema de Posicionamiento de la Visión. El sistema de visión descendente ayuda al dron a estabilizarse cuando vuela a o por debajo de unos metros. El sistema de visión delantera ayuda al dron a evitar obstáculos, ya sea que vuele manualmente o regrese automáticamente a casa.

Si bien estos sistemas son útiles, no salvarán de un accidente en todas las situaciones posibles. Esto es particularmente cierto con poca luz. Estos sistemas necesitan mucha luz para funcionar, por lo que si vuelas por la noche, no estarán activos. Ambos sistemas de visión tampoco estarán activos en el modo deportivo.

Hay un par de maneras en que puede saber si sus Sistemas de Visión están activos o no. Uno es el LED en la parte posterior del dron, también conocido como el Indicador de Estado de la Aeronave. Cuando los Visions Systems están inactivos, parpadeará en verde lentamente si tiene GPS o parpadeará lentamente si no tiene GPS.

El otro es con DJI GO 4. Puede ver si los Sistemas de Visión están inactivos desde la aplicación. Si el icono del sensor en la esquina superior izquierda es rojo, entonces sus Sistemas de Visión están inactivos, y así evitar uno de los errores comunes.

- Asumir que el sistema de visión hacia adelante puede detectarlo todo

El sistema de visión delantera, no siempre detectará objetos delgados, como líneas eléctricas o ramas de árboles, o superficies transparentes, como ventanas de vidrio. Mientras que las capacidades de evitación de obstáculos pueden potencialmente salvar su dron, siempre es inteligente volar con seguridad y evitar obstáculos manualmente cuando sea posible.

- No quitar la cubierta del cardan<sup>5</sup> durante el vuelo o la abrazadera del cardan (especial para DJI)

Un DJI tiene 2 piezas de plástico que protegen su cardán. Uno se llama la cubierta del cardán. Esta es la burbuja del casco de astronauta que protege su cardán y lente de la cámara de ser dañados. El otro es la abrazadera de cardán, que bloquea el cardán en su lugar y evita que se mueva durante el transporte.

La cubierta del cardan puede dejarse puesta dependiendo el uso que se la vaya a dar. Dejar la cubierta puesta para una protección adicional, o quítela para la mejor calidad de imagen posible. Si quieres la mejor calidad de imagen posible, es una buena idea quitar la cubierta. Por ejemplo, dejar la cubierta del cardán puesta hace que sea más probable que tengas un destello de lente, y tus disparos pueden no verse limpios si la cubierta está sucia.

Si se deja la abrazadera puesta cuando enciende el dron, los motores del cardán intentarán inicializar el cardán, pero en última instancia fallarán.

Si se olvidas de ponértelo después del vuelo, se moverá durante el transporte y las posibilidades de que se dañe aumentarán.

- Vuelo en entornos inadecuados

Serie de entornos en los que se sugiere no volar:

- No usar el avión en condiciones climáticas severas, incluyendo altas velocidades de viento superiores a 10 m/s, nieve, lluvia y niebla.

---

<sup>5</sup> Cardan o Gimbal: término genérico para un soporte pivotante que permite la rotación de objetos alrededor de un eje, pero en el mundo de los drones, los cardanes ayudan a estabilizar las cámaras en una montura motorizada de dos o tres ejes.



- Solo volar en áreas abiertas. Las estructuras metálicas altas o grandes pueden afectar la precisión de la brújula y el GPS a bordo.
  - Evite obstáculos, multitudes, líneas eléctricas de alta tensión, árboles y agua.
  - Minimizar las interferencias evitando áreas con altos niveles de electromagnetismo, incluyendo estaciones base cercana y torres de transmisión de radio.
  - El rendimiento de las aeronaves y las baterías está sujeto a factores ambientales como la presión del aire y la temperatura. Tenga mucho cuidado cuando vuele a altitudes superiores a 6000 metros sobre el nivel del mar, ya que el rendimiento de la batería y la aeronave puede verse afectado
- Choque mientras frena

Si deja de empujar el avión hacia adelante, seguirá avanzando un poco debido a la inercia. Mientras que el Sistema de Visión Adelante puede proteger la aeronave en tales situaciones, el Sistema de Visión Adelante no siempre está activo y no reconocerá todos los objetos. Si se acerca hacia una obstrucción y se suelta el control justo antes de llegar a él, el dron puede estrellarse.

Recuerde que su dron tarda tiempo en frenar y mantenga una distancia segura de los obstáculos.

- No evitar obstáculos más allá de la línea de visión

Cuando vuelas tu avión más allá de Line-of-Sight (a menudo abreviado como LOS), solo puedes ver lo que rodea a tu dron con la vista de cámara en la aplicación. Si absolutamente necesita volar más allá de LOS, asegúrese de tener un observador y establezca la altura de RTH más alta que el obstáculo más alto de la zona.

- Volando hacia atrás rápidamente.

No todos los drones disponen de un sistema de visión trasera. Siempre hay una posibilidad de estrellarse si vuela hacia atrás a una velocidad vertiginosa y miras la pantalla de tu teléfono o tableta.

- Volando en interiores

Debido a la falta de una amplia señal GPS en interiores, es mucho más que el dron probable que se desvíe. Incluso con el VPS activo, muchos suelos son monocromáticos, lo que hace que sea difícil para el VPS detectar patrones de superficie y estabilizarse en consecuencia. Además, muchos suelos están alfombrados o cubiertos. La alfombra absorbe el ultrasonido, y los drones DJI utilizan sensores ultrasónicos para estabilizarse.

### 4.1.3.9. Estudio de mercado

#### 4.1.3.9.1. Drones

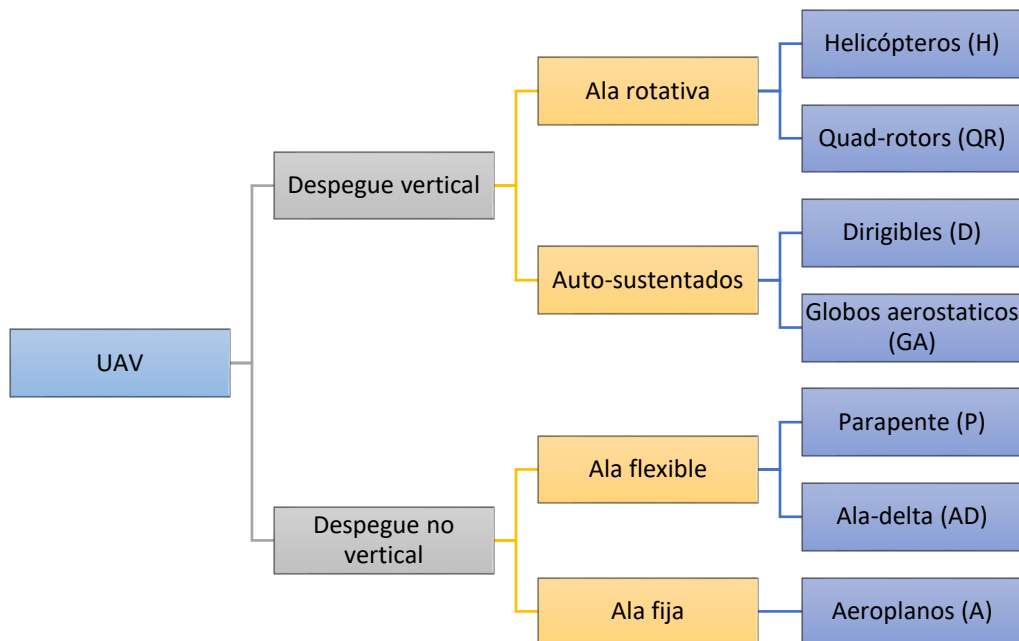


Figura 45. Clasificación Drones [30]

Tipos de drones en función de su tipo de sustentación: Ala fija y ala rotatoria. [31]

- Drones de ala fija

Esta clase de drones son aeronaves que tienen un perfil alar que permite que la aeronave pueda desplazarse en el aire y poder generar fuerzas sustentadoras para sostenerse e en el aire.

Su principal característica es la gran autonomía debida a su aerodinámica. Pueden volar varias horas. Por ello, son ideales para mapear grandes superficies de terreno. Su mayor uso se da en agricultura de precisión y fotogrametría.



Figura 46. drones ala fija[31]

Este tipo de drones no pueden realizar vuelos estacionarios (no pueden realizar trabajos que requieran que este volando fijo a una altura determinada) y no pueden ni aterrizar ni despegar en vertical.



- Drones de ala rotatoria

Son más conocidos como multirrotores, siendo los más extendidos y más utilizados.

La principal diferencia de los multirrotores en relación a los drones de ala fija reside en la forma en la que consiguen mantenerse en el aire. Mientras que los drones de ala fija alcanzan la sustentación a través de su perfil alar, los multirrotores generan la sustentación a través de las fuerzas que generan las hélices de sus rotores.

Su característica principal es su versatilidad. Permiten instalar diferentes tipos de cámaras y también, efectuar vuelos estacionarios que permiten realizar trabajos de inspección. Son capaces de despejar y aterrizar de forma vertical.



*Figura 47. Drones de ala rotatoria*

El principal inconveniente es su autonomía, habitualmente alrededor de 20-30 minutos. Este tipo de drones tiene un elevado consumo energético a causa de la necesidad de que todos sus rotores deben estar funcionando para que esta permanezca en el aire.

MODELO	CÁMARA	TIPO OBTURADOR/ OBJETIVO	AUTONOMIA	PESO	RANGO SEÑAL	DETECCIÓN DE OBSTACULOS	PROGRAMA PLANIFICACION / APP	PRECIO
<b>DJI Phantom 4 Pro V2.0<sup>6</sup></b>	Sensor: 1.2.3" CMOS Píxeles efectivos: 20MP. video: resolución 4k	Tipo mecánico/electrónico. OV 84° 8.8 mm / 24 mm (formato equivalente a 35 mm) f/2.8 - f/11, enfoque a 1 m - ∞	Aprox 30 min	1375 g	10 km	Si. En 5 direcciones. (Frontal, trasera, inferior, laterales)	Pix4D/DroneDeploy/ DJI GO 4 / DJI GS PRO	1699€
<b>DJI Phantom 4 advanced</b>	1" CMOS Píxeles efectivos: 20M	Tipo mecánico FOV 84° 8.8 mm / 24 mm (formato equivalente a 35 mm) f/2.8 - f/11, enfoque a 1 m - ∞	Aprox 30 min	1368 g	3,5-7 km	Si. En dirección frontal	Pix4D/DroneDeploy/ DJI GO 4 / DJI GS PRO	1399 €
<b>DJI Phantom 4 RTK<sup>7</sup></b>	1" CMOS Píxeles efectivos: 20 MP	Tipo mecánico/electrónico. FOV 84° 8.8 mm / 24 mm (formato equivalente a 35 mm) f/2.8 - f/11, enfoque a 1 m - ∞	Aprox 30 min	1391 g	5-7 km	Si. En 5 direcciones. (Frontal, trasera, inferior, laterales, superior)	DJI GS RTK (preinstalada para modos Fotogrametría o Trayectoria)	5700-12450€
<b>DJI Mavic AIR 2</b>	1/2" CMOS Píxeles efectivos: 12 MP y 48 MP	FOV: 84° Formato equivalente a 35 mm: 24 mm Apertura: f/2.8 Distancia de enfoque: 1 m a ∞	Aprox 33 min	570 g	6-10 km	Si. En 3 direcciones. (Frontal, trasera, inferior) (APAS) 3.0	DJI FLY / * / **	849 €
<b>DJI Mavic AIR 2S</b>	1" CMOS Píxeles efectivos: 20 MP; Tamaño de píxel de 2.4 μm	FOV: 88° Formato equivalente: 22 mm Apertura: f/2.8 Distancia de enfoque: 0.6 m a ∞	Aprox 30 min	595 g	8-12 km	Si. En 4 direcciones. (Frontal, trasera, inferior, superior)	DJI GO 4 / DJIFly / * / **	999 €
<b>DJI Mavic MINI</b>	1/2.3" CMOS Píxeles efectivos: 12 MP	Tipo electrónico FOV: 83° Formato equivalente a 35 mm: 24 mm Apertura: f/2.8 Distancia de enfoque: 1 m a ∞	Aprox 30 min	249 g	4 km	Si. En dirección inferior	DJI Fly / *	399 €
<b>DJI Mavic MINI 2</b>	1/2.3" CMOS Píxeles efectivos: 12MP	Tipo electrónico FOV: 83° Formato equivalente a 35 mm: 24 mm Apertura: f/2.8 Rango de enfoque: 1 m a ∞	Aprox 30 min	<249 g	6-10 km	-	DJI Fly / *	549 €

<sup>6</sup> Diferencia, 4 pro + V2.0CR tiene pantalla (5.5", 1080p, 1000 cd/m²), precio 1.999€

<sup>7</sup> Función de cartografía



MODELO	CÁMARA	TIPO OBTURADOR/ OBJETIVO	AUTONOMIA	PESO	RANGO SEÑAL	DETECCIÓN DE OBSTACULOS	PROGRAMA PLANIFICACION / APP	PRECIO
<b>DJI Mavic 2 PRO<sup>8</sup></b>	1" CMOS Píxeles efectivos: 20 millones	Tipo electrónico FOV: 77° Formato equivalente a 35 mm: 28 mm Apertura: f/2.8 - f/11 Distancia de enfoque: 1 m a ∞	Aprox 30 min	907 g	6-10 km	Si. Omnidireccional. 5 direcciones. (Frontal, trasera, inferior, laterales, superior)	Pix4D/DroneDeploy/ DJI GO 4/ DJI GS PRO	1499 €
<b>DJI Mavic 2 ZOOM</b>	1/2.3" CMOS Píxeles efectivos: 12 millones	Tipo electrónico FOV: cerca de 83° (24 mm), cerca de 78° (48 mm) Formato equivalente a 35 mm: 24 - 48 mm Apertura: f/2.8 (24 mm) - f/3.8 (48 mm) Distancia de disparo: 0.5 m a ∞	Aprox 30 min	905 g	6-10 km	Si. Omnidireccional. 5 direcciones. (Frontal, trasera, inferior, laterales, superior)	DroneDeploy / DJI GO 4 / DJI GS PRO / *	1249 €
<b>DJI 2 Mavic Enterprise Dual</b>	Térmica M2ED. Microbolómetro VOx no refrigerado  Cámara visual M2ED 1/2.3" CMOS Píxeles efectivos: 12 MP  Cámara M2E 1.2/3" CMOS; Píxeles efectivos: 12 megapíxeles	Campo de visión horizontal (HFOV): 57° Apertura: f/1.1 FOV: 85° aprox. Formato equivalente en 35 mm: 24 mm Apertura: f/2.8 Enfoque: 0.5 m a ∞ Campo de visión: 82.6° (24 mm); 47.8° (48 mm) Formato equivalente en 35 mm: 24 - 48 mm Apertura: f/2.8 (24 mm) - f/3.8 (48 mm) Enfoque automático: 0.5 m a ∞	Aprox 30 min	899 g	5-8 km	Si. Omnidireccional. 5 direcciones. (Frontal, trasera, inferior, laterales, superior)	DroneDeploy / DJI GS PRO / DJI PILOT / *	2899 €
<b>DJI Matrice 200 V2</b>	Cámara FPV Zenmuse X4S/X5S/X7/XT/XT2/Z30	Estabilizador inferior único	Aprox 38 min	4690 g	5-8 km	Si. En 3 direcciones. (Frontal, superior, inferior) + baliza anticolidión.	Pix4D (IOS)/ DroneDeploy /DJI GS PRO / DJI Pilot/*	-

<sup>8</sup> Actualmente el más popular del mercado junto con Phantom 4 Pro V2.0



MODELO	CÁMARA	TIPO OBTURADOR/ OBJETIVO	AUTONOMIA	PESO	RANGO SEÑAL	DETECCIÓN DE OBSTACULOS	PROGRAMA PLANIFICACION / APP	PRECIO
<b>DJI Matrice 210 V2</b>	Puerto de estabilizador derecho: Zenmuse X4S/X5S/X7/XT/XT S/XT2/Z30. Puerto de estabilizador izquierdo: Zenmuse XT/XT S/Z30.	Estabilizador inferior único, dos estabilizadores inferiores, estabilizador superior único Se puede controlar el ángulo de ambos estabilizadores y tomar fotografías y vídeos con ambas cámaras con estabilizador inferior. No pueden controlarse ambas cámaras simultáneamente	Aprox 34 min	4800 g	5-8 km	Si. En 3 direcciones. (Frontal, superior, inferior) + baliza anticolidión.	DroneDeploy / DJI GS PRO / DJI Pilot/ *	-
<b>DJI Matrice 210 RTK V2</b>	Puerto de estabilizador derecho: Zenmuse X4S/X5S/X7/XT/XT S/XT2/Z30. Puerto de estabilizador izquierdo: Zenmuse XT/XT S/Z30.	Estabilizador inferior único, dos estabilizadores inferiores, estabilizador superior único Se puede controlar el ángulo de ambos estabilizadores y tomar fotografías y vídeos con ambas cámaras con estabilizador inferior No pueden controlarse ambas cámaras simultáneamente	Aprox 34 min	4910 g	5-8 km	Si. En 3 direcciones. (Frontal, superior, inferior) + baliza anticolidión.	Pix4D / DroneDeploy / DJI Pilot/ DJI GS PRO	-
<b>DJI Matrice 300 RTK</b>	Cámara FPV Zenmuse XT2/XT S/Z30/H20/H20T/DJI P1/DJI L1	Estabilizador inferior único, dos estabilizadores inferiores, estabilizador superior único, estabilizadores superior e inferior, tres estabilizadores	Aprox 55 min	3600 g- 6300 g	15 km	Si. En 5 direcciones. (Frontal, trasera, inferior, laterales, superior)	DJI FlightHub / DJI Pilot	-
<b>DJI Matrice 600 PRO</b>	Ronin-MX; ZENMUSETM Z30, Zenmuse X5/X5R, Zenmuse X3, Zenmuse XT; Zenmuse Z15 Series HD Gimbal: Z15-A7, Z15-BMPCC, Z15-5D III, Z15-GH4	-	Aprox 38 min	10000g	5 km	-	Pix4D / DJI GS PRO	-



MODELO	CÁMARA	TIPO OBTURADOR/ OBJETIVO	AUTONOMIA	PESO	RANGO SEÑAL	DETECCIÓN DE OBSTACULOS	PROGRAMA PLANIFICACION / APP	PRECIO
Parrot Anafi	1/2.4" CMOS Opción cámara térmica	LENTE: ASPH (Lente esférica de baja dispersión) Apertura: f/2.4 Distancia focal (Formato 35mm equivalente): 23-69mm (foto), 26-78mm (vídeo) Profundidad de campo: 1.5m - ∞ Velocidad de obturación: obturación electrónica de 1 a 1/10000 s Valor ISO: 100-3200	Aprox 25 min	320 g	4 km		Pix4D / FreeFlight6	699 €

\*Aunque el dron no sea compatible con aplicaciones de planificación de vuelo Pix4D o DroneDeploy, las imágenes tomadas desde cualquier otra aplicación pueden usarse en Pix4Dmapper

\*\* Funciones MasterShots | APAS 3.0 / 4.0 | Hyperlapse | Spotlight 2.0 | ActiveTrack 3.0 / 4.0 | Punto de interés 2.0 / 3.

Drones descatalogado de la marca DJI pero compatibles con Pix4D y DroneDeploy:

- Serie mavic: AIR, pro y pro platimun
- Serie matrice: M100, M200, M210, M210 RTK y M600
- Serie phantom: 1, 2, 2 vision, 2 vision+, 3 standar, 3 professional, 3 advance, 3-4K, 3 SE, 4 PRO V1 y 4 Pro+V1.
- Serie spark

Datos obtenidos [32], [33]

## 4.1.3.9.2. Programas procesamiento fotogrametría

### 4.1.3.9.2.1. DroneDeploy [34]

La aplicación de software DroneDeploy automatiza el vuelo en UAV y además facilita la captura de imágenes aéreas. La plataforma de software DroneDeploy procesa las imágenes de los vehículos aéreos no tripulados utilizando la visión por ordenador, convirtiéndolas en mapas en 2D, 3D, modelos, etc.

vuelo	 <b>Captura de datos completa</b> Capture fácilmente cualquier tipo de medio de drones, incluidas fotos, mapas, videos y panoramas	 <b>Vuelo autónomo seguro</b> Haga que la planificación compleja sea simple y segura con solo unos pocos toques	 <b>Resultados en tiempo real</b> Cree mapas instantáneos, fotos, panoramas y videos que se sincronizan desde su dispositivo móvil	 <b>Soporte completo para drones</b> Compatible con los drones más populares para que pueda empezar a trabajar hoy
procesado	 <b>Alta precisión de datos</b> Recrear la realidad con el mejor procesamiento de su clase que da como resultado modelos de grado de encuesta	 <b>Salida de datos robusta</b> Cargue y procese datos de una amplia gama de sensores y formatos, incluidos los de video y térmicos radiométricos.	 <b>Infraestructura de nube escalable</b> Genere y procese mapas, modelos y videos detallados sin capacitación especializada	 <b>Información basada en inteligencia artificial</b> Cuanto más vuele, más inteligente será el motor para ofrecer resultados adaptados a su industria.
análisis	 <b>Unifique sus datos</b> Compare diferentes conjuntos de datos para recopilar información valiosa a lo largo del tiempo	 <b>Colabora desde cualquier lugar</b> Conecte a su equipo con un registro visual interactivo y actualizado de su proyecto	 <b>Medir e informar</b> Mida el volumen, la pendiente y la distancia, y genere informes profesionales con solo hacer clic en un botón	 <b>Automatizar conocimientos</b> Información que necesita con detección y recuento automático de objetos como pilas, árboles y automóviles

#### - DroneDeploy App

Con esta App se selección el área en la que se desea crear el mapa y el drone volará de forma 100% autónoma sobre el área objetivo tomando imágenes de alta resolución a intervalos regulares programados. Las imágenes capturadas por el dron son geotiquetadas, lo que ayuda a crear los mapas. Mientras el drone está volando, aparecerá un mapa 2D en su aplicación DroneDeploy. Cuando termina, las imágenes son subidas al sitio web de DroneDeploy. Después del procesado, las fotos quedarán integradas en los mapas o modelos en 3D.

Características de la aplicación móvil Drone Deploy:

- Realiza fácilmente planes de vuelo en cualquier dispositivo.
- Automatizar el despegue, vuelo, captura de imágenes y aterrizaje.
- Transmisión en directo First Person View (FPV).
- Desactiva el control de vuelo automático y reanuda el control con un solo toque.
- Continuar fácilmente los vuelos ininterrumpidos para trazar mapas de grandes áreas.



- Explore Orthomosaic, NDVI, mapas interactivos de Digital Elevation y modelos 3D.
- Mide el área y el volumen al instante.
- Colabore con un equipo a través de mapas y comentarios compartidos.
- Obtenga ayuda cuando la necesite con soporte para aplicaciones.

- DroneDeploy Live Map – Mapeo en tiempo real

El mapa en vivo creará mapas en 3D mientras vuela sobre el área objetivo. Permite ver los datos sobre los que se puede actuar de inmediato. No hay necesidad de esperar a que los datos sean cargados y luego procesados. Está creando los mapas y el modelo mientras el dron vuela.

Estos son algunos de los principales beneficios de DroneDeploy Live Map.

- Resultados instantáneos – Genere información aérea en segundos y sincronice sus datos con la nube.
- Percepciones in situ – Visualice y tome medidas inmediatas con imágenes RGB y térmicas.
- Mapas Móviles – Planifique un vuelo, despegue y vea los mapas en pantalla durante el vuelo.
- Rápido – Obtenga una vista aérea de su sitio de trabajo, campo o proyecto más rápido que nunca.
- En tiempo real – Convierta cientos de acres en mapas consumibles sin tener que volver a la oficina.
- Colabore – Comparta mapas con clientes, colaboradores y analistas en cuestión de minutos, ya que no es necesario cargarlos.
- Datos de alta resolución – Cree mapas de alta resolución para un análisis más detallado en cualquier dispositivo del mismo vuelo.

Para crear un mapa o modelo 3D de alta resolución, se suben sus imágenes a la plataforma de nube de Drone Deploy. El software utiliza la visión por ordenador y algoritmos para combinar las fotos y generar los mapas en 3D.

Otros datos de salida incluyen las mediciones de volumen y el Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI), utilizado por los aviones teledirigidos multiespectrales.

La aplicación DroneDeploy por sí misma le permite hacer lo siguiente:

- Mida el volumen.
- Ver datos de elevación.
- Monitorear la salud de la planta.
- Generar líneas de contorno.
- Realice un seguimiento de los cambios de un área o proyecto a lo largo del tiempo.
- Cree y vea mapas ortomosaicos en 2D y 3D.
- Salida en muchos formatos (JPG, TIFF, OBJ, LAS, SHP, DXF).

Precio 2555 €



#### 4.1.3.9.3. Pix4D [35]

Pix4D es un software de fotogrametría que, a partir de un conjunto de imágenes con solape, genera nubes de puntos en común entre ellas para construir ortomosaicos y modelos digitales de superficie (MDS) y del terreno (MDT) para generar cartografía 2D, modelos 3D etc.

El conjunto de productos Pix4D incluye: Pix4Dmapper, Pix4Dfields, Pix4Dcloud, Pix4Dinspect, Pix4Dscan, Pix4Dreact, Pix4Dsurvey, Pix4Dcatch, Pix4Dmatic, Pix4Dcapture y Pix4Dengine.

Sus líneas de software operan en plataformas de escritorio, en la nube y móviles.

El precio depende de los productos que se contraten.

Las herramientas disponibles se dividen en:

- Software de fotogrametría y geoespacial

Mapper → Software de fotogrametría para mapeo profesional con drones

Survey → El punto de encuentro entre la fotogrametría y CAD

Matic → Fotogrametría a gran escala

Cloud → Plataforma en línea para el mapeo con drones, el seguimiento de actividades y la documentación de sitios.

- Aplicaciones para sectores

Inspect → Automatice la inspección industrial y la gestión de activos con imágenes de drones

Fields → Mapeo de campo y análisis aéreo de las cosechas para agricultura digital

React → Mapeo rápido en 2D para atención de emergencias y seguridad pública

Cloud advanced → Plataforma en línea para el mapeo con drones, el seguimiento de actividades y la documentación de sitios - con funciones avanzadas.

Engine → Cree una realidad futura que se base en imágenes con información basada en datos para su negocio

- Aplicaciones para captura de datos

Capture → Aplicación móvil gratuita para planear, volar y obtener imágenes optimizadas para mapeo profesional con drones

Catch → Aplicación de captura terrestre en 3D para soluciones de fotogrametría

Scan → aplicación profesional de vuelo con drones para inspección óptima.




En los casos que se van a tratar o enfocar este trabajo, nos centraremos en las herramientas o aplicaciones capture y scan, para planificación de vuelos. Mapper y matic para la realización de fotogrametría mediante las imágenes obtenidas de los vuelos y survey para obtener planos fotogramétricos en CAD y realizar extracciones de datos necesarias. Además, se puede hacer uso de Cloud.








### PIX4D Capture

Aplicación para planificar y controlar el vuelo de drones haciendo uso de un teléfono móvil.

 Flexible	 Preciso	 Automático
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Drones tipo multicopteros y ala fija.</li> <li>○ Sensores RGB, multiespectrales y térmicos.</li> <li>○ Planificar y volar misiones en línea o sin conexión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Definir altitud en relación con GSD necesaria.</li> <li>○ Fijar ángulo de cámara, superposición de imágenes y velocidad de vuelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Carga directa desde UAV al software Cloud para procesarlas</li> </ul>

### PIX4D Scan






Aplicación profesional de vuelo con drones.

 Elegir misión	 Volar con tranquilidad	 Suba datos e inspeccione
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Seleccionar misión prediseñada en dispositivo IOS.</li> <li>○ Dispone planes de vuelo prediseñados para estructuras verticales, así como un vuelo semiautomático personalizable específicamente para torres de telefonía celular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ayuda a establecer parámetros necesarios para obtención de un conjunto de datos adecuado.</li> <li>○ Brinda datos telemétricos en tiempo real como altitud, velocidad, ángulo de inclinación etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Subir los datos a Inspect para crear modelos 2D y 3D precisos y fáciles de inspeccionar.</li> </ul>






## PIX4D Mapper

Software para fotogrametría para mapeo profesional con drones

 Capturar	 Digitalizar	 Controlar	 Medir e inspeccionar	 Colaborar y compartir
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Capturar imágenes RGB, térmicas o multispectrales.</li> <li>○ Si dron, usar Capture para automatizar el vuelo y transferir datos de imágenes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Transforma imágenes en modelos espaciales digitales.</li> <li>○ Procesar los proyectos usando la nube o la plataforma de fotogrametría de escritorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Evaluar y mejorar la calidad del proyecto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mida distancias, áreas y volúmenes. Extraiga los datos del perfil de elevación y realice inspecciones virtuales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Optimizar la comunicación del proyecto y el trabajo en equipo.</li> </ul>





## PIX4D matic

Próxima generación en software de fotogrametría para el mapeo a gran escala y de corredores

 <p>Conjuntos de datos más grandes, resultados precisos</p>	 <p>Procesamiento o simplificado</p>	 <p>Flujo de trabajo integrado</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ procesa miles de imágenes manteniendo una precisión.</li> <li>○ elimina la etapa de división y fusión, reduce por la mitad el tiempo de creación de nubes de puntos a partir de imágenes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Software desarrollado con prospectores y profesionales del mapeo con objetivo de agilizar flujo de trabajo.</li> <li>○ Importar, procesar y evaluar la calidad del proyecto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Puede procesar grandes conjuntos de datos generados con drones BVLOS (capaces de operar más allá del alcance visual del piloto).</li> </ul>

## PIX4D Survey

Punto de encuentro entre la fotogrametría y CAD

 Capturar	 Modele	 Vectorice	 Integrar
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Capture imágenes o nubes de puntos con un dron o con cualquier escáner láser.</li> <li>○ Automatice y optimice los vuelos de su dron gracias a la aplicación móvil gratuita capture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Transforme sus imágenes en nubes de puntos digitales e impórtelas a survey.</li> <li>○ Trabaje directamente con archivos mapper o con cualquier archivo .las o .laz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Extraiga elementos importantes del proyecto con survey y genere una red irregular triangular (TIN) para modelar el terreno y crear archivos de vectores CAD para ingenieros a partir de nubes de puntos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Consultar los datos en cualquier programa de CAD o SIG.</li> <li>○ Disfrute de su simplicidad y precisión y agregue capas y propiedades personalizadas</li> </ul>

### 4.1.3.9.4. Software DJI GS pro[36]

Aplicación orientada a la planificación y el vuelo autónomo de las aeronaves de la firma. Es compatible con los modelos más actuales de la marca (phantom, inspire, mavic, matrice...). Es una aplicación muy recomendable si posees un dron de la marca, puesto que todo el desarrollo está pensado totalmente para los drones de la marca. El único inconveniente de esta aplicación es que, de momento, solamente está disponible para iPad.

Una de las funciones es la denominada valla virtual. Esta funcionalidad va a impedir que el dron sobrevuele zonas que, con anterioridad, se hayan especificado.

Definir una trayectoria de vuelo es trivial a partir de indicaciones como la velocidad y altura del aparato, solape entre imágenes y el área que es necesario cubrir. Con esto se tendría la seguridad de poder generar ortofotos de calidad. Para reconstrucciones en 3D de alta calidad de objetos únicos, no es posible definir vuelos circular esa diferentes alturas.



#### 4.1.3.9.5. **Software Agisoft Metashape** [37][38]

Programa de fotogrametría profesional que se usa a menudo para sistemas de información geográfica, documentación de patrimonio cultural, desarrollo de videojuegos y creación de efectos visuales. Es apropiado tanto para fotogrametría aérea como para fotogrametría de corto alcance.

El programa cuenta con completas herramientas para editar la nube de puntos antes de generar una malla 3D, que incluyen clasificaciones automáticas de nubes de puntos para configurar la reconstrucción de la geometría. Por lo tanto, el software de fotogrametría puede distinguir entre variados objetos como edificios y árboles, permitiendo filtrarlos.

Dispone de dos ediciones profesiones y estándar.

Características edición estándar:

- Triangulación fotogramétrica
- Generación de nubes de puntos densas
- Modelos 3D: generación y texturizado
- Cosido panorámico

Precio 51-153 €

Características profesionales (además de las mismas que la standar):

- Nube de puntos densa: edición y clasificación
- Modelo de elevación digital: generación DSM/DMT
- Generación ortomáscica georreferenciada
- Registro y escaneo laser terrestre (TLS)
- Puntos de control de tierra / soporte barra de escala
- Medidas: distancias, áreas, volúmenes
- Medidas estereoscópica
- Generación jerárquica de modelos en mosaico
- Modela 4D para escenas dinámicas
- Procesamiento de imágenes multiespectrales
- Detención automática de líneas de tensión
- Procesamiento de imágenes por satélite
- API de Phyton y Java
- Procesamiento en red y en la nube

Precio 469-5972 €

#### 4.1.3.9.6. **Otros**

- Software SimActive Correlator3D™
- Maps Made Easy software de ortofoto y modelos 3D.
- 3DF Software de fotogrametría Zephyr.
- Software de mapas PrecisionHawk 3D.
- Software de fotogrametría Open Drone Map.
- ESRI Drone2Map para ArcGIS.
- AutoDesk Recap

#### 4.1.4. UAV y termografía

##### 4.1.4.1. ¿Qué es la termografía?

La termografía es un método de medición pasivo, sin contacto, en el que la distribución de la temperatura en las superficies se mide con el uso de una cámara termográfica. La cámara termográfica mide la radiación infrarroja de onda larga en el campo de visión y usa los resultados para calcular la temperatura del objeto medido.

Estos resultados se convierten en una imagen virtual coloreada (imagen térmica). Así se hace visible la distribución de la temperatura en la superficie del objeto.

Cada píxel de una imagen térmica representa un punto de temperatura en la superficie del objeto medido. El procesamiento de la imagen virtual coloreada considera la emisividad ( $\epsilon$ ) de la superficie del objeto medido y la temperatura reflejada. Ambas variables se pueden ajustar manualmente en la cámara termográfica. [39]

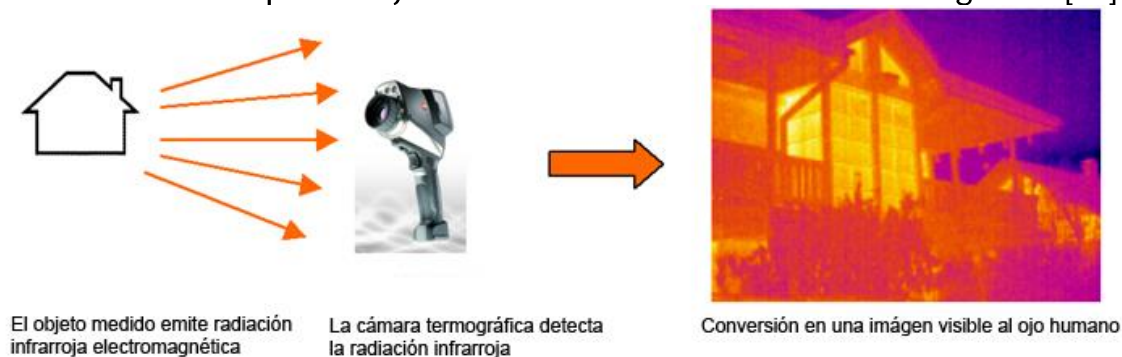


Figura 48. Funcionamiento fotogrametría

##### 4.1.4.2. Tipos de termografía

Existen dos técnicas, termografía activa y pasiva. En la termografía pasiva se analizan las diferencias de la radiación natural infrarroja entre diferentes zonas; mientras que en la termografía activa se usan fuentes de calor suplementarias que intensifican las irregularidades internas (grietas, filtraciones, diferentes materiales ocultos) que no eran detectables mediante termografía pasiva.[39]

Termografía pasiva: se realiza para ver la temperatura de objetos sin usar una fuerza externa de calor, es decir, el objeto estudiado produce un patrón de temperaturas típico pero unos pocos grados de diferencia respecto a la temperatura normal de trabajo mostrando un comportamiento inusual (fallo/defecto) [40]

Termografía activa: se usa una estimulación externa para inducir un flujo de calor interno del objeto estudiado. Un defecto interno afectaría al flujo calorífico produciendo un contraste térmico en la superficie haciendo que, por medio de las cámaras termográficas, se detecte el fallo o defecto presentado. [42]



#### 4.1.4.3. Sectores de uso

##### - Construcción y rehabilitación[

En el supuesto de que existan defectos constructivos o sustituciones de material, éstos pueden ser detectados por medio de termografía infrarroja; además se pueden detectar deficiencias energéticas, pérdidas de calor, humedad interna y externa en fachadas y cubiertas, condiciones de aislamiento, filtraciones de aire y puentes térmicos. Por último, otro de los usos es la localización de conducciones y fugas de agua y calefacción y verificación de suelo radiante. [43]

##### - Inspección Industrial.

- Sistemas eléctricos: un incremento de resistencia genera como consecuencia un aumento de la temperatura de algún elemento que puede producir problemas eléctricos. La termografía infrarroja contribuye con eficacia en el mantenimiento predictivo y preventivo para comprobar el estado de conexiones, bornes y aisladores, bobinados de motores/generadores, además de para llevar a cabo estudios e históricos de transformadores y para evaluar el desequilibrio de fases, etc.
- Sistemas mecánicos: estudio de motores (eléctricos y térmicos) y generadores, de rodamientos y poleas, de cojinetes, de sistemas de transmisión y por último cajas de cambios.
- Procesos industriales: Cambios en las propiedades físicas como son la corrosión, grietas, erosiones, estrechamientos, fugas, bloqueos, etc., Causan variaciones perceptibles en los patrones de energía infrarroja.[41]

##### - Seguridad y salvamento.

Los sensores térmicos posibilitan la detección de personas o animales de manera veloz en sitios de difícil acceso. Su precisión es apropiada para identificar puntos de interés, incluso cuando la diferencia entre el entorno y la persona sea de solo unos pocos grados. La termografía con dron también ayuda mucho en caso de incendios debido a que se pueden tomar buenas decisiones en situaciones realmente críticas. [42]

##### - Inspección de paneles solares.

Los paneles solares están formados por un gran número de celdas. Estas celdas se fabrican a partir de diferentes materiales y cada una de ellas es capaz de generar electricidad a partir de la radiación solar. Los procedimientos de fabricación, la exposición a la intemperie, un mal montaje o la vida útil de los materiales pueden contribuir a que estas celdas fallen. También los cableados y los circuitos que los acompañan pueden acabar en malas condiciones.[42]

Unas cuantas celdas con un mal funcionamiento pueden propiciar a que el panel completo funcione en modo degradado, lo que hace que la producción de electricidad disminuya considerablemente. Por lo consiguiente, existe la necesidad de solventar esos fallos.



- Agricultura de precisión.

A pesar de que las cámaras multiespectrales tienen mayor éxito dentro de la agricultura de precisión. Las cámaras termográficas también tienen su relevancia. La temperatura foliar es un indicador capaz de medir de forma indirecta el nivel de estrés hídrico que sufre una planta. Algunas plagas de insectos hacen que la temperatura aumente decenas de grados. [44]

#### 4.1.4.4. **Ventajas y desventajas de su uso**

Algunas de las ventajas son comunes tanto para la fotogrametría como para la termografía aérea son, entre ellas la seguridad, el valor visual, lugares de trabajo y los plazos de entrega.

Ventajas del uso de termografía con dron:

- Permite examinar grandes áreas, instalaciones o terrenos en un único vuelo, además de acceder a zonas difíciles.
- Dispone a la vez de una imagen normal o RGB y una imagen infrarroja. Esto permite valorar los datos inmediatamente.
- Supone un gran ahorro económico frente a métodos más convencionales como el uso de helicópteros o grúas.
- El ahorro de tiempo es notable. Las inspecciones con drones son mucho más rápidas.

En este caso las desventajas son las mismas en ambos casos (fotogrametría y termografía) ya que la diferencia del dron radica únicamente en la cámara usada. Además, en los drones para termografía aérea, si influyen las condiciones climatológicas, no tanto en el vuelo del dron, si no en captación de imágenes.

#### 4.1.4.5. **¿Qué es necesario para un vuelo termográfica?**

Como se ha mencionado en FOTOGRAFIA. Actualmente la mayoría de los drones tienen programas para automatizar sus vuelos. Por lo cual, solo hay que tener en cuenta una cantidad limitada de cálculos, datos o características a introducir en ellos para conseguir un plan de vuelo correcto para conseguir las imágenes o información necesaria.

Primero de todos se debe saber cómo funciona una cámara térmica y cuáles son sus características principales[42]:

Todos los objetos emiten radiación infrarroja (calor), y esta emisión es mal elevada cuanto más calientes se encuentre. La longitud de onda de esta energía oscila entre unas pocas micras a miles de micras, es decir, son mucho más largas y están totalmente fuera del rango visible al ojo humano (450-750 nanómetros). Las cámaras térmicas son capaces de captar estas radiaciones, en particular las usadas en drones suelen estar calibradas para trabajar con el infrarrojo térmico, entre las 8 y 14 micras.



Estos mismos sensores son capaces de captar diferencias de décimas de grado centígrado, con lo que la precisión es fundamental. El procesado de imágenes termográficas es más complejo que las de espectro visible. Pese a que las cámaras RGB alcanzan a tener más de 20 Megapíxel, en el caso de las térmicas lo habitual es que no superen el megapíxel. Resoluciones máximas suele ser de 640×512.

Si se considera que para generar una ortofotografía es esencial la existencia de solapes entre imágenes, las condiciones de captura serán algo más rigurosas en la termografía.

- Para la misma resolución (GSD), menores alturas de vuelo;
- para el mismo solape, disparos mucho más frecuentes.

El producto final es que, si con una cámara RGB se necesitan cientos de imágenes para cubrir decenas de hectáreas, en caso de las térmicas serán necesarias disponer de varios miles de ellas.

Características principales[43]:

**Núcleo radiométrico:** las cámaras que cuentan con núcleo radiométrico proporcionan, además de la imagen captada por el sensor, información de temperatura en cada uno de sus píxeles. Esta característica es especialmente importante en inspecciones industriales y en agricultura de precisión, donde es necesario saber la temperatura de cada punto de las imágenes. En otras aplicaciones, como en las de vigilancia y salvamento marítimo, solo será importante contar con las imágenes térmicas.

**Lente:** la lente de la cámara, junto con la altura de vuelo, es el componente que marca la cantidad de terreno o FOV (de las siglas en inglés Field of View) que cubrirán las imágenes que se obtengan. Si se va a realizar una fotogrametría de unos campos de cultivos, elegir una lente que grabe el mayor terreno posible permitirá realizar menos pasadas sobre el campo. En cambio, si se van a realizar inspecciones industriales, puede interesar un FOV más pequeño que se centre en el componente a analizar.

**Resolución:** la resolución espacial es una característica profundamente ligada a la elección de la lente y a la altura de vuelo con la que se vaya a operar. Si la resolución no es suficiente, se deberá reducir considerablemente la altura de vuelo y ralentizar las operaciones. Por ejemplo, una cámara con una resolución de 640×512 con un objetivo de 19mm que opere a 100m de altura contará con unos píxeles en el suelo de unos 9cm.

Otro punto importante es diferenciar entre cámara térmica y cámara termográfica. La mayoría de fabricantes disponen de una versión térmica y una versión termográfica de sus dispositivos. La diferencia es sutil, pero tremendamente importante, no solo por la diferencia de coste entre un tipo u otro. Ambas son capaces de detectar radiación infrarroja térmica, pero solo en el caso de las termográficas, son capaces de medir la temperatura absoluta en cada píxel. Esto es fundamental, no tanto a la hora de detectar cambios de temperatura en una superficie, sino, cuando además de detectar el cambio, es necesario clasificarlo de acuerdo al rango de temperaturas medidas. En casos como el diagnóstico de paneles solares o determinados trabajos de agricultura de precisión, es fundamental disponer de la versión termográfica del sensor.[42]



#### **4.1.4.5.1. modificaciones en la planificación de vuelo respecto a fotogrametría [42]**

Construcción de un ortomapa:

- El solape debe aumentar al 90% o superior, lo que supone un 20-30% más que con cámaras de espectro visible.
- Deben ser imágenes lo más nítidas posibles, con lo cual se debe sacrificar velocidad de vuelo a favor de generación de imágenes menos difuminadas.
- Las imágenes han de estar geolocalizadas, puesto que únicamente el contenido de las imágenes no suele ser suficiente para conseguir concluir el procesado.
- Aquellas cámaras con resoluciones menores suelen presentar bastantes problemas. La prioridad es trabajar con sensores que tengan una resolución un poco más elevada (al menos 640 píxeles de ancho).

#### **4.1.4.6. ¿Qué fallos o problemas se pueden estudiar o detectar? [44], [45]**

- Construcción

La necesidad de reducir las pérdidas de calor vinculadas a edificios y viviendas, es una prioridad debido al alto costo del consumo energético necesario para su climatización.

- análisis de las condiciones de aislamiento en edificios y viviendas
- localización humedad en fachadas y cubiertas
- localización de filtraciones de aire
- evaluación de puentes térmicos
- desprendimiento de recubrimientos
- detección no invasiva de materiales y estructuras
- localización de puntos fríos

- I+D+i y ensayos no destructivos de materiales

- inspección de fuselajes de avión y cascos de barco
- corrosión bajo pintura
- corrosión oculta

Los ensayos no destructivos por termografía, en general, son mediante la técnica activa.

- Sistemas eléctricos

Ningún sistema eléctrico dispone de una eficiencia de un cien por cien. Siempre hay una pequeña cuantía de energía que se transforma en calor a causa del paso de la corriente eléctrica. El tiempo, cargas elevadas o fluctuantes, vibraciones, fatiga de materiales, condiciones ambientales, etc. provocan que, tanto los componentes como las superficies de contacto se vayan deteriorando, y por tanto aumentando la resistencia eléctrica.



Este aumento de resistencia lleva consigo forzosamente un aumento de la temperatura del elemento que, a veces, puede generar problemas eléctricos como cortocircuitos o fallos en la alimentación a otros sistemas, además puede derivar en otros riesgos como incendios o daños personales.

- verificar el estado de conexiones, bornes y aisladores
- llevar a cabo estudios de transformadores
- verificar el estado de bobinados de motores / generadores
- evaluar el desequilibrio de fases, etc....

#### - Sistemas mecánico

La temperatura en los sistemas mecánicos es de extrema importancia, y viene fijada por todos los fabricantes de máquinas y herramienta, y puede posibilitarnos hacer un diagnóstico y seguimiento de su funcionamiento para evitar posibles problemas en el futuro. Rozamientos, fricciones, malos alineamientos, etc. pueden producir elevadas temperaturas que simulan la vida útil de las máquinas y sistemas de transmisión, o incluso problemas más serios como gripajes o deformación de materiales.

- estudio de motores(eléctricos y térmicos) y generadores
- estudio de rodamientos y poleas
- estudio del estado de cojinetes
- estudio de sistemas de transmisión y cajas de cambios
- detección de malos alineamientos
- verificación del estado de los lubricantes
- Soldaduras

#### - Procesos industriales

Los equipos de termografía funcionan reuniendo la energía infrarroja emitida por la superficie de los objetos. El estado normal de un objeto es aquel que muestra un patrón de temperatura apropiado para objeto considerado.

Cambios en las propiedades físicas como son la corrosión, grietas, erosiones, estrechamientos, fugas, bloqueos, etc. causan variaciones detectables en los patrones de energía infrarroja. Se puede aplicar la termografía para detectar anomalías en procesos industriales donde pueden darse algunas de las mencionadas anteriormente.

- Detectar el estado y llevar a cabo el estudio de válvulas
- Detección de tuberías subterráneas
- verificar el nivel de líquido de tanques (líquidos y gráneles)
- estudio de refractarios y hornos
- estudio de perdidas térmicas, cámaras frigoríficas y aislamiento de tuberías
- detectar fugas de vapor
- detectar perdidas de vacío



- detectar la sedimentación en tuberías y depósitos

- Energías renovables: fotovoltaica y eólica

La energía fotovoltaica es una de las energías renovables que más auge está teniendo a nivel mundial. Si bien los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil grande, realizar inspecciones tanto en la fabricación como en el montaje de estos paneles garantiza el máximo de calidad y rendimiento energético de las instalaciones solares.

Es aquí donde la termografía adquiere importancia, ya que mediante las cámaras termográficas se puede detectar problemas internos de las celdas fotovoltaicas como puede ser roturas definidas como zonas oscuras, puntos calientes debido a aumentos de resistencia eléctrica, etc...

En la energía eólica, se pueden visualizar diferentes elementos que pueden causar problemas.

- Planta baja: transformador, cuadros de fusibles y cableado. También se pueden visualizar fallos estructurales en el metal
  - Elementos en el interior y exterior de en la góndola, rotor y palas.
- detección de autocombustibles en acopios
  - control del estrés hídrico en cultivos



### 4.1.4.7. Estudio de mercado

#### 4.1.4.7.1. Cámaras[32][46]

Los drones con cámara termografía incorporada serían los drones de la marca DJI Mavic 2 enterprise series, concretamente el dual y el advance.

cámara	Dron compatible	CARACTERISTICAS	precio
Zenmuse XT S	Serie M200 V2 serie M200 Matrice 300 RTK	Protección Ingress IP44 Termógrafo: Microbolómetro VOx no refrigerado Foco del objetivo: 19 mm Zoom digital: 1x, 2x, 4x Resolución de vídeo : 640x512 a 25 Hz Resolución de imagen: 640x512 Formato de imagen: JPEG, R-JPEG Distancia entre píxeles : 17 m Banda espectral: 8-14 m Sensibilidad (NETD) ≤40 mK a f/1.0 Rango de escena (alta ganancia) De -40 a 150°C Rango de escena (baja ganancia) De 100 a 550 °C	≈6500 €
Zenmuse H20 series	DJI Matrice 300 RTK	Protección Ingress IP44 Sensor Microbolómetro VOx no refrigerado Objetivo DFOV: 40.6° Distancia focal: 13.5mm (equivalente a 58mm) Apertura: f/1.0 Enfoque: 5m a ∞ Zoom digital 1x, 2x, 4x, 8x Resolución de vídeo 640x512 a 30Hz Formatos de vídeo MP4 Resolución de imagen 640x512 Formato de imagen R-JPEG (16 bits) Distancia entre píxeles 12m Banda espectral 8-14m Sensibilidad (NETD) ≤50mK a f/1.0 Dispone cámara zoom o gran angular	≈12000€
Zenmuse LIDAR+RGB	L1 DJI Matrice 300 RTK	Protección IP IP54 Precisión de rango(RMS 1 ) 2 3cm a 100m Retornos máximos admitidos 3 Modos de escaneado : Patrón de escaneado no repetitivo, patrón de escaneado repetitivo Campo de visión: Patrón de escaneo no repetitivo: 70,4° (horizontal) × 77,2° (vertical); Patrón de escaneado repetitivo: 70,4° (horizontal) × 4,5° (vertical)  tamaño del sensorRGB : 1pulgada Píxeles efectivos : 20MP Tamaño de la foto 5472x3078 (16:9); 4864x3648 (4:3); 5472x3648 (3:2)	≈12500 €



		<p>Distancia focal 8.8mm / 24mm (Equivalente)                  Velocidad de obturación mecánica: 1/2000-8 s                  Velocidad del obturador electrónico: 1/8000-8 s                  ISO: Vídeo: 100-3200 (Auto), 100-6400 (Manual)                  Foto: 100-3200 (Auto), 100-12800 (Manual)                  Rango de apertura: f/2.8 - f/11</p>	
<b>FLIR VUE TZ 20 (Zemuse)</b>	DJI V2 Matrice 200 DJI Matrice 300	<p>Paso de píxel : LWIR de 12µm                  Peso : 640g                  Sensibilidad térmica: &lt;85mK a f/1,0                  Zoom : 5x óptico (WFOV/NFOV), 4x digital [BR]Zoom efectivo: 1x (95°), 5x, 10x, 20x (4,5°)</p>	
<b>FLIR VUE PRO y PRO R</b>	DJI Phantom 2 DJI Phantom 2 V+ DJI Phantom 3, 4k/Adv/Pro DJI Phantom 4	<p>Generador de imágenes térmicas: Microbolómetro VOx no refrigerado                  Orificios de montaje de precisión: Dos M2 x 0,4 en cada uno de los dos lados y la parte inferior; un orificio roscado de 1/4-20 en la parte superior                  Peso:3,25 - 4 oz (según configuración)                  Tamaño:2,26" x 1,75" (incluida la lente)</p>	4200-4500€
<b>FLIR One Pro</b>	Parrot Bebop pro thermal	<p>Resolución térmica: 160 x 120                  Resolución visual: 1440 x 1080                  HFOV / VFOV: 55° ± 1° / 43° ± 1°                  Tasa de refresco: 8,7 Hz                  Rango dinámico de la escena: -20 a 400 °C (-4 a 752 °F)                  Precisión: ± 3 °C (5,4 °F) o ± 5 %, porcentaje habitual de la diferencia entre temperatura ambiente y de la escena. Aplicable 60 s después de la puesta en marcha cuando la unidad se encuentra a una temperatura de 15-35 °C (59-95 °F) y la escena está a 5-120 °C (41-248 °F)</p>	
<b>Flir tau 2</b>	CAULQUIEN sBUS	<p>System Type Uncooled LWIR Thermal Imager                  Pixel Size 17 µm (Tau 2 640, 336); 25 µm (Tau 2 324) Spectral Band 7.5 - 13.5 µm Performance</p>	4200- 7620€
<b>FLIR DUO / FLIR DUO PRO</b>	entrada de energía de 5-26 VCC y salidas de video analógicas o digitales HDMI listas, (casi cualquier dron)	-	4000€-6100€
<b>Sensor Sony®</b>	Parrot Anafi thermal		
<b>E10T</b>	Yuneec H520	<p>Cámara de imágenes térmicas y de luz residual                  Resolución térmica de 320x256 o 640x512                  Doble transmisión de vídeo                  Compatible con el hexacóptero H520                  Hasta 28 minutos de vuelo con el H520                  Cardán de cambio en caliente                  Rotación continua del cardán de 360°</p>	5000 €
<b>Cámara Thermal Capture Fusion</b>	Todas las marca	-	



Las cámaras que no disponen de características son porque dependen de la configuración seleccionada de compra.

Cámaras Zenmuse XT2 (by FLIR) aun estando descatalogada es compatible con drones DJI de la serie M200 y Matrice 600 PRO.

Zenmuse XT (By FLIR) aun estando descataloga es compatible con drones DJI Inspire 1 y la serie Matrice 200

#### 4.1.4.7.2. **Programas procesamiento termografía**

- FLIR Thermal Studio: El software de gestión de imágenes térmicas de FLIR
- Flir Tools.
- Software de análisis IRBIS® 3
- Pix4DMapper
- Agisoft Metashape 3D

#### 4.1.5. **Fotogrametría y laser scanner**

Tanto el escáner como la fotogrametría poseen usos similares, ambos aplican el levantamiento de datos para su documentación y construcción del modelo tridimensional. Las aplicaciones de ambos son amplias, desde la preservación del patrimonio, hasta acciones de documentación, conservación, rehabilitación y la creación de cartografías del territorio.[47]

##### 4.1.5.1. **¿cuál es el mejor procedimiento?**

Las principales alternativa la fotogrametría tradicional para obtener mediciones y construir modelos tridimensionales, son la fotogrametría por UAV y el escáner láser 3d.

##### - **Fotogrametría vs escáner laser: qué son y para qué se utilizan**

La fotogrametría y el escáner láser, son técnicas que no se inutilizan entre si y que pueden usarse ambas en un mismo trabajo. En realidad, la mejor manera de aprovechar al maximo los trabajos de campo, es adquirir el mayor volumen de datos posible y elevar la calidad del levantamiento. Así integrarlas y aunar las ventajas de las dos, minimizando sus inconvenientes.[48]

- **Pros y Contras de la Fotogrametría** [47], [48]

La fotogrametría, como hemos explicado en los puntos anteriores, es una técnica para obtener mediciones, planos o incluso mapas a través de la obtención y superposición de imágenes aéreas y/o terrestres desde diferentes puntos y ángulos que permiten obtener el modelo 3d de cualquier terreno, objeto o elemento. Es una técnica de levantamiento que permite adquirir datos métricos de un objeto (forma y posición).

Se repasaran las ventajas y desventajas de la fotogrametría.



- **Ventajas de la fotogrametría**

- Muestra una representación gráfica del terreno en la forma actual.
- Fácil de obtener y posee precios asequibles, es suficiente con disponer de una buena cámara y un software para el procesamiento de las imágenes y conversión al 3d.
- Permite disponer de información de zonas de difícil acceso.
- Útil en la representación de elementos con texturas características

- **Desventajas de la fotogrametría**

- La dificultad de clasificación de algunos elementos (vegetación, la inaccesibilidad a todos los ángulos del elemento...)
- No permite efectuar mediciones con tanta exactitud
- La calidad de la cámara influye en el resultado. Así que, si los relieves son importantes en la documentación, habrá que destinar presupuesto en buenos equipos y personal cualificado que pueda realizar la postproducción de los fotogramas
- Carece o no tiene demasiada información marginal
- Gran cantidad de trabajo en oficina de post-producción durante el proceso de elaboración de la nube de puntos

- **Pros y Contras del Escáner Láser**[48], [49]:

El escaneado láser terrestre es un sensor activo de naturaleza topográfica que barre un área establecida previamente por el software, remitiendo ondas electromagnéticas al objeto. El escáner láser evalúa/cuantifica, en una región del espacio y de acuerdo con una densidad preestablecida, las posiciones de puntos de los objetos existentes en el área de estudio. Se genera una nube de puntos, de coordenadas x y z.

Se trata por ello, de un dispositivo de adquisición de datos masivos mediante rayos láser, los cuales proporcionan la obtención de la nube de puntos de forma tridimensional sobre la que poder comenzar a trabajar. Dicha nube de puntos es como una fotografía tridimensional, compuesta por millones de puntos, que detallan la superficie del objeto detectado, recabando, además, información dimensional y colorimétrica. Así se puede crear automáticamente un objeto en 3D.

Es empleado para capturar de forma rápida (hasta 10 veces más frente a otras formas tradicionales) las mediciones de objetos, edificios o vías urbanas y se apoya para edificar modelos 3d de dichos elementos a alta definición.

Se caracteriza por su elevada precisión +/- 2 mm de margen de error y permite trabajar en condiciones climatológica adversas, incluso sin luz.

El escáner láser actúa escaneando la superficie, horizontalmente cubriendo los 360°, si bien en la verticalidad alcanza solo 320° (no es posible cubrir el área de pie del escáner sin variar la posición del mismo). La calidad de la resolución y la concentración de puntos en la nube variarán en base al tiempo elegido de rango para dar una vuelta completa, con arreglo a las necesidades de cada proyecto y del nivel de detalle requerido.

La nube de puntos puede ser en color o en blanco y negro, sin influir en número o forma al volumen de información y puntos reunidos en la nube.



El escáner láser 3D es la mejor herramienta para mejorar la calidad y rapidez en los procesos de digitalización de activos, ya sean industrias, edificios o infraestructuras.



Figura 49. Ortofoto de una muralla

- **Ventajas del Escáner Láser 3D[47]**

- Rapidez en la captura y procesamiento de datos (hasta 10 veces más rápido).
- Seguridad en la obtención de información necesaria, posibilitando la reducción de tiempos de documentación y evitando volver a tomar los datos por falta de información durante la primera toma.
- Exactitud en las medidas con un margen de error +/- 2mm.
- Máxima Precisión.
- Alta operatividad en el levantamiento, incluso ante la ausencia luz.
- Documentación 360° en horizontal y 320° en vertical.

- **Desventajas del Escáner Láser 3D[47]**

- Planificación previa de las posiciones de escaneado y de la resolución deseada para el nivel de detalle.
- La nube de puntos de alta resolución necesita equipos potentes para su procesamiento.
- Alto coste de adquisición de equipos.
- La compra de software específico y el tiempo de inversión en formación.

Las utilidades más comunes del escaneado láser son muchas, cubriendo desde la industria de la construcción, arquitectos hasta ingenieros durante la fase de diseño. Desde apoyo a las campañas de promoción y venta en inmobiliarias, o la conservación y difusión de patrimonio u otros activos de interés cultural.



Figura 50. Galería





- **Como saber que técnica elegir**

Se debe tener en cuenta para elegir el tipo de tecnología a usar, no solo el tamaño del objetos si no también, en determinados elementos, la textura o el nivel de detalle. En los casos en los que nos encontremos con necesidad de estas características, la fotogrametría, al ser imágenes, puede darnos mejor producto.

La fotogrametría aérea puede adquirir gran cantidad de datos y permite obtener medidas, con bastante precisión, dependiendo la calidad de la cámara, grandes extensiones, en contra, la legislación actual no permite volar sobre núcleos urbanos, por lo que su utilización está limitado.

En el caso del escáner, tiene un alcance más limitado que el drone, requiriendo por tanto más posiciones para barrer la misma cantidad de superficie (sobre todo aplicado a grandes extensiones).

Se sabe que se puede utilizar una combinación de ambas técnicas proporciona mejores resultados, cuando es necesario obtener un gran volumen de datos (volúmenes, relieve, mediciones) y combinar con gran detalle de texturas de fotogrametría.

Para la adquisición de datos de gran extensión, donde el nivel de precisión o detalle de la nube de puntos, no sea muy importante, se aconseja el uso fotogrametría. Por otro lado, en el caso de elementos con detalles menores a 2mm, también se recomendaría la combinación de ambos. Se trata de combinar lo mejor de ambas tecnologías, el escáner láser por su rápida toma de datos y su rapidez de procesamiento de la nube de puntos, y la fotogrametría para el trabajo de los detalles de las texturas.

Por último, se debe tener en cuenta el tipo de superficie de estudio. La fotogrametría no trabaja excesivamente bien en superficies lisas, metálicas o de plástico. No obstante el escáner láser no funciona en superficies muy reflectantes (espejos y superficies muy brillantes). Se tiene que llegar a un equilibrio entre consumo de recursos, tiempo y obtención de productos con la calidad requerida.

#### **4.1.6. Fotogrametría o LIDAR**

LIDAR (un acrónimo del inglés Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) es una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado, obteniendo una nube de puntos 3D del escenario en el que se encuentre con una altísima velocidad y precisión. [50]

##### **4.1.6.1. Componentes principales[51]**

Los sistemas de LIDAR incluyen 3 componentes principales, ya sean, que estén instalados en vehículos automotores, aviones o UAV:

- **Escáner láser**

Los sistemas LIDAR envían una luz pulsante láser desde múltiples sistemas

móviles a través del aire y la vegetación (láser aéreo), incluido el agua (láser batimétrico). Un escáner recoge la luz de vuelta (ecos), midiendo distancias y ángulos. La velocidad de prospección influye en el número de puntos y ecos que son medidos por un sistema LIDAR. La selección de la óptica y el escáner repercute en gran medida en la resolución y el rango en el que se puede trabajar el sistema LIDAR.

– **Sistemas de navegación y posicionamiento**

Para un sensor LIDAR montado un UAV es vital determinar la posición absoluta y la orientación del sensor para cerciorarse de que los datos capturados sean datos aprovechables. Los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) proporcionan información geográfica exacta sobre la posición del sensor (latitud, longitud, altura) y una Unidad de Medición Inercial (IMU) identifica en este lugar la orientación precisa del sensor (inclinación, balanceo, guiñada). Los datos registrados por ambos dispositivos se usan para generar datos en puntos estáticos, la misma base de la nube de puntos de cartografía 3D.

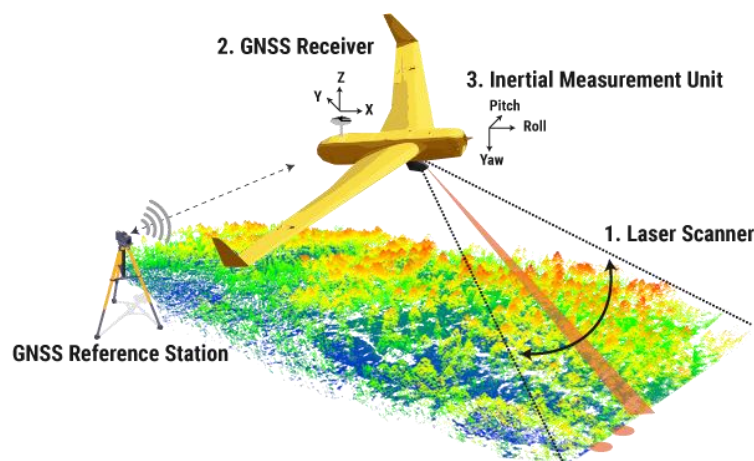


Figura 51. Funcionamiento LIDAR

– **Tecnología informática**

Para sacar provecho máximo a los datos, se requiere calcular el sistema LIDAR para un funcionamiento preciso, determinando la posición precisa del eco. Se necesita para la visualización de datos en vuelo o para el post-procesamiento de datos, además de aumentar la precisión y la exactitud de la nube de puntos de la cartografía 3D. Las medidas resultantes por los tres componentes principales, ALS, GPS e IMU, se toman con un mismo distintivo de tiempos en concordancia con el GPS. De esta forma se pueden relacionar sin problemas en el cálculo posterior.

#### 4.1.6.2. Tipos de sistemas LIDAR [52]

Los sistemas LIDAR se dividen en dos tipos según su funcionalidad

- LIDAR aerotransportado:

El LIDAR aerotransportado se monta en un helicóptero o dron para recoger datos. En cuanto se activa, el LIDAR aerotransportado emite luz hacia la superficie del terreno, que retorna al sensor de inmediato después de golpear el objeto, proporcionando una medida exacta de su distancia. El LIDAR aerotransportado se divide a su vez en dos tipos: LIDAR topológico y LIDAR batimétrico.

- LIDAR terrestre:

Al contrario de los aerotransportados, los sistemas LIDAR terrestres se instalan en vehículos móviles o trípodes en la superficie terrestre para adquirir puntos de datos precisos. Es muy comunes observar este tipo de sensores en las carreteras, analizar la infraestructura o incluso recoger nubes de puntos del interior y exterior de los edificios. Los sistemas LIDAR terrestres tienen dos tipos: LIDAR móvil y LIDAR estático.

Por tipo de láser:

- LIDAR de pulsos. El proceso para la medición de la distancia entre el sensor y el terreno se realiza mediante la medición del tiempo que tarda un pulso en regresar desde su emisión. El emisor funciona emitiendo pulsos de luz.
- LIDAR de medición de fase. En este caso el emisor emite un haz láser continuo. Cuando le llega la señal reflejada mide la diferencia de fase entre la emitida y la reflejada. Sabiendo esto, únicamente, hay que saber el número de longitud de ondas enteras que ha recorrido.

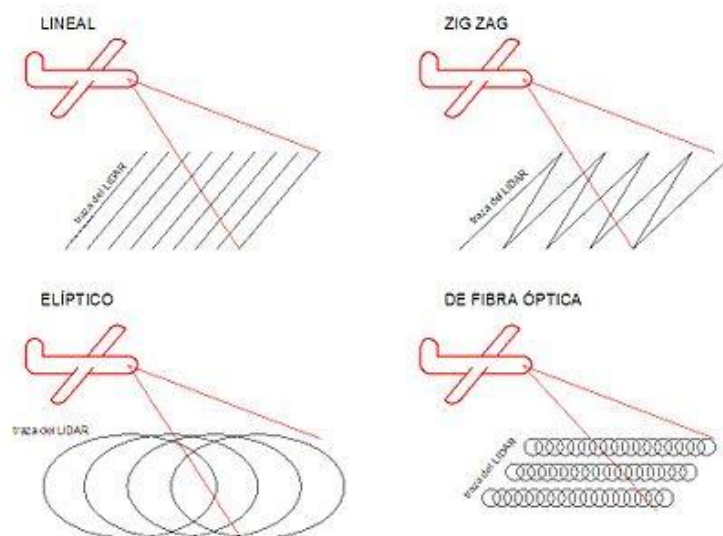


Figura 52. Tipos de escaneo[53]



Por tipo de escaneado[54]:

- Líneas. Cuenta con un espejo rotatorio que va desviando el haz láser. Genera líneas paralelas en el terreno como patrón de escaneado. El inconveniente principal es que, al rotar el espejo en una sola dirección no siempre se obtienen mediciones.
- Zigzag. En este caso el espejo rota en dos sentidos (ida y vuelta). Produce líneas en zigzag como patrón de escaneado. Su ventaja es que siempre está midiendo, pero al tener que variar el sentido de giro, la aceleración del espejo varía según su posición. Esto hace que en las zonas próximas al límite de escaneado lateral, donde varía el sentido de rotación del espejo, y la densidad de puntos escaneados sea mayor que en el nadir.
- De fibra óptica. Desde la fibra central de un cable de fibra óptica y con el apoyo de unos pequeños espejos, el haz láser es redirigido a las fibras laterales montadas en torno al eje. Este sistema produce una huella en forma de circunferencias solapadas. Al ser los espejos pequeños, la velocidad de obtención de datos aumenta respecto a los otros sistemas pero el ángulo de escaneado (FOV) es disminuye.
- Elíptico (Palmer). En este caso el haz láser es desviado por dos espejos que producen un patrón de escaneado elíptico. Como ventaja del método es que, el terreno, veces es escaneado desde diferentes perspectivas, si bien tener dos espejos incrementa la dificultad al tener dos medidores angulares.

#### 4.1.6.3. Principios del sistema LIDAR[55][51]

El sistema LIDAR permite realizar una nube de puntos del terreno adquiriéndolos mediante un escáner láser aerotransportado. Para obtener este escaneado se combinan dos movimientos. Uno longitudinal dado por la trayectoria del UAV y otro transversal mediante un espejo móvil que desvía el haz de luz láser emitido por el escáner.

Para saber las coordenadas de la nube de puntos es necesario conocer la posición del sensor y el ángulo del espejo en todo momento. Por ello, el sistema se apoya en un sistema GPS diferencial y un sensor inercial de navegación (INS).

Esta tecnología se usa en sistemas de información geográfica (SIG) para reproducir un modelo digital de elevación (DEM) o un modelo digital del terreno (DTM) para la cartografía en 3D.

El principio LIDAR comienza con la emisión de un pulso de láser en una superficie. Luego captura el láser reflejado de vuelta al LIDAR y mide el tiempo que el láser viajó. Por último, calcula la distancia de la fuente con la fórmula:

$$\text{Distancia} = (\text{Velocidad de la luz} \times \text{Tiempo transcurrido}) / 2.$$



Sabiendo estos datos y la distancia sensor-terreno obtenida con el distanciómetro se obtienen las coordenadas buscadas. El resultado son decenas de miles de puntos por segundo y termina generando un complejo mapa del área analizad conocida como una nube de puntos 3D.

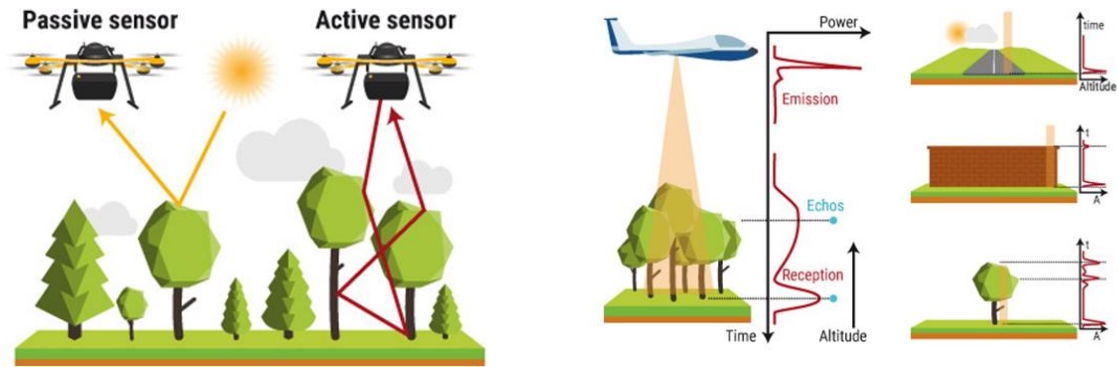


Figura 53.como funciona LIDAR

Principios de funcionamiento	LIDAR para los drones concuerda perfectamente:
La emisión de un pulso de láser. Registro de la señal retrodispersada. Medición de la distancia (Tiempo de viaje x velocidad de la luz). Recuperando la posición y la altitud del avión. El cálculo de la posición precisa del eco.	Pequeñas áreas para sobrevolar (100 km lineal). Cartografía bajo la vegetación. Zonas de acceso difícil. Datos necesarios en tiempo casi real o con frecuencia. Se requiere una precisión de entre 2,5 y 10 cm.

El sistema LÍDAR obtiene:

- Por cada pulso emitido puede captar 2 ecos. Esto permite reunir información a diferentes alturas. Por ejemplo, si estamos sobrevolando una zona arbolada, el primer eco puede responder a la copa de los árboles y el último a la superficie terrestre.
- La intensidad reflejada. Puede ser de gran utilidad para la clasificación posterior.

En topografía, la medición de distancias con láser para aplicaciones de mapas a gran escala, está revolucionando la toma de datos digitales relativos a la elevación de terrenos. Esta técnica es una alternativa a otras fuentes de toma de datos como el Modelo Digital del Terreno (MDT). Se puede usar como una fuente de datos para los procesos de contorno y generación de curvas de nivel para ortofotos digitales.[54]



#### 4.1.6.4. ¿Cómo funciona un sistema LIDAR? ¿De qué depende su calidad?[54][55]

Un sistema LÍDAR emite pulsos de luz que se reflejan en el terreno y otros objetos de cierta altura. Los fotones de los pulsos reflejados son transformados en impulsos eléctricos e interpretados por un registrador de datos de alta velocidad. Haciendo uso de la fórmula de la velocidad de luz ( $E=m \cdot c^2$ ) estos intervalos son transformados en distancia ayudados por la información posicional obtenida de los receptores GPS del UAV/terreno y de la unidad de medición inercial de a bordo (IMU), la cual registra, constantemente, la altitud de la aeronave.

Los sistemas LIDAR registran datos de posición (x, y) y de elevación (z) en intervalos preestablecidos. Los datos generados derivan en una red de puntos muy densa, por lo general, a intervalos de 1 a 3 metros. Los sistemas más complejos proporcionan datos no solo del primer retorno sino también de los siguientes, que facilitan alturas tanto del terreno como de su vegetación. Las alturas de la vegetación brindan una base de partida para el análisis de aplicaciones de diferentes tipos de vegetación o de alturas.

Los productos estándar fotogramétricos obtenidos de los datos LIDAR incluyen modelos de contorno y elevación para ortofotos. Para realizar contornos precisos se necesita un postprocesamiento de los datos iniciales. Dado que los datos LIDAR son obtenidos en torno a objetos elevados, se usan complejos algoritmos para suprimir los puntos relativos a estos objetos. Debido a la gran densidad de puntos se necesitan muy pocas líneas de ruptura para construir con precisión el terreno. Sin embargo, la presencia del sistema LIDAR y el uso de software de postprocesamiento, los procesos de validación deberán ser incluidos en el proceso para garantizarse de que los contornos finales sean representativos del terreno. El usuario final también deberá contemplar que los contornos derivados de LIDAR poseerán una apariencia distinta a aquellos procesados mediante técnicas fotogramétricas tradicionales. Dada la densidad de puntos obtenida, los contornos resultantes de LIDAR, aunque muy precisos, tenderán a tener una apariencia más difuminada.

El postprocesamiento y la verificación en 3D también son convenientes cuando se hace uso de datos LIDAR para la generación de ortofotos digitales. Aunque los requisitos de precisión vertical para generar una ortofoto son menos rigurosos que para la generación de contornos, los datos deberán ser revisados para detectar errores de bulto. No se requiere eliminación de los puntos del edificio. En realidad, los edificios modelados con datos LIDAR serán ajustados en su verdadera posición (ortofoto verdadera) y las distorsiones radiales eliminadas causadas por inclinación de los edificios. Estas mejoras pueden verse afectadas debido a que los bordes de los edificios pueden tender a verse redondeados dependiendo de la localización de los puntos relativos al borde del edificio. La precisión de los datos obtenidos mediante la técnica LIDAR dependen de:

- La frecuencia del pulso.
- La altura de vuelo.
- El diámetro del rayo láser (dependiente del sistema)
- La calidad de los datos GPS / IMU y los procedimientos de post procesamiento.



#### 4.1.6.5. Toma y procesamiento de imagen. Línea de ejecución. [55]

El sistema de obtención y procesamiento se fundamentan en los mismos apartados que para la obtención de estudios fotogramétricos.

##### 1. Componentes del sistema:

- Dron o plataforma de vuelo
- Sistema LIDAR.
- Sensor fotogramétricos
- Bases GNSS: Para la captura de datos brutos GNSS en tierra

##### 2. Planificación.

Planificar los distintos vuelos realizados en función de la altura de vuelo y solape entre pasadas requeridos, de las características de la aeronave y de la orografía de las zonas de interés.

Para los parámetros que se tienen que tener presentes para la planificación son la zona de interés delimitada, la densidad de puntos requerida, el tamaño de GSD, los solapes transversales y longitudinales, y la cámara seleccionada. A partir de estos datos iniciales se define primero la altura de vuelo requerida para cumplir con los requisitos AGL (Above ground level) y la distancia entre pasadas.

##### 3. Ejecución del vuelo.

La ejecución de los vuelos para la captura de imágenes y datos LIDAR se realizará siguiendo la planificación previa, adaptándose a las características y situaciones propias del trabajo en campo.

##### 4. Toma de puntos de apoyo

##### 5. Procesamiento LIDAR.

Para el procesamiento GNSS/INS de los datos recogidos por el sistema LIDAR y la base GNSS se utilizará un software. Este software puede permitir obtener la trayectoria de vuelo realizada por el UAV para su posterior enlace con los datos capturados por el cabezal laser (Ficheros LAS)

##### 6. Procesado fotogramétrico

Como resultado de los pasos descritos anteriormente se dispondrá de todos los datos imprescindibles para el proceso de restitución fotogramétrica mediante software especializado.

#### 4.1.6.6. Programas procesamiento nubes de puntos[56]

##### 4.1.6.6.1. Programas para la creación fotogramétrica de nubes de puntos

Los programas crean nubes de puntos sobre la base de fotos apropiadas para procesarlas en modelos 3D

Nombre del producto	Fabricante	Fotogrametría	Importación de datos de escaneo	Formatos de importación	Procesamiento	Formatos de exportación	Sistemas operativos
123D Catch	Autodesk	sí	no	foto	mallado	nube Autodesk	Android, Mac, Windows
Agisoft PhotoScan	Agisoft	sí	no	foto	mallado	información de punto, DSM/DTM	Windows
APS1	Menci Software	sí	no	foto	mallado	información de punto, DSM/DTM, formatos CAD	Windows
Pix4Dmapper	Pix4D	sí	no	foto	mallado	información de punto, DTM, formatos CAD	Windows





#### 4.1.6.2. Programas para la importación de datos del escáner láser como nubes de puntos

Los programas pueden importar datos de escáneres láser o nubes de puntos para preprocesarlos por modelado 3D.

Nombre del producto	Fabricante	Fotogrametría	Importación de datos de escaneo	Formatos de importación	Procesamiento	Formatos de exportación	Sistemas operativos
FARO Scene	FARO Technologies	no	sólo FARO	escáneres FARO	mallado	informaciones de punto, formatos CAD	Windows
Trimble RealWorks	Trimble	no	Faro (nativo), Trimble (nativo) importa otros formatos de nube de puntos.	varios fabricantes, XYZ, PTX, PTS, E57, etc	mallado, geometrías, piping, perfiles metálicos normalizados, etc.	exporta a casi cualquier formato tanto nubes de puntos como geometrías: dwg, dxf, dgn, PTX, E57, POD, etc.	Windows
Leica CYCLONE	Leica Geosystems	no	sólo Leica	escáneres Leica	mallado	informaciones de punto, formatos CAD	Windows
PointSense	Kubit/Faro	No	Faro et al.	Varios escáneres, XYZ, E57	Mallado	AutoCad	Plug-in AutoCAD (Windows)
PointCab	PointCab	no	fabricante independiente	varios escáneres, XYZ, E57	layouts, mallado perfiles,	informaciones de punto, formatos CAD	Windows
ReCap	Autodesk	no	fabricante independiente	XYZ, E57	mallado	AutoCAD	Plug-in AutoCAD (Windows)
LFM Software	LFM	no	sólo ZFC (Zoller + Fröhlich)	escáneres Z+F	mallado	informaciones de punto, formatos CAD	Windows
Scalypso	IB Dr. Koenig	no	fabricante independiente	varios escáneres, XYZ, E57	meshing, 3D geometric objects	informaciones de punto, Allplan, AutoCAD, HiCAD, Microstation	Windows

#### 4.1.6.7. **Ventajas y desventajas [57]**

Ventajas:

- La tecnología LIDAR no requiere buenas condiciones de luz para poder recopilar puntos. El sensor emite su propia energía con lo que puede capturar puntos tanto de día como de noche.
- Los sistemas LIDAR son capaces de ofrecer una densidad de puntos muy alta. Por ejemplo, dispositivos comerciales de gama media son capaces de generar entre 300 y 1000 puntos por metro cuadrado.
- Relacionado con lo anterior, es capaz de reconstruir elementos finos como cables y líneas eléctricas.
- Son equipos con productividades muy altas ya que requieren menos superposición de líneas de vuelo (20%-30%). Además cada pasada del dron suele abarcar una anchura mayor que con las cámaras más habituales.
- En general, cada punto medido genera una coordenada más precisa que el equivalente con métodos fotogramétricos.
- Muy importante: El láser tiene cierta capacidad de penetración, con lo que es posible obtener modelos digitales que pueden, por ejemplo, ignorar la vegetación. En este caso, el número de pulsos que emite el sensor determina cuántos rebotes es posible detectar en una dirección concreta.
- El coste de los sensores es mucho más elevado en el caso de los LIDAR
- El procesamiento de los datos obtenidos es más rápido, aunque es igualmente especializado.
- No todos los LIDAR son capaces de reconstruir el aspecto visible de los objetos, con lo que en algunos casos solo está disponible la nube de puntos sin colorear.

Inconvenientes

- La principal barrera de entrada al uso del LIDAR es su precio. No es extraño que un sistema LIDAR + el dron capaz de cargarlo + baterías suficientes + el software de procesado oscila entre los 30.000€ y 250.000€. Por otro lado, para utilizar técnicas fotogramétricas RGB sólo es necesaria la cámara que en la mayoría de casos viene de serie con el dron.
- Son equipos algo más sensibles al mal uso que las cámaras tradicionales, con lo que es necesario cierto mantenimiento y calibraciones periódicas.
- Las técnicas fotogramétricas pueden igualar tanto las densidades de punto como la precisión de los mismos, pero es necesaria una planificación de misiones y procesado posterior extremadamente minuciosa.
- En el mejor caso ambas tecnologías ofrecen resultados semejantes: ortofotos, nube de puntos, modelos digitales de terreno y reconstrucciones 3D. En un caso después de procesado, en el otro de forma directa.
- Con fotogrametría se obtienen reconstrucciones RGB en la que cada píxel tiene asignado el color que corresponde en la realidad, mientras que con LIDAR los puntos son monocromáticos (sin RGB). Esta limitación puede eliminarse adaptando una cámara RGB al dispositivo.



#### 4.1.6.8. Uso de LIDAR[58]

LIDAR puede ser usado tanto en el aire en drones u otros aviones como en tierra. Los usos específicos incluyen:

- **Escaneo de costas:** LIDAR se utiliza para actualizar mapas de costas y paisajes similares con información más precisa. Es útil para todo tipo de mapeo, pero es particularmente adecuado para medir los detalles a complejos.
- **Vehículos:** Estos pueden ayudar a mapear los espacios cercanos, esto es muy útil para automóviles autónomos y aplicaciones relacionadas.
- **Creación de modelos 3D:** Tanto los arquitectos como las empresas de construcción usan LIDAR para efectuar medidas en espacios y construir modelos que pueden usarse para planificar nuevos proyectos o modificaciones.
- **Mediciones:** se usan para trazar lindes y fronteras deben ser muy precisas.
- **iPhone:** Ayuda a que la aplicación de medida más precisa con los objetos que se miden.

#### ¿Qué dispositivos domésticos usan LIDAR?[58]

**Aspiradoras robotizadas:** JetBot 90 AI+ de Samsung, usa LIDAR para detectar el área circundante hasta 6m, detectando espacios y objetos para una mejor navegación. Puedes detectar fácilmente si tu dispositivo está usando un sensor LIDAR debido a la protuberancia circular que oculta el sensor giratorio en el interior. Más importante aún, la tecnología LIDAR está ayudando a que las aspiradoras robotizadas sean más eficientes con la limpieza.

**Sensores domésticos para personas mayores:** en 2019, IBM Research ejecutó un proyecto piloto que instaló sistemas LIDAR en las casas de las personas mayores. El objetivo era observar qué tan bien funcionaba como sistema de alerta para detectar caídas y problemas para caminar sin ser demasiado invasivo.

**Sistemas de seguridad:** LIDAR ya se está utilizando en sistemas de seguridad profesionales y domésticos como el modelo BLK247 de Leica, que son útiles para monitorear espacios concurridos, rastrear paisajes complejos e incluso medir el distanciamiento social. A medida que LIDAR se vuelva aún más asequible, es posible que lo veamos aparecer en más sistemas de seguridad inteligentes.

En la actualidad es posible adquirir LIDARs de reducidas dimensiones que pueden ser embarcados en drones y que combinan otros tipos de tecnologías que permiten georreferenciar los resultados: unidades de medición inerciales (IMU), GNSS, RTK... Estos elementos suelen estar orientados a mejorar la precisión de la capturas.

#### 4.1.6.9. Principal diferencia entre LIDAR y fotogrametría[57]

La técnica de la fotogrametría se basa en recrear el terreno a partir de fotografías aéreas. Se considera un proceso complejo en el que a partir de una serie de imágenes bidimensionales que contienen puntos de vista alternativos de cada elemento, se puede



modelar u obtener información tridimensional. Con estas reconstrucciones es posible generar ortofotos, mapas de elevación, nubes de puntos y otros derivados.

Una de las principales diferencias radica en que, la tecnología LIDAR, genera directamente nubes de puntos, mientras que la fotogrametría requiere de procesado que a veces pueden tardar horas/días. Si bien los dos métodos son sensibles a la calidad de los datos capturados (pulsos laser o fotos), este factor mucho más crucial en el caso de la fotogrametría.



## 4.2. CASOS PRACTOS O EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Debido a la capacidad de procesamiento de los nuevos procesadores y a la rápida evolución, tanto del hardware como el software, para planificación como procesamiento, se ahorra una gran cantidad de trabajo de oficina y cálculos. Además la intuitividad de este tipo de software hace que planificar vuelos sea muy sencillo y de esta forma obtener todo tipo resultados satisfactorios sea menos costos en tiempo.

### 4.2.1. Aplicación planificador de vuelo

#### 4.2.1.1. Pix4d capture: Planificador de vuelo [59]

##### Paso 1. Antes de comenzar un proyecto

Antes de poder usar un software de procesamiento de imágenes (Pix4DMapper) se deben obtener una serie de datos:

- obligatorios : imágenes
- opcionales (recomendados): geolocalización de las imágenes y puntos de control terrestres.

Se requiere un buen conjunto de datos para producir automáticamente resultados con alta calidad y precisión.

- Selección del plan de adquisición de imágenes

Es muy importante diseñar un buen plan de adquisición de imágenes considerando:

- Tipo de proyecto (aéreo, terrestre, mixto).
- Tipo de terreno / objeto.
- Tipo de cámara.
- Objeto del proyecto.
- Tasa de imagen a la que se toman las imágenes.
- Distancia (altura de vuelo) a la que se toman las imágenes y con qué ángulo se toman las imágenes.
- Ruta (s) a seguir para tomar las imágenes.
- etc.

Para proyectos aéreos, esto también implica:

- Seleccionar ruta de corredor o cuadrícula regular y / o cuadrícula circular.
- Decidir si se utilizarán imágenes terrestres.
- Si se necesitan más de un vuelo para cubrir el área completa: diseñando el área a cubrir con cada vuelo.

Para obtener automáticamente resultados de alta precisión, se requiere una gran superposición entre las imágenes. Por lo tanto, el plan de adquisición de imágenes debe diseñarse cuidadosamente para garantizar una superposición suficiente. El plan de adquisición de imágenes depende del GSD requerido por las especificaciones del proyecto y el tipo de terreno / objeto a reconstruir.

El diseño del plan de adquisición de imágenes consta de 3 pasos:

### a. Selección del tipo de plan de adquisición de imágenes

Esta elección depende del tipo de terreno / objeto a reconstruir.

El un software de procesamiento de imágenes se basa en encontrar automáticamente miles de puntos comunes. Cada punto característico que se encuentra en una imagen se denominapunto clave. Cuando, en 2 imágenes diferentes, 2 puntos clave coinciden, se llaman puntos clave coincidentes. Cada emparejamiento correcto de grupo de puntos clave genera un punto 3D.Cuantos más puntos clave haya, con mayor precisión se pueden calcular los puntos 3D.Por lo tanto, la regla principal es mantener una alta superposición entre las imágenes.

La APP de planificación de vuelo dispone de diferentes planes de adquisición de imágenes ideales dependiendo del terreo u objeto al que nos enfrentemos.

- Caso general: Para proyectos que no incluyen bosques, nieve, lagos, campos agrícolas y / u otros terrenos de difícil reconstrucción.

La superposición recomendada al menos un **75% de superposición frontal**(con respecto a la dirección de vuelo) y al menos un **60% de superposición lateral**(entre trayectorias de vuelo).Se recomienda tomar las imágenes con un patrón de cuadrícula regular. La cámara debe mantenerse a una altura constante sobre el terreno / objeto para asegurar el GSD.

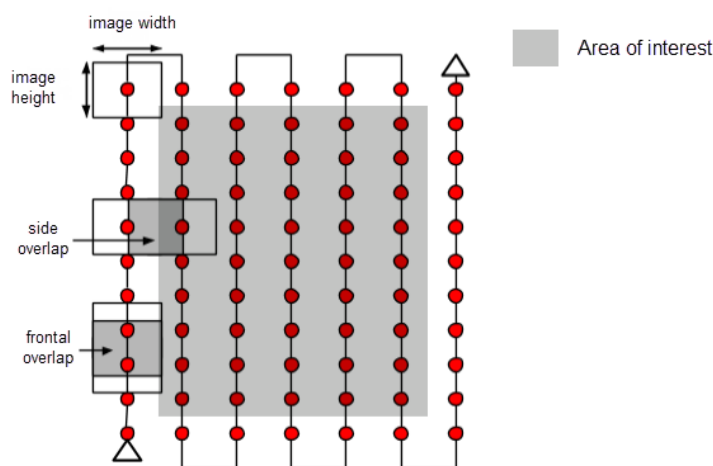


Figura 54. Plan de adquisición de imágenes ideal - Caso general.

- Bosque y vegetación densa: Para un proyecto con áreas cubiertas por bosque o vegetación densa.

Este tipo de imágenes disponen de apariencias muy diferentes superpuestas debido a la geometría compleja. Por lo tanto, es difícil extraer puntos característicos comunes (puntos clave) entre las imágenes.

Se recomienda un plan de adquisición como el caso general pero aplicando cambios:

- Aumente la superposición entre imágenes a al menos un 85% de superposición frontal y lateral.



- Aumente la altura de vuelo: a mayor altitud, menos distorsión de la perspectiva y la vegetación densa tiene mejores propiedades visuales. La altura de vuelo en combinación con la resolución de píxeles de la imagen y la distancia focal determinan la distancia de muestreo terrestre (resolución espacial) de las imágenes. Los mejores resultados se obtienen con un GSD superior a 10 cm / píxel.
- Terreno plano con campos agrícolas: para terrenos planos con contenido visual homogéneo, como campos agrícolas.

Debido a la homogeneidad de terreno es difícil extraer puntos característicos comunes (puntos clave) entre las imágenes.

Se recomienda un plan de adquisición como el caso general pero aplicando cambios:

- Aumente la superposición entre imágenes a al menos un 80% de superposición frontal y lateral.
- Vuela más alto. En la mayoría de los casos, volar más alto mejora los resultados.
- Tenga una ubicación geográfica precisa de la imagen y utilice la plantilla Agricultura.
- Reconstrucción de edificios: para modelado 3D de edificios.

Esta reconstrucción 3D requiere plan de imágenes específicos.

- Orientar la inclinación de su cámara de modo que la mayor parte del marco de la imagen se llene con el objeto que desea reconstruir y los objetos que no desea reconstruir constituyan la minoría del marco de la imagen. No existe un ángulo de inclinación de cámara perfecto que se pueda aplicar a todas las misiones.
- Vuela una segunda y tercera vez alrededor del edificio aumentando la altura de vuelo y disminuyendo el ángulo de la cámara con cada ronda. La altura de vuelo no debe aumentarse más del doble entre vuelos, ya que diferentes alturas conducen a una resolución espacial diferente
- Se recomienda tomar una imagen cada 5-10 grados para garantizar una superposición suficiente, según el tamaño del objeto y la distancia a él.

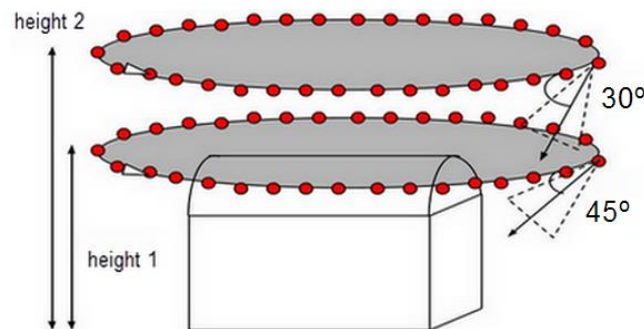


Figura 55. Plan de adquisición de imágenes ideal - Edificio.

Es posible combinar el nadir<sup>9</sup> aéreo y / o imágenes aéreas oblicuas y / o terrestres. Las imágenes deben tener suficiente superposición en cada conjunto de datos y entre conjuntos de datos.

(Pix4Dmapper genera ortomosaicos que son paralelos al plano (X, Y). Por lo tanto, para generar mosaicos de fachadas, es necesario utilizar la herramienta *Ortoplano*)

- Casos especiales: Para nieve, arena y superficies de agua (océanos, lagos, ríos, etc.).

La nieve y la arena tienen poco contenido visual a causa de las grandes áreas uniformes. Por lo tanto:

- Utilice una superposición alta: al menos un 85% de superposición frontal y al menos un 70% de superposición lateral.
- Configure los ajustes de exposición para obtener el mayor contraste posible en cada imagen.

Las superficies de agua casi no disponen de contenido visual debido a las grandes áreas uniformes. El reflejo del sol en el agua y las olas no se puede usar para la comparación visual.

- Los océanos son imposibles de reconstruir.
- Para reconstruir otras superficies de agua, como ríos o lagos, cada imagen debe tener características terrestres. Volar más alto puede ayudar a incluir más características de la tierra.

- Mapeo de corredores: Para proyectos con un área de interés lineal (carreteras, ríos, etc.).

Este tipo de proyectos requiere al menos dos líneas de vuelo. No se requieren GCP, pero se recomiendan para mejorar la precisión de la reconstrucción.

<sup>9</sup> punto de la superficie terrestre perpendicular al plano focal



Para una pista doble, se recomienda utilizar al menos un 85% de superposición frontal y al menos un 60% de superposición lateral. Es posible utilizar imágenes nadir o imágenes oblicuas. Para terrenos planos, se recomienda utilizar imágenes de nadir.

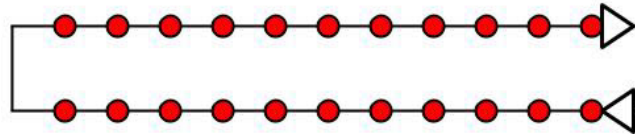


Figura 56. Plano de adquisición de imágenes de doble vía para mapeo de corredores.

Si no es posible un plan de adquisición de imágenes de doble pista, se puede utilizar un plan de adquisición de imágenes de una sola pista si:

- La superposición es lo suficientemente alta: al menos un 85% de superposición frontal.
- Los puntos de control de tierra (GCP) se definen a lo largo de la línea de vuelo en un patrón de zigzag.

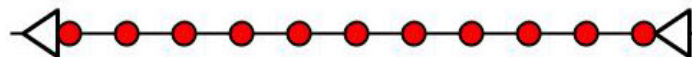


Figura 57. Vuelo de vía única NO RECOMENDADO.

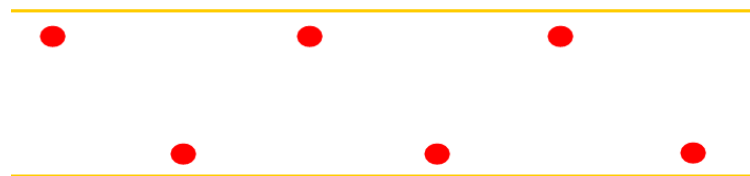


Figura 58. Distribución recomendada de los GCP en el mapeo de corredores.

- Varios vuelos: para proyectos con imágenes tomadas con varios vuelos.

Para este tipo de adquisiciones se debe asegurar que:

- Cada plan captura las imágenes con suficiente superposición.
- Debe haber suficiente superposición entre 2 planes de adquisición de imágenes.
- Los diferentes planos se toman en la medida de lo posible bajo las mismas condiciones (dirección del sol, condiciones climáticas, no nuevos edificios, etc.).
- La altura del vuelo no debe ser demasiado diferente entre los vuelos, ya que una altura diferente conduce a una resolución espacial diferente.

Pix4D dispone de una forma especial de procesar conjuntos de datos tomados de varios vuelos.

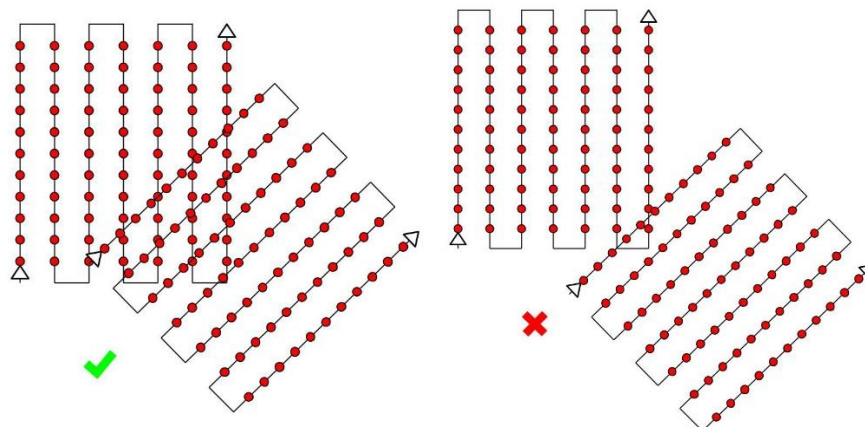


Figura 59. Suficiente superposición entre 2 vuelos/ No hay suficiente superposición entre 2 vuelos

- Reconstrucción de la ciudad (fachadas visibles): Para modelado 3D de áreas urbanas.

Este tipo de reconstrucciones requiere un plan de adquisición de imágenes de doble cuadrícula para que todas las fachadas de los edificios (norte, oeste, sur, este) sean visibles en las imágenes. La superposición de las imágenes es la misma que en el caso general.

Para que las fachadas sean visibles, las imágenes deben tomarse con un ángulo entre  $10^\circ$  y  $35^\circ$  ( $0^\circ \rightarrow$  la cámara está mirando hacia abajo). Si se necesitan muchos detalles las imágenes adquiridas con dron deben combinarse imágenes aéreas y terrestres.

- Reconstrucción interior 3D: para modelado 3D del interior de edificios.

Para la reconstrucción de interiores, se recomienda utilizar imágenes terrestres. Se necesita una gran superposición (90%). Por lo tanto, se recomienda utilizar una cámara con lente ojo de pez.

Los puntos de control manuales mejoran la reconstrucción y ayudan a ajustar correctamente el modelo.

- Reconstrucción mixta: para conjuntos de datos combinados (interior / exterior y / o aéreo / terrestre y / o nadir / oblicuo).

Es posible combinar interior / exterior y / o aéreo / terrestre y / o nadir / oblicuo. Cualquier combinación es posible.

Las imágenes deben tener suficiente superposición en cada conjunto de datos y entre conjuntos de datos. Para tales casos, se recomienda utilizar GCP o puntos de control manuales para ajustar correctamente los diferentes conjuntos de imágenes.

- Reconstrucción de objetos verticales grandes: para modelado 3D de objetos altos y delgados.

Estos tipos de objetos requieren un plan de adquisición de imágenes específico.

- Vuela cerca de la estructura.
- Gire varias veces la estructura a varias alturas.
- Las imágenes deben tomarse con una gran superposición: 90% de superposición entre imágenes tomadas a la misma altura y 60% de superposición entre imágenes tomadas a diferentes alturas.
- Todo en el marco de la imagen debe estar enfocado, incluidos los objetos del fondo que están fuera del área del proyecto.
- Se recomienda tener geolocalización de imágenes.

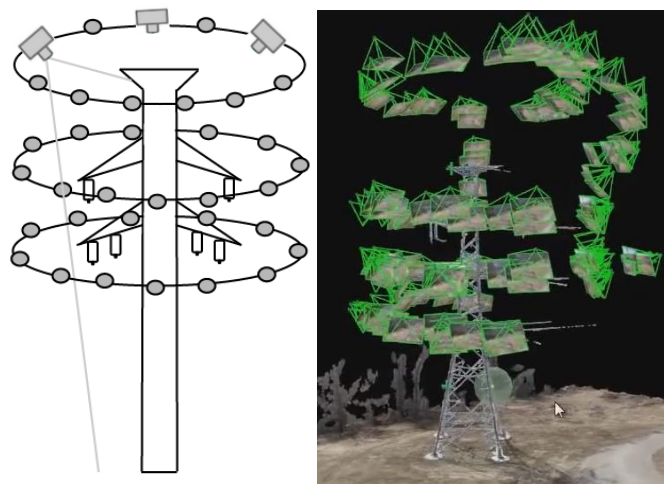


Figura 60. Plan de adquisición de imágenes - Torre de energía.

- Térmica: para conjuntos de datos adquiridos con cámaras térmicas.

Para una mejor reconstrucción de la escena capturada en un proyecto térmico, se deben seguir algunas recomendaciones durante la adquisición de la imagen:

- Tienen una superposición muy alta: 90% de superposición de imagen frontal y lateral.
- Las imágenes deben tener una resolución de al menos 640x480.
- Las imágenes no sufren borrosidad por movimiento. velocidad de vuelo altas puede provocar una imagen borrosa.

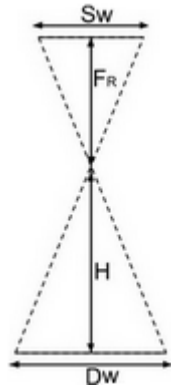
*b. Calcular la altura de vuelo para un GSD dado*

La GSD requerida por las especificaciones del proyecto definirá la distancia (altura de vuelo) a la que se deben tomar las imágenes.

La distancia de muestreo del suelo (GSD) es la distancia entre el centro de dos píxeles consecutivos en el suelo. Infiere en la precisión y la calidad de los resultados finales, así como en los detalles que son visibles en el ortomosaico final.



La altura de vuelo H que se necesita para obtener un GSD dado se puede calcular y depende de la distancia focal de la cámara, el ancho del sensor de la cámara [mm] y el ancho de la imagen [píxeles]. Pix4D proporciona un archivo Excel para el cálculo del GSD con una serie de datos conocidos. Este archivo se encuentra en el ANEXO.



\$S\_w\$ = ancho real del sensor [mm]  
 \$F\_R\$ = distancia focal real [mm]  
 \$H\$ = altura de vuelo [m]  
 \$D\_w\$ = distancia cubierta en el suelo por una imagen en la dirección del ancho (ancho de la huella) [m]

Cuando se buscan los datos de la cámara a usar en la toma de imágenes, en la mayoría de las ocasiones la distancia focal se da en equivalente de 35mm (\$F\_{35}\$). En general, los datos que se usan para realizar los cálculos es la distancia focal real. Esta debe ser calculada.

En el caso de una relación 4: 3, la fórmula para la distancia focal real \$F\_R\$ viene dada por:

$$F_R (mm) = \frac{F_{35} \cdot S_w}{34.6}$$

\$F\_{35}\$ = distancia focal que corresponde al equivalente de 35 mm  
 \$F\_R\$ = distancia focal real (mm)  
 \$S\_w\$ = el ancho real del sensor (mm)

Caso general:

$$F_R (mm) = \frac{0,5 \cdot S_w}{\tan\left[\frac{0,5 \cdot H \cdot FOV}{57,296}\right]}$$

HFOV = campo de visión (horizontal) (29)

Altura de vuelo

$$\frac{H}{F_R} = \frac{D_w}{S_w} \rightarrow H = \frac{D_w \cdot F_R}{S_w}$$

\$D\_w\$ = distancia cubierta en el suelo por una imagen [m] en la dirección del ancho (ancho de la huella)

Ancho de la huella

$$D_w = \frac{imW * GSD}{100}$$

\$imW\$ = ancho de la imagen [píxel]  
 \$GSD\$ = GSD deseado [cm / píxel] (31)

(distancia recorrida en el suelo por una imagen en la dirección del ancho)



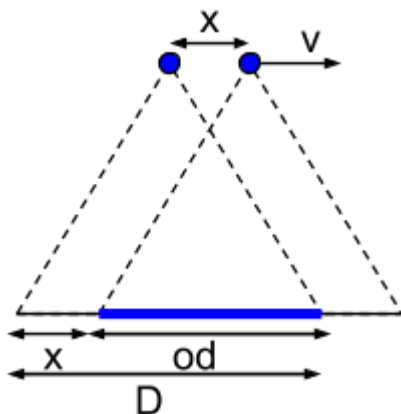
$$H = \frac{imW \cdot GSD \cdot F_R}{S_w \cdot 100} \quad \begin{matrix} H(m)=\text{altura vuelo} \\ GSD(\text{cm/pixel}) \end{matrix} \quad (32)$$

$$GSD = \cdot (S_w \cdot H) / (F_R \cdot Si) \quad \begin{matrix} GSD (m/pixel) \\ S_w=\text{ancho sensor (mm)} \\ H=\text{altura vuelo (m)} \\ F_R=\text{distancia focal real (mm)} \\ Si=\text{ancho imagen (pixel)} \end{matrix} \quad (33)$$

c. Calcular la velocidad de imagen para una superposición frontal determinada

La superposición depende del tipo de terreno que se mapee y determinará la velocidad a la que se deben tomar las imágenes.

La velocidad de disparo de la imagen para lograr una superposición frontal determinada depende de la velocidad del UAV, el GSD y la resolución de píxeles de la cámara.



D = distancia recorrida en el suelo por una imagen en la dirección de vuelo [m]  
 superposición = porcentaje de superposición frontal deseada entre dos imágenes  
 od = superposición entre dos imágenes en la dirección de vuelo [m]  
 x = distancia entre dos posiciones de cámara en la dirección de vuelo [m]  
 v = velocidad de vuelo [m / s]  
 t = tiempo transcurrido entre dos imágenes (velocidad de imagen) [s]

$$od = \text{superposición} \cdot D \quad (34)$$

$$x = D - od \quad (35)$$

$$t = x / v \quad (36)$$

Se pueden encontrar dos posibles casos:

- Cámara orientada con el ancho del sensor (dimensión larga) perpendicular a la dirección de vuelo (caso habitual)

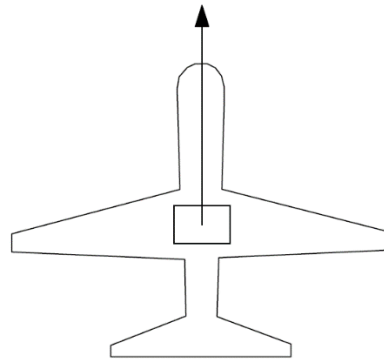


Figura 61. Orientación cámara 1

$$D = Dh = (imH * GSD) / 100$$

Dh= distancia recorrida en el suelo por una imagen en la dirección de la altura (altura de la huella) [m]  
imH = altura de la imagen [píxel]  
GSD = GSD deseado [cm / píxel] (37)

Donde :

$$x = ((imH * GSD) / 100) * (1 - \text{superposición})$$

x=Dh\*(1-  
superposición) (38)

x(m)  
GSD(cm/píxel)

$$t = x / v = ((imH * GSD) / 100) * (1 - \text{superposición}) / v$$
 (39)



- Cámara orientada con el ancho del sensor (dimensión larga) paralelo a la dirección de vuelo

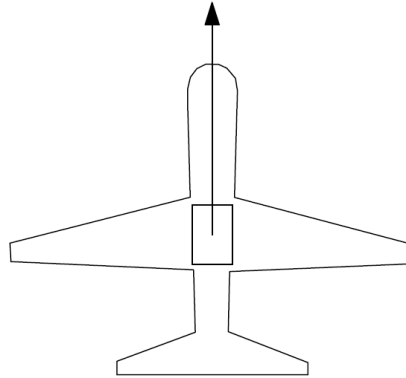


Figura 62. Orientación cámara 2

$$D = Dw = (imW * GSD) / 100$$

Dw = distancia cubierta en el suelo por una imagen en la dirección del ancho (ancho de la huella) [m]  
 imW = ancho de la imagen [píxel]  
 GSD = GSD deseado [cm / píxel]

Donde :

$$x = ((imW * GSD) / 100) * (1 - \text{superposición})$$

x = Dw \* (1 - superposición)

x(m)  
 GSD(cm/píxel)

$$t = x / v = ((imW * GSD) / 100) * (1 - \text{superposición}) / v$$



- **Configurar los ajustes de la cámara**

Pix4Dmapper puede procesar imágenes adquiridas con cualquier cámara



Usando cualquier lente:

- Perspectiva (campo de visión estrecho y amplio).
- Ojo de pez (campo de visión ultra amplio).

Usando cualquier plataforma:

- UAV.
- Aviones con tripulación.
- Vehículos terrestres.
- Cámara portatil.

Usando cualquier especificación espectral:

- Cámaras RGB.
- NIR, cámaras Red Edge para aplicaciones agrícolas.
- Cámaras térmicas:Procesamiento de imágenes térmicas.
- Cámaras hiperespectrales .

Para la buena toma de imágenes:

- El zoom debe ser estable y se recomienda una distancia focal fija.
- La velocidad de obturación, la apertura y el ISO deben configurarse en automático. Si las imágenes son borrosas o ruidosas, se pueden configurar estos parámetros manualmente.
- Los ajustes de estabilización deben estar desactivados.

Distancia focal de la cámara recomendada:

- Cartografía: proyecto aéreo con una altura de vuelo superior a 50 metros.
  - Lente en perspectiva: entre 22 mm y 80 mm de distancia focal (equivalente a 35 mm). Con ello se asegura un buen GSD que conducirá a resultados de mayor precisión.
- Reconstrucción en interiores / corta distancia.
  - Lente ojo de pez: distancia focal muy corta. Esta lente dispone de mayor flexibilidad en la adquisición de datos (asegura mayor superposición)





Para una altura determinada, cuanto más amplio sea el campo de visión (distancia focal corta), menor será la cantidad de imágenes para lograr una superposición suficiente. Esto es especialmente útil si no se puede configurar un plan de vuelo regular y denso. Sin embargo, la resolución espacial será baja, lo que dará lugar a resultados menos precisos.

Si el campo de visión es estrecho (distancia focal larga), se necesitarán más imágenes para garantizar una superposición suficiente al mapear la misma área. La resolución espacial será mayor en este caso, lo que dará lugar a resultados más precisos.

Existe una compensación entre la velocidad de obturación, la apertura y la sensibilidad ISO. Para el procesamiento, las imágenes deben ser nítidas y tener la menor cantidad de ruido. Estas imágenes se pueden obtener cuando la escena está bien iluminada (se deben evitar las nubes dispersas) y los parámetros de la cámara están bien ajustados.

Como reglas generales:

La velocidad del obturador debe ser fijar en una velocidad media (entre 1/300 de segundo y 1/800 de segundo). Si más del 5% de las imágenes están sujetas a un desenfoque direccional, es una buena indicación de que la velocidad del obturador debe aumentarse ligeramente.

El ISO debe establecerse en un valor bajo que no produzca imágenes ruidosas y la apertura debe establecerse en automático para ajustarse a los diferentes niveles de brillo en la escena. Este debe establecerse lo más bajo posible (mínimo 100). Si este es muy alto, generaran ruidos en las imágenes, reduciendo así su calidad.

Los valores máximo y mínimo de apertura dependen del objetivo. La apertura alta se traduce en números bajos. Si se ajustan tanto la velocidad de obturación como el ISO, es mejor dejar la apertura (f) en automático.

La estabilización electrónica y mecánica debe desactivarse ya que interfiere con los algoritmos de Pix4Dmapper.

El modo de enfoque recomendado es el enfoque manual en infinito. Este modo de enfoque siempre debe proporcionar imágenes enfocadas para proyectos aéreos. Para proyectos terrestres, este modo probablemente dará lugar a resultados desenfocados, si se utiliza una distancia focal larga.

- Georreferenciación de imágenes (opcional pero recomendado)

Se recomienda conocer la posición de la cámara durante al menos el 80% de las imágenes para obtener resultados más rápidos y de alta calidad. Pix4Dmapper no requiere los parámetros IMU. Los parámetros de orientación se calculan durante el procesamiento.

- Imágenes sin geolocalización



Al no disponer de la geolocalización de las imágenes, el software de fotogrametría necesitará información adicional para localizar, escalar y orientar correctamente el modelo.

En este caso se pueden usar puntos de control de tierra, con esto el modelo se ubica, escala y orienta correctamente.

Si no se usan GCP, se pueden utilizar las restricciones de escala y de orientación.

- Imágenes con posición conocida usando una cámara con etiquetado GPS incorporado

En estos momentos, casi todos los dispositivos asociados a la adquisición de imágenes se respaldan con etiquetado GPS. La mayoría de estas cámaras guardan las coordenadas GPS en los datos EXIF de las imágenes. Los datos EXIF son importados automáticamente proporcionándoles así la geolocalización de la imagen al software.

- Imágenes con posición conocida usando un registrador GPS externo

Registran los valores de latitud, longitud y altitud para cada posición de la cámara mientras dispara. Estos datos se guardan en un archivo importable.

- Obtener GCP sobre el terreno o mediante otras fuentes (opcional)

Los puntos de control terrestre (GCP) son puntos de coordenadas conocidas en el área de interés. Sus coordenadas se han medido con métodos topográficos tradicionales o se han obtenido de otras fuentes (LIDAR, mapas más antiguos de la zona, Web Map Service). No son necesarios para procesar un proyecto. Los GCP también se pueden utilizar como puntos de control para comprobar la precisión de los resultados.

En proyectos con geolocalización de imágenes: los GCP aumentan la precisión absoluta de un proyecto, colocando el modelo en la posición exacta en la Tierra. Reducen el cambio debido al GPS de metros o centímetros.

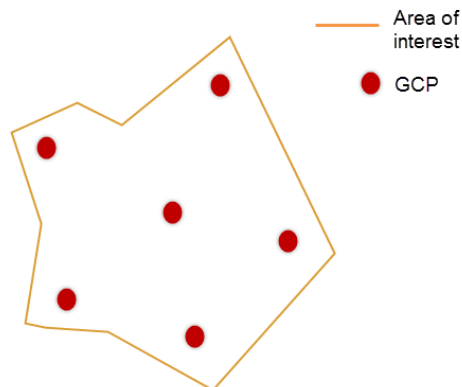
En proyectos sin geolocalización de imágenes: se requieren GCP si existe la necesidad de salidas georreferenciadas. En este caso, los GCP escalarán, orientarán y posicionarán los resultados finales. Además, son muy útiles para incrementar la precisión relativa de las salidas, es decir, la reconstrucción del modelo 3D.

- Número y distribución de GCP

Los GCP deben ubicarse de manera homogénea en el área de interés.

- Se requiere un número mínimo de 3 GCP para que se tengan en cuenta en la reconstrucción. Cada uno debe estar marcado en al menos 2 imágenes.
- Se recomienda un número mínimo de 5 GCP. 5 a 10 GCP suelen ser suficientes, incluso para proyectos grandes. Más GCP no contribuyen significativamente a aumentar la precisión.

- En los casos en que la topografía del área sea compleja, más GCP conducirán, de hecho, a una mejor reconstrucción (más precisa).
- Se recomienda utilizar al menos 5 GCP, cada uno de los cuales se identifica en 5 imágenes, ya que minimiza las inexactitudes de medición y ayuda a detectar errores que pueden ocurrir al insertar los GCP.
- Los GCP deben colocarse uniformemente en el paisaje para minimizar el error de escala y orientación.
- No se deben colocar los GCP exactamente en los bordes del área, ya que solo serán visibles en algunas imágenes.



**Figura 63. Distribución de los GCP.**

- Adquisición de GCP

Los puntos de control de tierra pueden ser:

- GCP medidos en el campo

Medir los GCP en el campo requiere pasar algún tiempo en el área y ubicar la posición donde deben medirse. Este proceso requiere que el terreno sea accesible. Antes de medir las coordenadas de GCP, se deben definir los siguientes elementos:

#### 1. Sistema de coordenadas GCP

Un sistema de coordenadas es un conjunto de números y parámetros que se utiliza para definir la posición de cualquier objeto en el espacio 2D o 3D. La altitud puede ser geométrica (usando como referencia el nivel del elipsoide) u ortométrica (usando como nivel de referencia el Nivel Medio del Mar).

- Sistemas de coordenadas globales: Se definen mediante coordenadas de elipsoide 3D (latitud, longitud, altitud).
- Sistemas de coordenadas nacionales: Suelen definirse mediante una proyección definida para un país específico (X, Y, altitud).
- Sistemas de coordenadas locales: Se definen mediante una proyección. El usuario establece el origen y la orientación donde es más conveniente (X, Y, altitud).



## 2. Precisión de GCP

Se debe conocer la precisión de los GCP para establecer correctamente la precisión de GCP (horizontal y vertical) para el procesamiento.

Para definir la precisión se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Precisión necesaria para los resultados finales: la precisión de los GCP debe corresponder a la precisión absoluta final que necesita el usuario.
  - Distancia de muestreo en tierra de las imágenes. Los GCP deben:
    - Ser visible en las imágenes. El objetivo fotogramétrico de GCP debe tener entre cinco y diez veces las dimensiones del GSD. Si el GCP es natural (un punto característico en el área que no está firmado por un objetivo fotogramétrico), entonces el GCP puede ser aún más difícil de identificar y marcar.
    - No ser más preciso que 1/10 del GSD.

## 3. Equipo topográfico

Precisión total de la estación: Pueden alcanzar una precisión milimétrica (dependiendo de la distancia de los puntos medidos desde la estación).

Precisión del sistema GPS: Pueden alcanzar varios centímetros de precisión (según el equipo, la zona y el país).

- GCP definidos a partir de otras fuentes

GCP extraídos de fuentes de alta precisión: los GCP se pueden extraer de fuentes como mapas existentes y salidas de escaneo láser de la misma área. El sistema de coordenadas y la precisión de estos puntos dependen de la fuente.

GCP extraídos de los servicios de mapas web: los servicios de mapas web proporcionan mapas georreferenciados en línea mediante un protocolo estándar llamado Servicio de mapas web (WMS). Algunos servidores tienen sus bases de datos SIG a disposición del público y de forma gratuita. Se recomienda utilizar GCP derivados de dichas fuentes cuando:

- a. Las imágenes no están geolocalizadas y por tanto el proyecto no tiene georreferenciación.
- b. La salida deseada es .kml, que se puede alinear perfectamente con Google Maps.

Los pasos 2, 3, 4 y 5 (crear proyecto, pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento) son parte del programa de procesado fotogramétrico y no de la APP planificadora de vuelo. La aplicación de los pasos faltantes necesarios para la obtención de resultado se verá con un ejemplo en 4.2.3.1. **Pix4d mapper: Mapas georreferenciados desde imágenes.**

- Configuración app

### Paso 1. Planifica la misión


1. Inicie Pix4Dcapture.
2. Seleccione su dron.
  - 2.1. Presiona **Configuraciones**. 
  - 2.2. Toque **Droney** seleccione su dron.
3. Seleccione una misión.

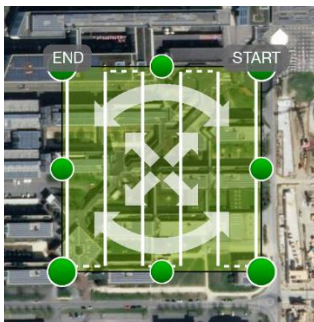


Figura 64. Selección de misión

### Tipos de misiones:

Esta selección esta relaciona con Paso 1: Antes de comenzar el proyecto: Diseño del plan de adquisición de datos.

- Grid (Rejilla/malla)



Planifica y vuela una misión de rectángulo nadir. Adecuado para la mayoría de entornos. Garantiza que las imágenes se tomen con la superposición necesaria para un procesamiento óptimo.

Recomendado en los siguientes casos:

- Interés principal en salidas de mapas 2D (DSM, ortomosaico, etc.).
- Superficie relativamente plana (por ejemplo, campos, movimiento de tierras).
- Área grande.



- Doble Grid (Doble rejilla/malla)

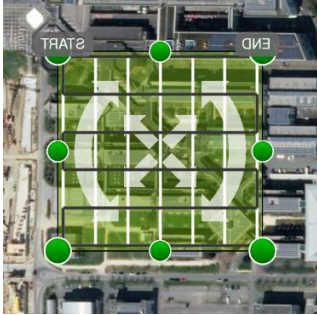
Planifica y vuela dos misiones consecutivas en el nadir del rectángulo.

Garantiza que las imágenes se tomen desde varios lados, con la superposición necesaria para un procesamiento óptimo.

En comparación con la cuadrícula simple, esta misión se recomienda para volar más cerca de los objetos con el fin de capturar más detalles verticales.

Recomendado en los siguientes casos:

- Salidas de modelos 3D (nube de puntos, mallas, etc.).
- Superficie con fluctuaciones de altura u objetos (p. Ej. Edificios, bosque).
- Zona pequeña y mediana ya que se duplica el tiempo de vuelo.



- Polygon (poligono)

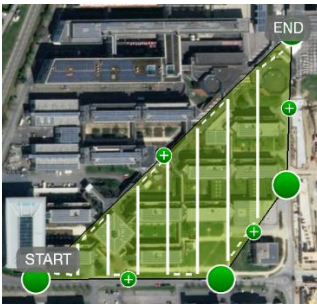
Planifica y vuela una misión poligonal nadir.

Adecuado para la mayoría de los entornos que requieren límites flexibles para volar o con una forma de mapeo compleja.

Garantiza que las imágenes se tomen con la superposición necesaria para un procesamiento óptimo.

Recomendado en los siguientes casos:

- Interés principal en salidas de mapas 2D (DSM, ortomosaico, etc.).
- Superficie relativamente plana (por ejemplo, campos, movimiento de tierras).
- Área grande.
- Formas complejas y restricciones en los límites de vuelo.

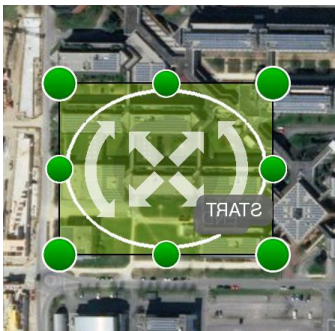


- Circular (Circular)

Planifique y vuele una misión elipsoide alrededor de los objetos.

Garantiza que las imágenes se tomen desde todos los ángulos alrededor de un punto de destino, con la superposición necesaria para un procesamiento óptimo. Para objetos altos, se sugiere volar varias misiones circulares a diferentes altitudes.

Recomendado en los siguientes casos:





- Interés principal en las salidas de modelos 3D (nube de puntos, mallas, etc.).
  - Objeto aislado (por ejemplo, torre, pilón, edificio).
  - Área pequeña.
- Free Fly (vuelo libre)




Planifique y vuele una misión de vuelo libre (usuarios avanzados).

Adecuado para mapear objetos más difíciles que requieren más flexibilidad. El obturador de la cámara se activa automáticamente según un intervalo de distancia horizontal y vertical.

**Requiere pilotar manualmente el dron.**

Recomendado en los siguientes casos:

- Interés principal en las salidas de modelos 3D (nube de puntos, mallas, etc.).
- Área pequeña.
- Estructuras complejas o verticales (por ejemplo, fachada de edificio, acantilado, puente, etc).

4. Mueva, cambie el tamaño y gire su misión para que cubra el área de su proyecto.
5. Seleccione una altitud segura.
6. Toque  para personalizar la configuración de su misión.
7. Guardela misión para usarla en el futuro.

¿Que datos nos pide para planificar una misión?

Accede a la *Configuración* 

- Dependiendo del tipo de misión volada, se pueden ajustar parámetros importantes como la superposición o el ángulo de inclinación de la cámara.
- Distancia de muestreo del suelo (GSD). Se actualiza automáticamente al cambiar la configuración del vuelo.
- Desplácese por la escala para seleccionar la altura de vuelo de 10 a 150 m. Puede ser mayor si el modo avanzado está habilitado en la Configuración general.
- muestra el tamaño de la cuadrícula y el tiempo de vuelo estimado para el plan de vuelo. Se actualiza automáticamente al cambiar la configuración del vuelo.



- Grid (Rejilla/malla)

Rango entre *Lento* y *Rápido* (predeterminado)

- Velocidad
- La velocidad máxima depende de la superposición seleccionada y la altitud de vuelo.
  - La escala tiene seis niveles correspondientes a porcentajes de la velocidad máxima entre 100% (*Rápido*) y 50% (*Lento*).
  - La velocidad debe fluctuar entre 2 y 8 m/s y no es constante durante el vuelo ya que el dron se ralentiza para disparar imágenes.

Reducir la velocidad puede ayudar a evitar la captura de imágenes borrosas, pero la opción *Rápida* es confiable para una reconstrucción óptima con el software.

- Angulo (°)
- Define inclinación (no la panorámica) de la cámara entre 0°, horizontal y 90° (predeterminado), vertical. El valor predeterminado es vertical, pero si se cambió anteriormente, el ángulo es el de la última misión planificada.

El dron gira independientemente del ángulo de la cámara. Significa que el dron gira 180° entre dos líneas consecutivas, lo que implica que el rumbo del dron no es constante. Por lo tanto, las imágenes oblicuas no se orientan en la misma dirección si el ángulo está inclinado. Define la superposición frontal entre 70%, 80% y 90%.

- Superposición (%)
- La superposición lateral se calcula de modo que la distancia lateral entre dos imágenes sea el doble de la distancia frontal, es decir, la distancia entre dos imágenes en la misma línea de vuelo. La superposición lateral se ajusta con el número de líneas para que esté cerca del valor de superposición definido.

Con el modo avanzado activado, la escala se amplía y es más flexible (intervalos del 5%).

- Face
- Define si el dron debe orientarse hacia el centro de la misión al tomar fotografías, *Centro* o *no*, *Adelante* (predeterminado).

El punto de interés debe estar en el medio del área a mapear.

Esta opción solo marca la diferencia en términos de reconstrucción si la cámara está inclinada.





- Doble Grid (Doble rejilla/malla)

rango entre *Lento* y *Rápido* (predeterminado)

Velocidad

- La velocidad máxima depende de la superposición seleccionada y la altitud de vuelo.
- La escala tiene seis niveles correspondientes a porcentajes de la velocidad máxima entre 100% (Rápido) y 50% (Lento).
- La velocidad debe fluctuar entre 2 y 8 m/s y no es constante durante el vuelo ya que el dron se ralentiza para disparar imágenes.

Reducir la velocidad puede ayudar a evitar la captura de imágenes borrosas, pero la opción *Rápida* es confiable para una reconstrucción óptima con el software

Define la inclinación (no panorámica) de la cámara entre 45° y 80° (predeterminado), siendo 90° vertical. El valor predeterminado es 80° pero si se cambió anteriormente, el ángulo es el de la última misión planificada.

Angulo (°)

El dron gira independientemente del ángulo de la cámara. Significa que el dron gira 180° entre dos líneas consecutivas, lo que implica que el rumbo del dron no es constante. Por tanto, las imágenes oblicuas no están orientadas en la misma dirección. Con el dron mirando hacia adelante durante todo el vuelo, el conjunto de datos contendrá imágenes con cuatro orientaciones diferentes. Define la superposición frontal entre 70%, 80% y 90%.

Superposición (%)

La superposición lateral se calcula de modo que la distancia lateral entre dos imágenes sea el doble de la distancia frontal, es decir, la distancia entre dos imágenes en la misma línea de vuelo. La superposición lateral se ajusta con el número de líneas para que esté cerca del valor de superposición definido.

Con el modo avanzado activado, la escala se amplía y es más flexible (intervalos del 5%).

- Polygon (polígono)

rango entre *Lento* y *Rápido* (predeterminado)

Velocidad

- La velocidad máxima depende de la superposición seleccionada y la altitud de vuelo.
- La escala tiene seis niveles correspondientes a porcentajes de la velocidad máxima entre 100% (Rápido) y 50% (Lento).
- La velocidad debe fluctuar entre 2 y 8 m/s y no es constante durante el vuelo ya que el dron se ralentiza para disparar imágenes.



Angulo (°)	<p>Reducir la velocidad puede ayudar a evitar la captura de imágenes borrosas, pero la opción <i>Rápida</i> es confiable para una reconstrucción óptima con el software</p> <p>Define inclinación (no la panorámica) de la cámara entre 0°, horizontal y 90° (predeterminado), vertical.</p> <p>El valor predeterminado es vertical, pero si se cambió anteriormente, el ángulo es el de la última misión planificada.</p> <p>El dron gira independientemente del ángulo de la cámara. Significa que el dron gira 180° entre dos líneas consecutivas, lo que implica que el rumbo del dron no es constante. Por lo tanto, las imágenes oblicuas no se orientan en la misma dirección si el ángulo está inclinado.</p>
Superposición (%)	<p>Define la superposición frontal entre 70%, 80% y 90%.</p> <p>La superposición lateral se calcula de modo que la distancia lateral entre dos imágenes sea el doble de la distancia frontal, es decir, la distancia entre dos imágenes en la misma línea de vuelo. La superposición lateral se ajusta con el número de líneas para que esté cerca del valor de superposición definido.</p>
Face	<p>Con el modo avanzado activado, la escala se amplía y es más flexible (intervalos del 5%).</p> <p>Define si el dron debe orientarse hacia el centro de la misión al tomar fotografías, <i>Centro</i> o no, <i>Adelante</i> (predeterminado).</p> <p>El punto de interés debe estar en el medio del área a mapear.</p> <p>Esta opción solo marca la diferencia en términos de reconstrucción si la cámara está inclinada.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Circular</li> </ul>
	<p>rango entre <i>Lento</i> y <i>Rápido</i> (predeterminado)</p>
Velocidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La velocidad máxima depende de la superposición seleccionada y la altitud de vuelo.</li> <li>• La escala tiene seis niveles correspondientes a porcentajes de la velocidad máxima entre 100% (Rápido) y 50% (Lento).</li> <li>• La velocidad debe fluctuar entre 2 y 8 m/s y no es constante durante el vuelo ya que el dron se ralentiza para disparar imágenes.</li> </ul>
Angulo (°)	<p>Reducir la velocidad puede ayudar a evitar la captura de imágenes borrosas, pero la opción <i>Rápida</i> es confiable para una reconstrucción óptima con el software</p> <p>Define el ángulo que separa imágenes consecutivas. Cuanto menor sea el ángulo, mayor será la superposición de la imagen. El valor varía entre 4° (bajo) y 20° (alto). El valor</p>

predeterminado es  $10^\circ$  pero si se cambió anteriormente, el ángulo es el de la última misión planificada.

El dron se traduce para estar siempre de cara al Punto de interés (POI) que es el centro del vuelo. El ángulo de la cámara está configurado para enfocar el suelo. En otras palabras, el ángulo de la cámara está más cerca de la vertical cuando la altitud de vuelo es mayor.

- Free Fly (vuelo libre)

Al ser vuelo libre, la configuración es manual y no existe ningún escenario para este tipo de misiones.

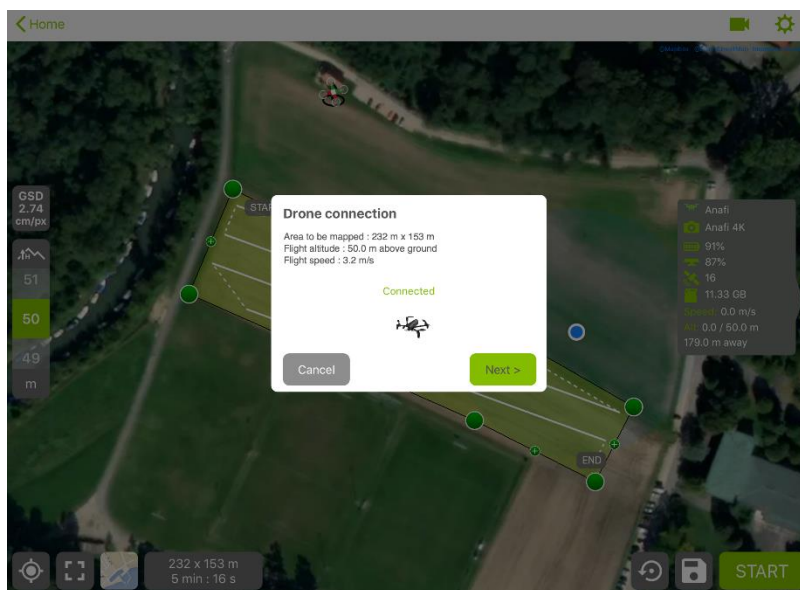
## Paso 2. Vuela la misión

1. Coloque su dron en un área desde la que pueda despegar y aterrizar de manera segura.
2. Encienda su dron y el controlador de acuerdo con el orden de operaciones recomendado por el fabricante del dron.
3. Conecte su teléfono o tableta a su dron de acuerdo con el orden de operaciones recomendado por el fabricante de su dron.
4. Forzar el cierre de todas las aplicaciones de drones que estén abiertas en su teléfono o tableta.
5. Inicie Pix4Dcapture.
6. Elija una misión de la Lista de proyectos o planifique una nueva misión.



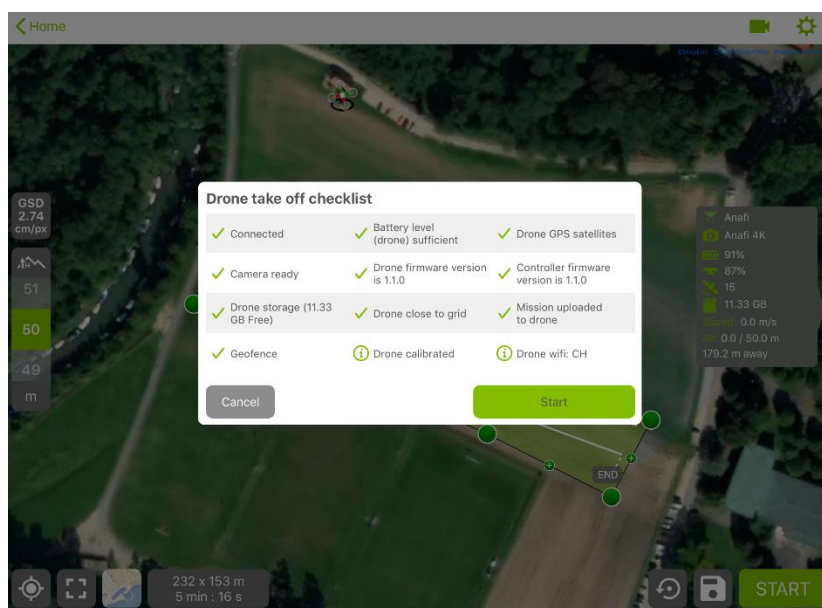
Figura 65. Malla de vuelo

7. Presionar Iniciar



**Figura 66. Comienzo proyecto**

8. Verifique que su dron esté conectado, luego toque Siguiente.



**Figura 67. Lista de verificación**

9. Complete la lista de verificación, luego presione o mantenga presionado Start hasta que los motores comiencen a girar.

10. Mientras su dron está volando:

- Mantenga sus manos en el controlador, teléfono o tableta en todo momento.
- Mantenga el contacto visual con su dron en todo momento.



- Toma el control o detén la misión tocando Abortar, cambiando los modos de vuelo o moviendo los joysticks del controlador.

#### 11. Cuando finaliza la misión:

- Su dron regresa automáticamente y aterriza en su posición inicial.
- Toma el control de tu dron si quieres aterrizar manualmente cambiando los modos de vuelo o moviendo los joysticks del controlador.

#### Paso 3. Procesar las imágenes

- Carga desincronización y proceso en Pix4Dcloud

#### Sincronización

1. Pix4Dcapture comenzará a descargar imágenes automáticamente a su teléfono o tableta después de capturar la foto final de la misión:
    - Mantenga su dron y control remoto encendido y conectado a su teléfono o tableta para descargar sus imágenes de forma inalámbrica.
    - Pix4Dcapture crea un archivo de proyecto .p4d que puede utilizar para procesar su proyecto
  2. (opcional) Toque **Cancelar** para dejar de descargar imágenes de forma inalámbrica. Puede transferir sus imágenes directamente desde la tarjeta SD de su dron a su computadora de escritorio o portátil.
- Procesar localmente con la aplicación Pix4Dmapper

#### Proceso en Pix4Dcloud

Puede cargar sus imágenes directamente a Pix4Dcloud después de descargarlas a su teléfono o tableta.

1. En la pantalla de *inicio*, toque Lista de proyectos y seleccione su proyecto.
2. Toque Cargar imágenes.

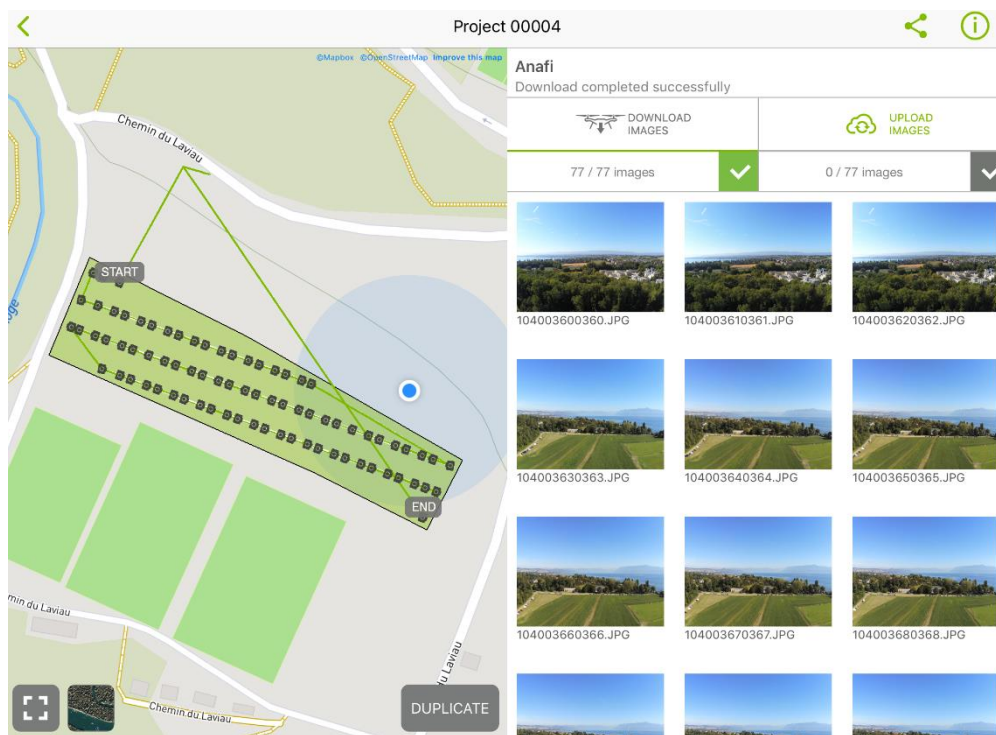


Figura 68. Carga de imágenes.

3. Recibirá un correo electrónico cuando se carguen todas sus imágenes y comience el procesamiento.
4. Recibirá un segundo correo electrónico cuando finalice el procesamiento.

- **Procesar localmente con la aplicación Pix4Dmapper**

Para opciones y salidas de procesamiento avanzadas, transfiera sus imágenes a su computadora portátil o de escritorio para procesarlas con la aplicación Pix4Dmapper.

Cada carpeta de Proyecto ## contiene:

- El archivo de proyecto global (.p4d).
- Carpetas de misión que contienen los vuelos que forman parte del mismo proyecto y que deben procesarse juntos.

Cada carpeta de Misión ## contiene:

- El archivo individual (.p4d), en caso de que un vuelo específico deba procesarse independientemente de otras misiones.
- Las respectivas imágenes capturadas ubicadas en la carpeta de datos.

Doble clic en Proyecto ##. P4d para abrirlo con Pix4Dmapper.



## 4.2.2. Edificio

### 4.2.2.1. 3D edificio

#### 4.2.2.1.1. *Diferentes enfoques en la digitalización de edificios mediante el uso de escaneo laser 3D* [60]

Desde la facultad de ingeniería civil de la universidad de Koshielo y de la facultad de minería, ecología y control de procesos y geo-tecnologías de la misma universidad, ambas en Eslovaquia, se lleva a cabo un estudio de un mismo edificio con tres técnicas de escaneo 3D diferentes y se presenta unos resultados sobre cuál sería el mejor método basándose en tres criterios de decisión.

El edificio de estudio, la Facultad de Ingeniería Civil, tiene una estructura simple en forma de L con una superficie construida de 3150 m<sup>2</sup>, una altura de 20 m y un ángulo de inclinación de la cubierta de 24°. El objetivo principal de la medición digital es medir el exterior del edificio por completo, es decir, la fachada más tejado.

Para realizar ese objetivo, se estudian tres métodos diferentes, cada uno de ellos con sus propias características además de sus ventajas/desventajas y limitaciones.

Estos tres métodos son:

- a) Escaneo láser terrestre (fachada del edificio) + Fotogrametría aérea (tejado del edificio)
- b) Escaneo láser terrestre (fachada y tejado del edificio)
- c) Fotogrametría aérea (fachada y tejado del edificio)

Se estudiará cada caso por separado.

- a) escaneo láser terrestre combinado con fotogrametría aérea.

Para realizar es escaneo de la fachada se utilizó el escáner láser FARO Focus 3D X130.

Los puntos azules reflejados en la Figura 69 son las posiciones reales en la que se colocó el escáner laser y los puntos rojos son el comienzo y final del escaneo, además se refleja la dirección del escaneo alrededor de todo el edificio y las fotos reales de la construcción de la facultad.



*Figura 69. Proceso escaneo láser terrestre de la fachada del edificio*

Para realizar ese recorrido y la toma de imágenes:

1. El tiempo total de medición fue de aproximadamente 12 h.
2. Se crearon 48 posiciones de escáner.

Para la toma de fotografías aéreas del tejado del edificio, se utilizó el dron DJI MAVICO PRO. Además, se utilizó un mando a distancia, la aplicación DJI GO y una aplicación DroneDeploy.

Primero se debe establecer un plan de vuelo del dron. Este plan puede ser automático (Figura 70) o manual (Figura 71) Se probaron ambos modos.

1. Modo automático: 195 imágenes aéreas durante 5 minutos
2. Modo manual: 107 imágenes aéreas durante 20 min (el vuelo manual por control remoto requiere un piloto experimentado)



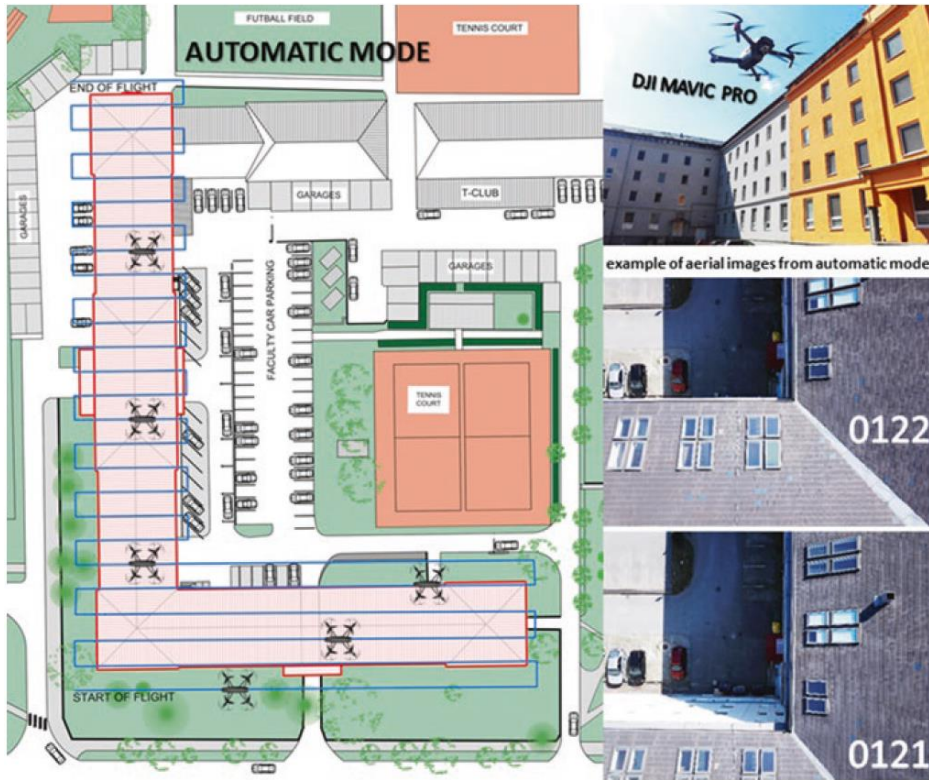


Figura 70. Proceso aéreo en modo automático

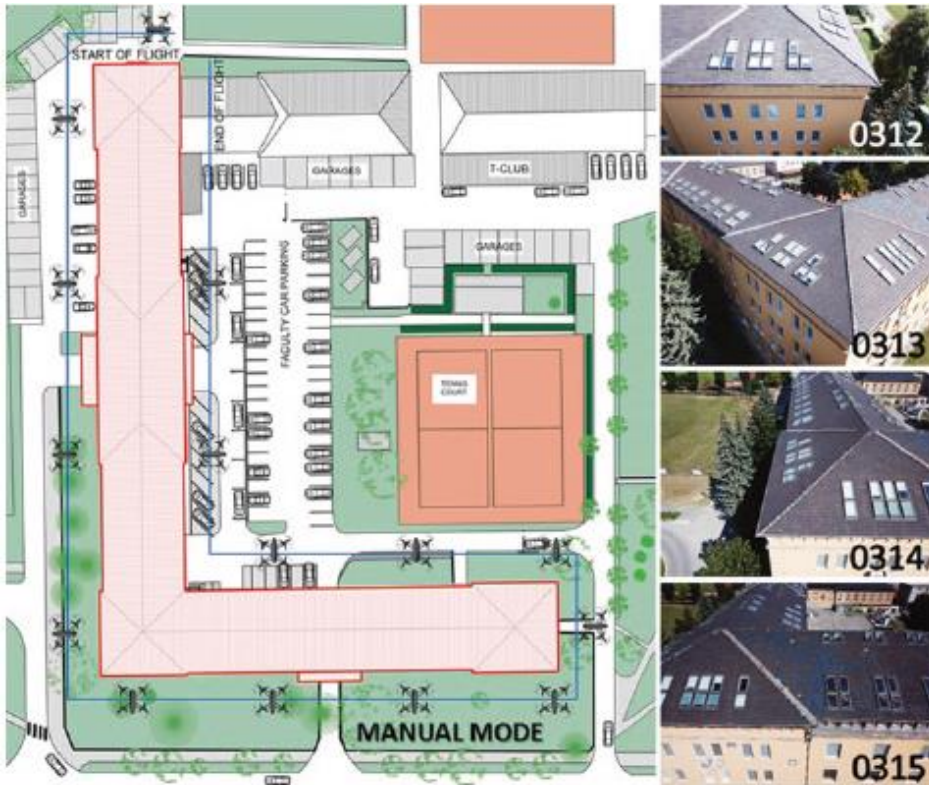


Figura 71. Proceso aéreo en modo manual



Para procesar estos datos, se dividió el proceso en tres etapas:

1. Obtención de nubes de dos puntos a partir de dos tecnologías:
    - Para el procesamiento de los datos procedentes del escáner, se utilizó el software Faro SCENE:
      - se realizó el registro
      - la eliminación de los puntos redundantes,
      - la aplicación del color basada en las fotos panorámicas
      - la exportación de la nube de puntos en formato E57 al software Autodesk Recap.
  2. Para el tratamiento de los datos procedentes del UAV, se utilizó el software Agisoft Photoscan Professional:
    - Se realizó una nube de puntos dispersa en la más alta calidad
    - Se realizó nube de puntos densa en ultra alta calidad.
    - El tiempo total de creación de la nube de puntos a partir de 302 fotografías aéreas (de ambos modos) fue de 31 h.
- En general, a menor calidad menor tiempo. Además, se debe de tener en cuenta para el cálculo tiempo total, las características de los ordenadores que se utilizan para el procesado.
3. El tiempo total para crear la nube de puntos a partir de 302 fotografías aéreas (de ambos modos) y del escáner fue de 32 h (31 + 1 h).
  4. Creación de un sistema de coordenadas común:
    - El sistema de coordenadas de la nube de puntos de las fotografías aéreas (del software Agisoft) se adaptó al sistema de coordenadas de la nube de puntos de los escaneos láser.
    - El tiempo total de estos procesos fue de 1 h.

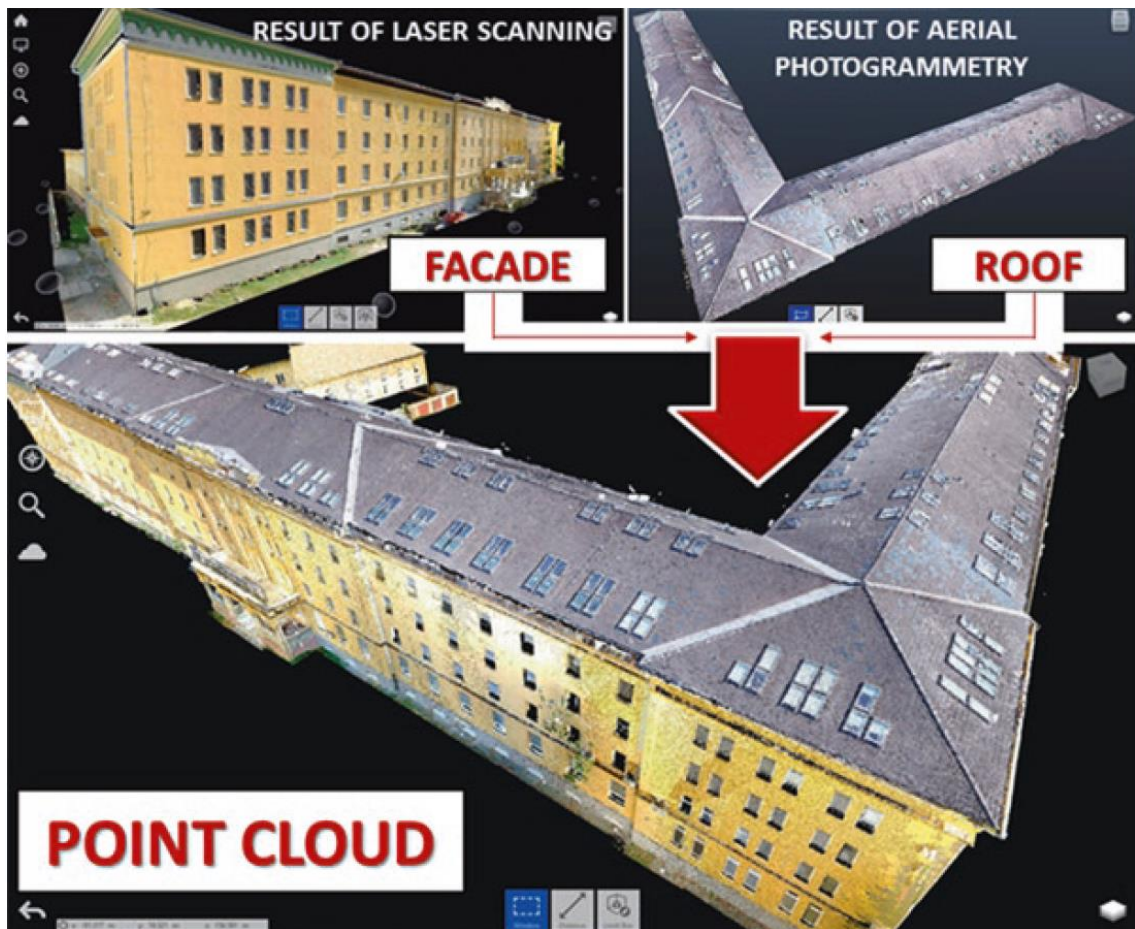


Figura 72. Suma de ambas nube de puntos

5. Conexión de dos nubes de puntos en una sola:

- La conexión de la nube de puntos de la fachada con la nube de puntos de la nube de puntos del tejado, se realizó mediante el software CloudCompare.
- El tiempo total de conexión de las dos nubes de puntos fue de sólo unos minutos.

Se debe tener en cuenta que la legislación eslovaca respecto al vuelo y la toma de imágenes mediante UAV está protegida por el Ministerio de defensa de la república. El tiempo de espera para obtener este permiso es de unas 2 o 3 semanas. Aparte de este permiso, después de obtener las imágenes del terreno, es necesario enviar estas para su evaluación de nuevo al Ministerio, el cual tarda otras 2 o 3 semanas en evaluarlas. Por lo cual, estos periodos de tiempo se pueden considerar como una las desventajas del uso de esta tecnología.

b) Escaneo láser terrestre (fachada y tejado del edificio)

Se extiende el escaneo láser también al tejado de la facultad. Por ello, se deben añadir nuevas posiciones al escaneo.

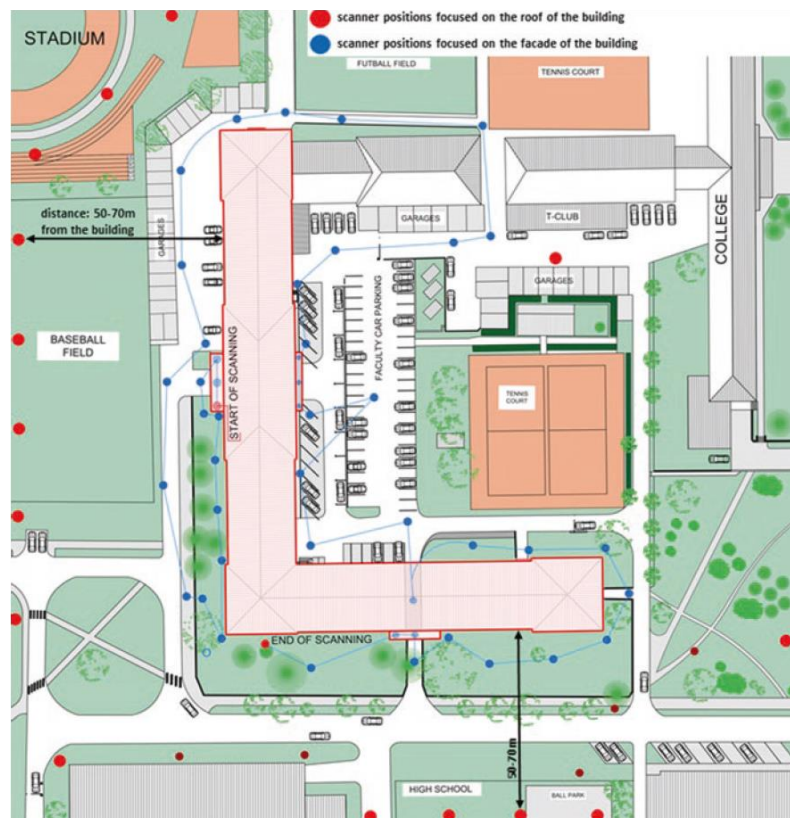


Figura 73. Diseño de toma de imágenes solo con láser escáner.

En la figura anterior se pueden observar las posiciones originales del escáner láser (puntos azules de la primera utilización en el caso A.) pero también nuevas posiciones de escaneo adicionales (puntos rojos alejados del edificio escaneado). Estos escaneos adicionales deben crearse a una distancia de 50-70 m del edificio.

El rango de escaneo del Faro Focus es de hasta 130 m; por tanto, sería posible medir la extensión de la superficie de la estructura del tejado, y esta distancia no era un problema para el escáner láser.

El tiempo total de recogida de datos sería de 2 días en este caso.

El tiempo previsto para el procesamiento global de los datos sería de aproximadamente 5 h. La calidad de la nube de puntos resultante de la superficie del tejado sería, sin duda alguna, ligeramente peor que la calidad de la fotogrametría aérea con un UAV. Por este motivo, se considera que esta solución es realista pero poco eficaz o efectiva para medir el tejado de un edificio.

### c) Fotogrametría aérea (fachada y tejado del edificio)

Se utiliza un dron para realizar el estudio completo, tanto fachada como tejado. Para ello, se hace uso de un dron Falcon 8. La desventaja de este dron es su peso al despegue (2,8 kg), que tiene un gran impacto en la duración de la batería.

Cuando se obtuvieron las imágenes, el clima estaba ligeramente nublado, por lo que hubo muchas sombras en la fachada del edificio. Estos efectos hicieron que una batería durara sólo 7 minutos. El tiempo total de vuelo fue de 2 h, por lo que hubo que cambiar diez baterías durante el vuelo. Las fotografías aéreas también se crearon en modo automático y manual. En total, se tomaron 1050 fotografías aéreas con una resolución de cámara de 36 megapíxeles. Como se ha mencionado anteriormente, el uso de la tecnología de los vehículos aéreos no tripulados en las condiciones de Eslovaquia requiere la obtención de un permiso para la creación de imágenes aéreas del Ministerio de Defensa del país.

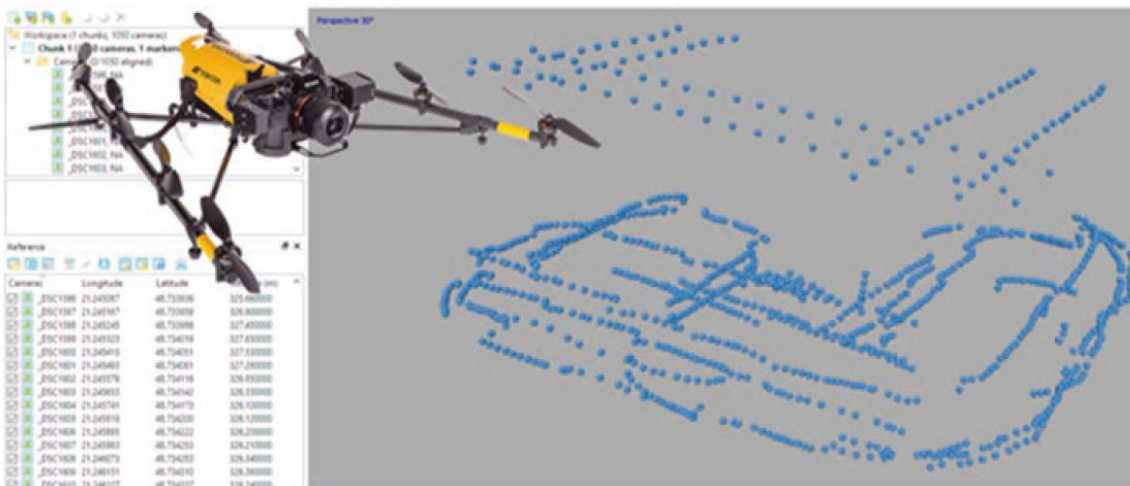


Figura 74. Puntos de toma de imágenes

El proceso de procesamiento de datos de imágenes aéreas:

- En modo automático 100 imágenes, creadas en 3 minutos.
- En modo manual 950 imágenes, creadas a diferentes alturas para capturar todos los detalles de la fachada del edificio.
- Las imágenes se procesaron con el software Agisoft (se utilizó el mismo ordenador que en el caso anterior).
- El tiempo total de procesamiento de datos en la calidad media de la nube de puntos fue de 33 h (no se ha probado la nube de puntos de calidad alta y ultra alta, el tiempo estimado de calidad ultra alta para 1050 imágenes aéreas podría ser de hasta 1 semana).



Figura 75. Calidad final de la nube de puntos de la fachada del edificio

Se puede decir que esta calidad final es suficiente para las necesidades de escaneo. Después de realizar los 3 estudios, para poder decidir cuál es la mejor opción, se utilizó el método del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) desarrollado por Saaty.

AHP es un método que selecciona alternativas en función de una serie de criterios o variables, normalmente jerarquizados, los cuales suelen entrar en conflicto. Para que el método sea eficaz, es fundamental elegir bien los criterios y subcriterios, los cuales deben estar muy bien definidos, ser relevantes y mutuamente excluyentes (independencia entre ellos). Es importante que el número de criterios y subcriterios en cada nivel no sea superior a 7, para evitar excesivas comparaciones. [61]

En este caso:

Los métodos mencionados fueron se ponderaron por igual como alternativas:

- A1: Escaneo láser terrestre + Fotogrametría aérea

- A2: Escaneo láser terrestre
- A3: Fotogrametría aérea
- 

Para este método AHP se establecieron criterios que podían representarse con números, denominados criterios cuantitativos:

- K1: Tiempo total de construcción del escáner (trabajo manual con los dispositivos)
- K2: Costes (de instalación y funcionamiento, es decir, compra de dispositivos, compra de software compatible)
- K3: Procesamiento de los datos: tiempo de procesamiento de los resultados y de formateo al formato requerido, si es necesario (y que sea compatible con el software que soporta BIM, es decir, ArchiCAD, AutoCAD, Revit, etc.)

Para cuantificar esos valores, se hace uso de matrices. En este caso, se comparan los criterios cualitativos por pares en series de matrices usando lo que es llamado una escala fundamental (FIGURA XXX). Matemáticamente, el método AHP se basa en la solución de un problema de vectores propios. El proceso de cálculo de los vectores propios es uno de los principios básicos del álgebra lineal. Los resultados de las comparaciones por pares se organizan en una matriz de Saaty. Por último, se crean la matriz de preferencias de criterios y la matriz de clasificación se crean. Los resultados de la matriz de clasificación se organizan en el árbol de decisión.

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Figura 76. Criterios cualitativos por pares

CRITERIO: PRECIO									
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Matriz normalizada				Vector promedio
Opción 1	1	0,2	0,2	5	0,09	0,12	0,05	0,21	0,12
Opción 2	5	1	3	9	0,45	0,61	0,70	0,38	0,53
Opción 3	5	0,33	1	9	0,45	0,20	0,23	0,38	0,31
Opción 4	0,2	0,11	0,11	1	0,02	0,07	0,03	0,04	0,04
SUMA	11,2	1,6	4,3	24					

Figura 77. Ejemplo de obtención de valores de la matriz

Se compararon los resultados de estos tres métodos, basándose en sus principales propiedades.

Las principales ventajas observadas de la tecnología de escaneo láser terrestre son:

- Medición de toda la información espacial importante del exterior de la fachada del edificio con altos detalles espaciales y el tejado del edificio con baja calidad



- No requiere el permiso del Ministerio de Defensa de la República Eslovaca
- Cualquier condición meteorológica
- Rápida fase de procesamiento de datos de los escaneos láser

Las principales desventajas observadas de la tecnología de escaneo láser terrestre son:

- Largo tiempo de recogida de datos en general
- Precio del escáner láser (aprox. 30.000 euros) + dispositivos de hardware adicionales y software Faro Scene (aprox. 5.000 euros)
- La mayoría de las construcciones de tejados representan una limitación para el escaneado láser terrestre
- Difícil manejo con un escáner láser terrestre

Las principales ventajas observadas de la tecnología de fotogrametría aérea son:

- La medición de toda la información importante del exterior de la Facultad, siendo estos el tejado y la fachada del edificio se midieron con detalles espaciales (resolución de la cámara digital 36 megapíxeles) es suficiente para una nube de puntos de alta densidad).
- Velocidad de la recogida de datos (aproximadamente un 90% más rápida que el escaneo láser).
- rentable en modo de vuelo automático del dron con creación automática de imágenes aéreas sólo si la cámara se gira verticalmente hacia el suelo.
- manejo fácil del dron.
- Medición de lugares que pueden ser peligrosos para el operador del escáner.

Las principales desventajas observadas de la tecnología de fotogrametría aérea son:

- Condiciones meteorológicas: velocidad del viento, baja temperatura, cantidad de nubes, sombras y sol deslumbrante.
- Peligro de ataque del dron por parte de los pájaros.
- Poca duración de la batería (aprox. 7 minutos): se necesitaron diez baterías para la de datos a lo largo de 2 horas.
- Procesamiento de datos exigente (número y calidad de las imágenes aéreas, software utilizado, parámetros del ordenador).
- En un determinado tipo de edificio, el principio de la fotogrametría aérea puede sustituir tecnología de escaneo láser terrestre por completo (si sólo se trata de medición de un exterior de algún edificio).
- Precio del dron (aprox. 40.000 euros) + software adicional Agisoft Photoscan Professional (precio aprox. 3500 €)
- Permiso del Ministerio de Defensa. En la República Eslovaca, todas las imágenes aéreas/ fotos que hayan sido creadas desde un vehículo aéreo no tripulado (UAV) y que contienen los metadatos (coordenadas GPS, longitud, latitud, altura, guiñada, cabeceo roll, etc.) requieren el permiso del Ministerio de Defensa. El periodo de espera es de aproximadamente de 3 semanas. Tras la toma de imágenes aéreas, fue necesario enviar las imágenes aéreas de las imágenes aéreas al Ministerio de Defensa y esperar 2 o más semanas para la revisión general de las imágenes aéreas. El periodo de espera total puede ser de aproximadamente 1 mes o más.





Se obtuvieron los resultados del método AHP para averiguar qué método es el más eficaz según los criterios establecidos; se calcularon la matriz de preferencias de criterios y la matriz de clasificación. En el árbol de decisión muestra que el uso exclusivo de la fotogrametría aérea es el mejor método con el peso 0,622.

Preferences matrix	K1	K2	K3
A1	0.087	0.055	0.067
A2	0.149	0.29	0.467
A3	0.764	0.655	0.467

Ranking matrix	K1	K2	K3
A1	0.029	0.018	0.022
A2	0.049	0.096	0.154
A3	0.252	0.216	0.154

Tabla 6. Matrices obtenidas por el método AHP

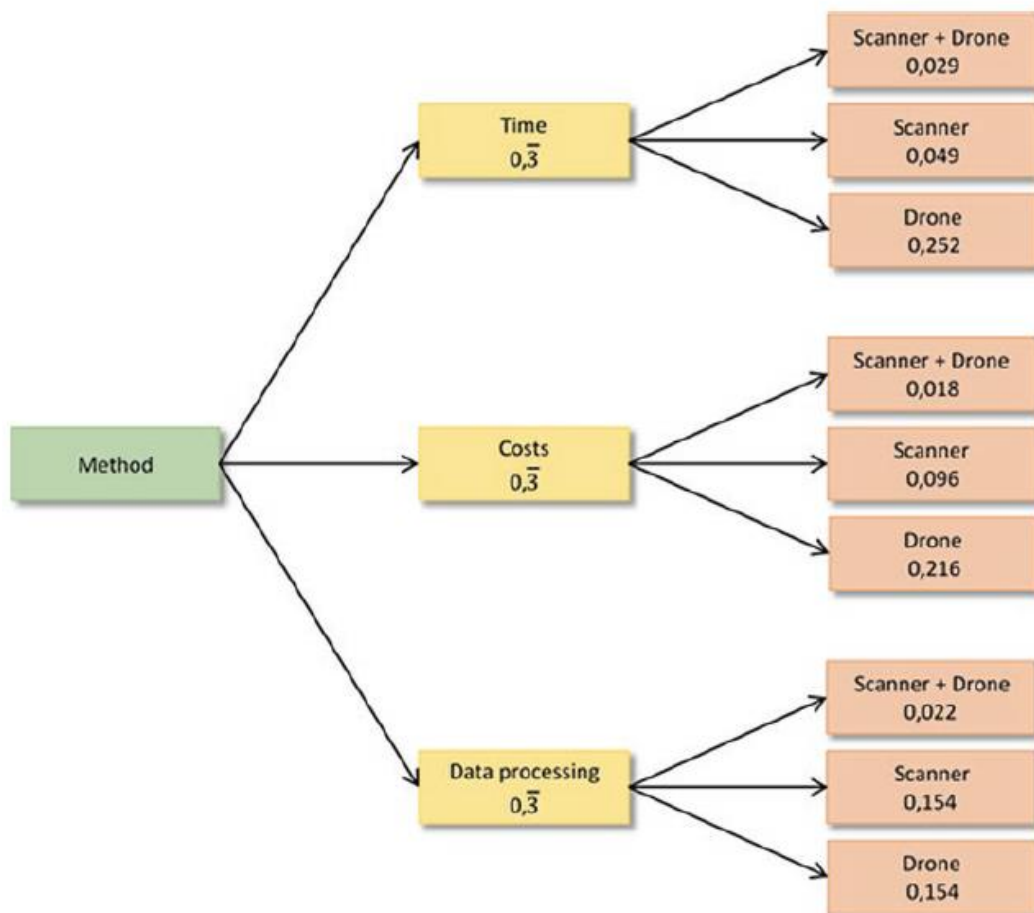


Figura 78. Árbol de decisión



#### 4.2.2.2. BIM

##### 4.2.2.2.1. *Digital Twin del edificio basado en BIM orientado a la eficiencia energética y mantenimiento predictivo del edificio* [62]

Desde Tecnia Research and Innovation presentaron en el 6º congreso de Edificios de energía casi nula un prototipo de modelo de gemelo digital basado en BIM dirigido a la eficiencia energética y el mantenimiento preventivo. Este tipo de modelos se encuentra en auge debido a los problemas que nos encontramos en este momento en lo relacionado en el cambio climático, el aumento de del precio de la electricidad y el problema de las emisiones de CO2.

Un Digital Twin o Gemelo Digital del edificio es un modelo digital completo del edificio (creado bajo metodología BIM), que recoge de forma fiable y en tiempo real cualquier actividad que se produzca en el edificio . El Gemelo Digital nace con el diseño del propio edificio, se desarrolla en forma de sucesivos prototipos durante la construcción y se consolida para la explotación del edificio. El Gemelo Digital del edificio consiste en tratar al edificio de una forma integrada o global (instalaciones térmicas, soluciones arquitectónicas, equipamiento, etc.), así como de sensorica IoT, integrando toda la información con un entorno de inteligencia artificial y Big Data, que permite una gestión más eficiente y optimizada en la fase de operación del edificio.

Una gestión inteligente y automatizada de las instalaciones de un edificio, puede implicar un ahorro de hasta el 40% en el consumo energético del mismo. Si a esto se agrega un mantenimiento predictivo y un enfoque de servicio anticipatorio, puede significar hasta un 20% más de ahorro energético.

El gemelo digital de un edificio es de un modelo virtual, provisto por una cantidad extensa de datos producidos por el mismo inmueble y su entorno a lo largo del ciclo de vida de este. Las condiciones del edificio, el diseño, las especificaciones técnicas y el mantenimiento de este se incorporan en el modelo.

Para la creación de un gemelo digital, el primer paso es la digitalización del propio edificio. La Metodología BIM permite la generación de modelos geométricos y de información que muestran de forma fiable la complejidad arquitectónica y de sistemas de un edificio.

Esta digitalización del edificio requiere disponer de tres características esenciales, debe ser integrada, eficiente y avanzada para poder desarrollar un gemelo que permita hacer frente a los desafíos complejos a los que se enfrentan los operarios y propietarios de los edificios en los campos de la eficiencia energética y el mantenimiento predictivo.

- Integrada

Una gestión integrada de un edificio en cualquiera de sus fases del ciclo de vida, necesita que la información dinámica y multidisciplinar existente en un edificio, se encuentre organizada, en un único modelo de información geométrica y de datos (modelo BIM), donde se integren los diferentes servicios del edificio:



- Sistemas de calefacción y climatización
  - ACS y distribución de Suministro de agua
  - Sistema de Iluminación
  - Consumo energético de las diferentes fuentes de energía disponibles en respuesta a la demanda
  - Control y mantenimiento de ascensores
  - Control de acceso y seguridad
  - Sistemas anti-incendio y evaluación
  - Gestión de Parking
  - Gestión de recarga de vehículo eléctrico

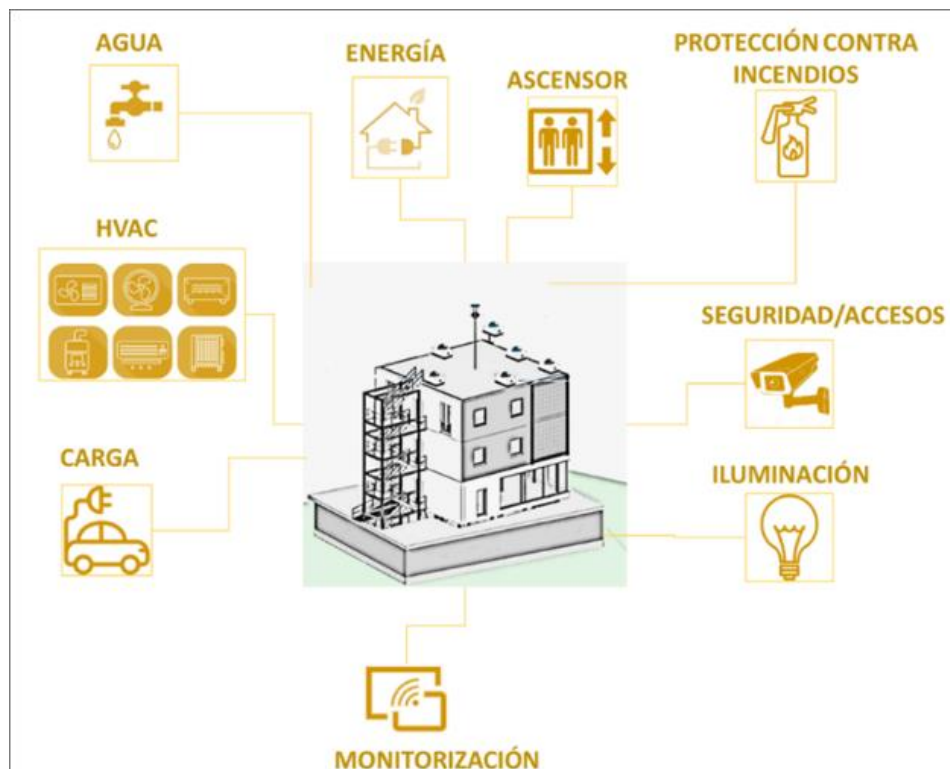


Figura 79. Esquema de gestión integral del Edificio.

- Eficiente

Se debe progresar hacia un sistema en el que los diferentes servicios de un edificio, estén centralizados en un modelo digital, en el cual se pueda observar en tiempo real, la condición de todos los sistemas del edificio al mismo tiempo y permita al gestor la actuación sobre los problemas detectados de forma general, intuitiva y eficiente.

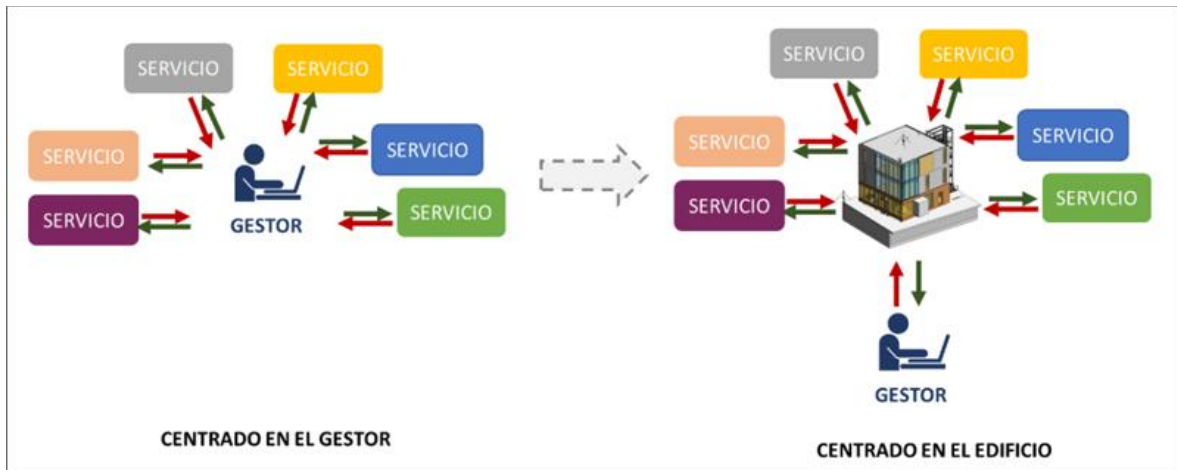


Figura 80. Modelo eficiente de Gestión.

- Avanzada

La disponibilidad de este modelo integral y eficiente permite al gestor del edificio disponer de una herramienta digital para la monitorización y operación del edificio en tiempo real, de manera que este pueda realizar una gestión energética eficaz, una mejora de los procesos que se producen en el edificio y un mantenimiento predictivo de los sistemas existentes en el mismo.



Figura 81. Modelo Avanzado de Gestión de Edificios.

A fin de conferir al edificio de una estrategia que permita lograr esta integración eficiente y avanzada de los sistemas, es necesario contar con una arquitectura flexible que permita tanto la integración de los equipos de sensorización y control del edificio (IoT, PLCs, etc.) como los sistemas de análisis avanzado de la información adquirida por ellos (Big Data, Inteligencia Artificial).

Es sabido que disponer o realizar un mantenimiento preventivo adecuado puede producir un ahorro en coste alrededor del 20%.



El Gemelo Digital colabora a alcanzar un importante ahorro en los gastos de mantenimiento, al facilitar el avance de sistemas de mantenimiento predictivo. Esta reproducción virtual del edificio real, dota en primer lugar a la identificación en tiempo real de los problemas que se dan en el edificio, en segundo lugar realizar un análisis avanzado de los mismos, ya que tienen en su haber toda la información necesaria, en tercer lugar, planear las acciones a efectuar más adecuadas, y finalmente verificar el resultado de las operaciones realizadas.

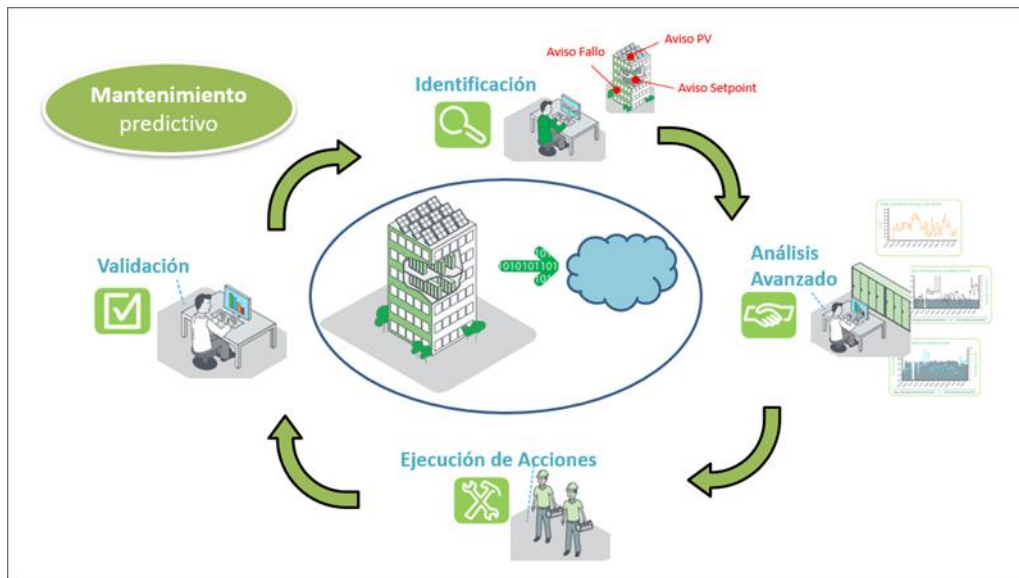


Figura 82.Schneider. Building Analytics. aFDD.

La información que se concentra en el Gemelo Digital del edificio ligada y estructurada a una arquitectura de Big Data e Inteligencia Artificial, facilita la aplicación de algoritmos de mantenimiento predictivo y eficiencia energética.

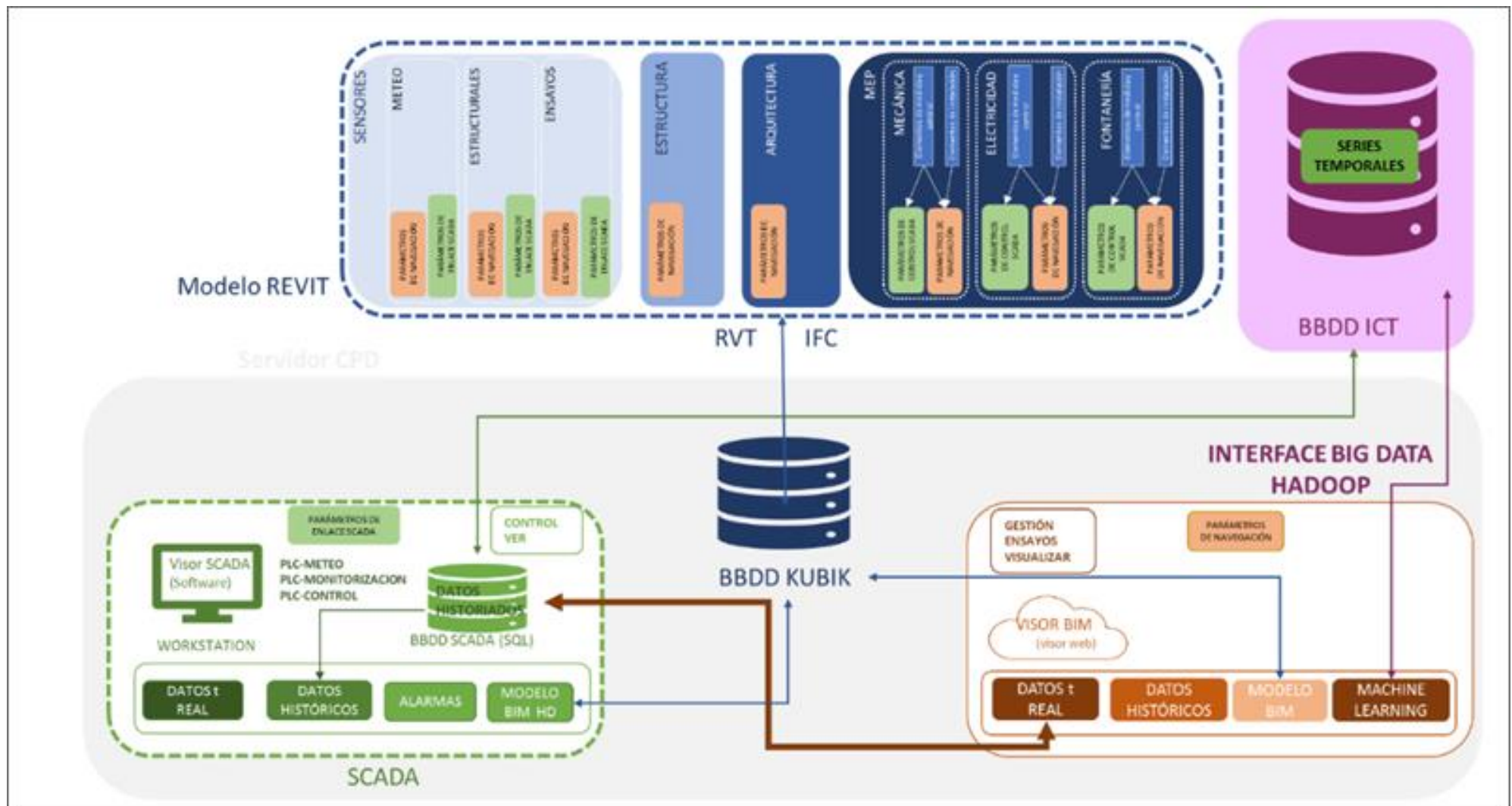


Figura 83. Arquitectura Tecnológica de Digital Twin de Edificio.

Para aplicar este modelo, TecNALIA dispone de un edificio real, en el cual ha además implantado la arquitectura de gemelo digital, llamado KUBIK.

KUBIK se creó como infraestructura experimental para desarrollar nuevos conceptos, productos y servicios orientados a promover y mejorar la eficiencia energética, la seguridad, la calidad de vida de la gente y de sistemas de interactividad en los edificios.

Dentro de la transformación digital que está sucediendo el sector de la construcción, y con el propósito de mejorar las tasas de la eficiencia energética y progresar en el ámbito de manteniendo predictivo, se crea KUBIK 4.0, el primer inmueble que cuenta con un concepto de modelo digital de edificio.

KUBIK 4.0 dispone de una reproducción digital exacta, tanto de la parte física estructural y de los sistemas implantados en el mismo, como de las acciones que se generan en tiempo real en el mismo. Asimismo, existe un nexo total entre el modelo BIM del edificio y el sistema de control del mismo.

Esta versión además de disponer de las funciones para las que fue diseñado inicialmente, brinda un centro de pruebas donde poder llevar a cabo técnicas de ciberseguridad. Simulación de comportamiento energético, gestión autónoma del edificio, mantenimiento predictivo, blockchain, IoT, IA y Big Data. Además de lo anterior, este nuevo modelo, incorpora una arquitectura de almacenamiento de la información generada basada en Big Data, que facilita el desarrollo de algoritmos, que potencian el ámbito de mantenimiento predictivo y de la mejora de la eficiencia energética.



*Figura 84. Edificio Kubik*

KUBIK 4.0, es una infraestructura compleja, hipersensorizada con dispositivos de distintas tecnologías y protocolos de comunicación, con diferentes sistemas de generación de energía, para el acondicionamiento térmico interior, de acuerdo con configuraciones de escenarios, con una envolvente y estructura totalmente modular. Dispone de la siguiente infraestructura plasmada en el Digital Twin:

- 500 sensores y actuadores; que permiten un control total de cada uno de los elementos de la instalación.
- Simulación de escenarios de entornos tanto terciario como residencial.



- Diferentes sistemas térmicos tanto tradicionales como singulares y experimentales, como, por ejemplo:
  - Bomba de Calor acoplada a batería de almacenamiento térmica de PCM
  - Instalación solar térmica
  - Equipos de absorción
- Nodo IoT de interconexión de datos, donde conviven las diferentes tecnologías del mercado en monitorización y control de instalaciones. (Modbus, Z-wave, EnOcean, LORA, etc.)
- Sistema de monitorización y control de la instalación; que permite llevar en paralelo hasta 10 experimentos estructurales o digitales del edificio.
- Entorno de Virtualización de la Instalación. El modelo BIM-MEP desarrollado de las instalaciones está conectado en tiempo real con la infraestructura de sensorización y control del edificio, lo que permite disponer de un completo sistema de monitorización de la instalación.
- Entorno Hadoop de serialización de datos de comportamiento de la instalación.
- Entorno Spark de simulación y ejecución de algoritmos de toma de decisión y control de la instalación.

Gracias a la infraestructura experimental de Kubik, se ha permitido dar un salto tanto cualitativo como cuantitativo en la gestión y explotación de edificios, permitiendo alcanzar mayores índices de eficiencia tanto en la parte de la eficiencia energética como en el mantenimiento predictivo del edificio. Con la implementación de un Digital Twin, el operador se beneficia de una alta fiabilidad y calidad de la información, para una gestión operativa continua y de mayor confiabilidad.

#### **4.2.2.2. *Advanced Intervention Protocol in the Energy Rehabilitation of Heritage Buildings: A Miñones Barracks Case Study*[63]**

Desde el departamento de arquitectura de la upv/ehu presentan un protocolo que permite la compatibilidad entre la rehabilitación energética y la preservación del valor original del edificio en estudio.

Siendo este edificio histórico, Cuartel Miñones de Ortuella (Vizcaya), en el cual se están realizando acciones de rehabilitación. El trabajo se realizó dentro de la iniciativa estratégica "nZEB, Rehabilitación Inteligente de Edificios Bajo Criterios de Consumo de energía casi Nulo", (ZEB, Rehabilitación de Edificios Inteligentes bajo Criterios de Consumo de Energía Casi Cero). Estas soluciones de mejora energética se basan en ensayos no destructivos como la termografía infrarroja, apoyados en la captura masiva de geometrías mediante escaneo láser 3D ,y fotogrametría automatizada asistida por UAV- (Vehículo Aéreo No Tripulado) con la ayuda de una fabricación avanzada mediante sistemas inteligentes e industrializados, cuyo rendimiento será monitorizado a través de instrumentos de medida, vinculados permanentemente a modelos digitales BIM, que permitirán el mantenimiento preventivo y generativo en entornos virtuales o aumentados.

Sabiendo que en la actualidad, los edificios que más problemas energéticos tienen suelen ser edificios históricos o edificios con un grado de antigüedad considerable, se





debe de plantear un protocolo de intervención específico para cada caso. El estudio de la upv/ ehu propone:

#### 1. Recopilar documentación histórica

- Recopilación de datos del estado actual
- Análisis de la normativa existente sobre eficiencia energética
- Análisis de la normativa de protección de edificios (caso de estudio). Establecer el grado de intervención (0-IV)
- Inspección de edificios
- Pruebas no destructivas, extracción de datos de la línea de base.
- Captura de la geometría texturizada del edificio (escaneo láser 3D y fotogrametría automatizada asistida por UAV)
- Monitoreo del escenario de línea de base

#### 2. Creación del modelo BIM

#### 3. Estudio de soluciones activas y pasivas para la rehabilitación energética

#### 4. Simulación de soluciones con el Modelo BIM

#### 5. Estudio de diferentes soluciones ETICS. Evaluación y estudio de puentes térmicos.

#### 6. Estudio de diferentes soluciones de fabricación avanzadas para aislar fachadas ornamentadas en el exterior. Prototipos

#### 7. Ejecutar rehabilitación

#### 8. Evaluación de la rehabilitación realizada. Monitorización vinculada al modelo BIM

#### 9. Gestión y mantenimiento sostenible del edificio desde el modelo BIM

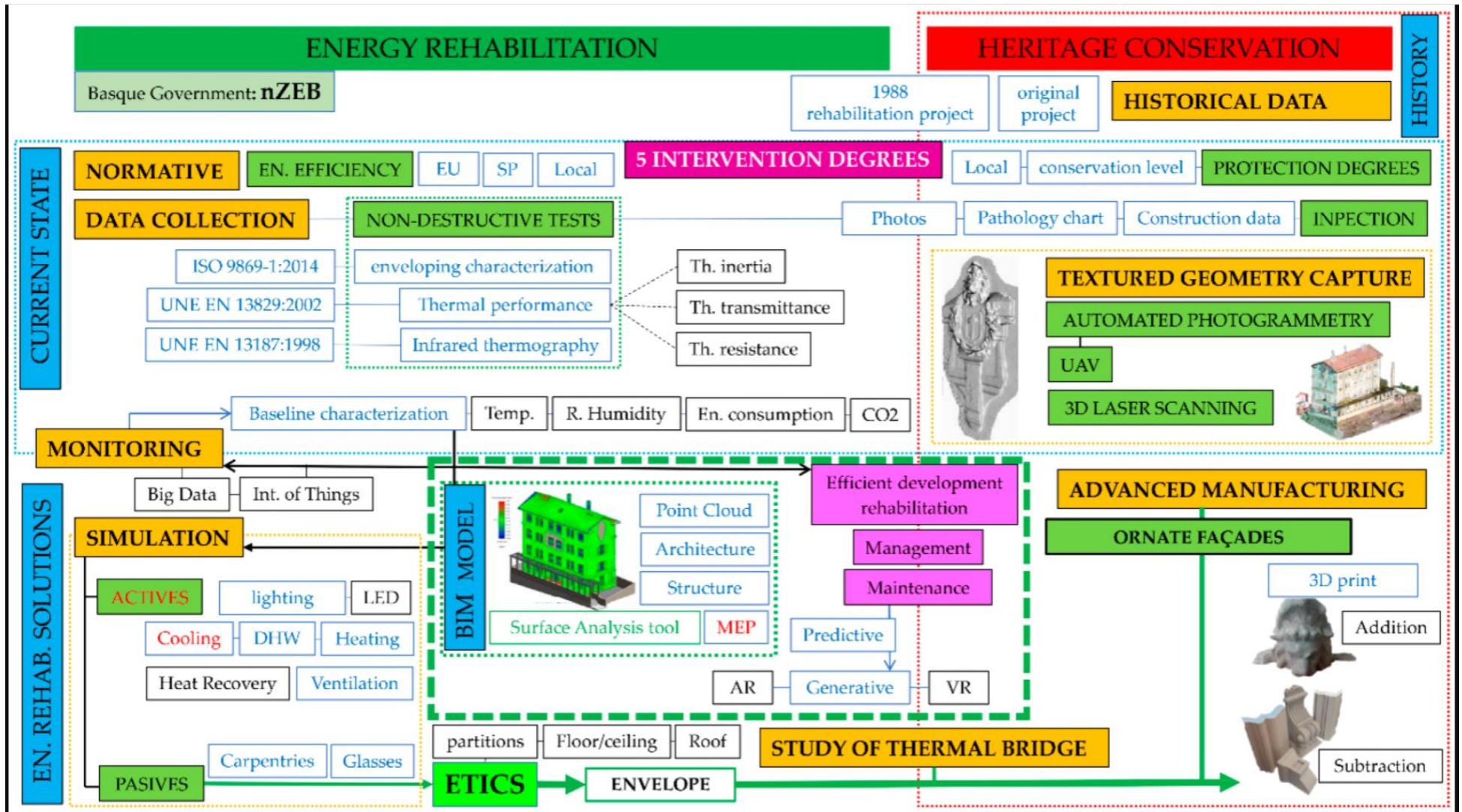
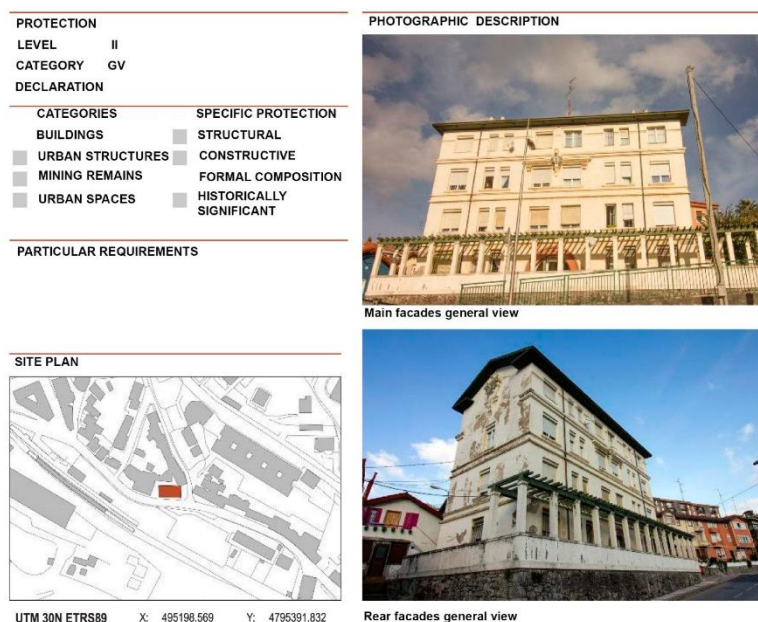


Figura 85 Protocolo



**Figura 86** Ficha del catálogo de Protección del caso de estudio (Fuente: Ayuntamiento de Ortuella).

Por el tipo de trabajo que se desarrolla, nos vamos a centrar más en cómo se realiza el estudio y no en las medidas de mejora.

- Análisis e identificación de deficiencias del estado inicial

Como primeros estudios de campo se realizaron la toma de datos manuales y visuales establecido, por normativa, una trasmittancia de fachada de fachadas opacas:  $UM = 0,29 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ . Para la envolvente se realizó el ensayo de resistencia térmica en un punto a media altura, siguiendo la norma ISO 9869-1: 2014 "Aislamiento térmico – Elementos constructivos – Medición in situ de resistencia térmica y trasmittancia térmica; con un sensor Pt100 de 4 hilos, con 2 unidades para obtener la temperatura de superficie y la del aire, y se utilizó un caudalímetro flexible (180 × 100 × 0,6 mm con sustrato de teflón PTFE) para medir el flujo de calor. Después de un estudio de 17 días la  $R_t$  del punto 1,42  $\text{m}^2\cdot\text{K / W}$ .

También se estudiaron la carpintería y otras zonas que pueden ser de utilidad. Las ventanas son de madera doble acristalamiento de 4 mm y cámara de aire de 6 mm. La permeabilidad se midió mediante UNE EN 13829: 2002 "Comportamiento térmico de edificios. Determinación de la permeabilidad al aire de los edificios — Método de presurización del ventilador. Pruebas apuntan a muy bajas infiltraciones para un edificio de este tipo: 2,3 renovaciones por hora a 50 Pa. Se concluyó que las ventanas de madera se encuentran en buenas condiciones, y que no existen filtraciones por falsos techos o instalaciones.

Cantidad	Variable medida	Equipo / Sensor	Unidad	Precisión
2	Temperatura de la superficie	Pt100, 4 hilos, clase 1/3 DIN, Marca: TC Referencia: F217-5 / SPEC-4W	(° C)	± 0,2 ° C
1	Temperatura del aire	Pt100, 4 hilos, clase 1/3 DIN, Marca: TC Referencia: F217-5 / SPEC-4W	(° C)	± 0,2 ° C
1	Flujo de calor	Caudalímetro flexible, 180 × 100 × 0,6 mm en sustrato de teflón PTFE. Hacer: Ahlborn. Referencia 150-1-117105	(W / m <sup>2</sup> )	± 5% del valor medido

Tabla 7. Especificaciones del equipo utilizado.

Por último, se realizó el estudio de la envolvente térmica mediante ensayo termográfico EN 13187: 1998, "Comportamiento térmico de edificaciones. Detección cualitativa de irregularidades térmicas en envolventes de edificios. Método de infrarrojos". Las imágenes térmicas se han procesado mediante el software FLIR Tools +, ajustando las imágenes en función de las verificaciones in situ. Se utilizó una cámara FLIR E60bx con resolución de 320 × 240. Tanto la cámara como el software fueron fabricados por 2020 FLIR® Systems, Inc



(a)



(b)

Figura 87. (a) Instalación del ventilador para probar la permeabilidad de las ventanas; (b) Termografía de la fachada principal. (Fuente: LCCE)

La imágenes termografía muestra un fachada con temperatura normal, similar a cualquier vivienda. No se notaron diferencias significativas entre los pisos de la construcción original y el piso superior, que fue construido en una fecha posterior. Aun

así, las fachadas de la planta baja tienen temperaturas más altas y había áreas localizadas más calientes, como los contornos de los huecos, los frentes de losas de forja y en los aleros. Los puentes térmicos se pueden identificar a partir del análisis de las fotografías termográficas, así como aquellos puntos de la envolvente donde se produce una mayor pérdida de calor. Estos puntos son los cristales —especialmente los que tienen una sola hoja de vidrio—, los cajones ciegos, dado que no tienen aislamiento incorporado en el interior, y los aleros, que son una prolongación de la cubierta del ático, que no tiene aislamiento.

- Vigilancia

En primer lugar, caracterizar el rendimiento energético de las viviendas y así poder analizar las mejoras en la demanda y consumo de energía mediante simulaciones dinámicas, tomando como referencia su estado actual y aplicando las posibles intervenciones de rehabilitación. En segundo lugar, conocer la mejora de las condiciones ambientales en el interior de las viviendas y evaluar las ventajas de este tipo de rehabilitaciones, más allá de los costes y la energía. El tercero realizar el cálculo del ahorro energético de la vivienda para que sean comparados con casos similares. El cuarto se centró en controlar la calidad del trabajo de rehabilitación, en términos de aspectos energéticos.

Se instaló un controlador de datos permitió la captura y archivo local de datos, así como su transmisión a un servidor de gestión de datos para su posterior visualización en una plataforma web. La captura de datos se realiza mediante el protocolo de Radiofrecuencia MBUS. Los datos capturados fueron enviados desde el registrador de datos al servidor externo por GPRS. Este monitoreo, mediante 2 sensores en cada vivienda, permite medir las condiciones de temperatura y humedad relativa y el segundo detectó la concentración de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 1.** Características de los sensores de temperatura y humedad.

Mediciones	Distancia	Precisión
Temperatura	-40 ° C – + 85 ° C	± 1 ° C
Humedad	0-100%	± 3,5%
Luminosidad	0 lux – 210 lux	
Max. Frecuencia de pulso	10 Hz	
Tiempo de transmisión	5 minutos	
Vida útil de la batería (3600 mAh a 3,6 V)		
Envío de valores ambientales (5 min)	3 años (aprox.)	
Contando pulsos (1 pulso / 10 s)	2 años (aprox.) (40 µA paso de corriente)	

**Tabla 2.** Características de los sensores de CO<sub>2</sub><sup>1</sup>.

Mediciones	Distancia	Precisión
Rango de medición	0 ppm – 10,000 ppm	± 30 ppm (precisión) ± 20 ppm (repetitividad)
Frecuencia de medida	2 s	
Tiempo de respuesta	20 s	
Tiempo de calentamiento	<1 min	

<sup>1</sup> No incluye batería. Fuente de alimentación externa. La alimentación eléctrica de los equipos sin batería se puede obtener de las cajas de conexiones disponibles en las viviendas.

**Tabla 8.** Características de los sensores utilizados.

Por otro lado, también se midió el consumo volumétrico de ACS (m<sup>3</sup>) mediante un contador de salida y también se realizó una medición del consumo eléctrico general de ACS y calefacción mediante datalogger instalado en el espacio reservado para la centralización de los contadores eléctricos. Para medir el consumo eléctrico del calentador y los radiadores eléctricos, se colocaron dispositivos de medición inalámbricos en los enchufes que los alimentan y se comunican con el controlador central a través de una pasarela mediante protocolo Zigbee.

Estos datos se pueden consultar vía web y serán usas en el modelo BIM, ya que han sido preparados para que los datos de seguimiento se integraran en tiempo real a través del enlace con URL.

- Elevación digital en 3D

Para obtener los resultados de elevación, el trabajo se divido en 2 fases. Fase 1: captura de datos y fase 2: procesamiento de datos.

Para la fase 1 se utilizó captura por escaneo láser 3D y captura por fotogrametría automatizada asistida por UAV. Es necesario una buena planificación tanto del escáner como del UAV para poder combinar posteriormente estos datos.

Como paso inicial, la captura con escáner láser 3D requiere definir las posiciones de la ubicación del dispositivo en cada punto de escaneo. Se realiza un escaneo exterior e interior para disponer de más precisión (menos de un centímetro cuadrado de superficie). Se utiliza un escáner FARO Focus 3DX330.

El escaneo se alternaba en el exterior de la casa cada 15-20 m, por lo que la superposición de la nube de puntos final excedía la resolución indicada. Se utilizó una resolución de 1/4 (44,4 millones de puntos por escaneo, 6 mm de distancia entre puntos, a 10 m) y una calidad de captura de 2 x (bajo nivel de ruido y superficies de reflectancia media a alta). Se utilizó la captura de fotogramas en el exterior para aplicar color a la nube de puntos resultante. Se usa una configuración de cámara era estándar, sin HDR, ya que se busca la precisión en la geometría. En el interior del edificio, al ser un espacio más reducido, se utilizó una resolución de 1/5 (28,4 millones de puntos por escaneado, 9 mm de distancia entre puntos, a 10 m), con la misma calidad de captura 2 x.



Figura 88. Escáner FARO Focus 3D x 330 sobre trípode (Fuente: Urquizo Ingenieros e NorthBIM)

Las capturas del techo y los laterales ornamentales se realizaron mediante UAV. Para los ornamentos, al ser elementos que necesitan una gran precisión, requirió una mejor definición de 5 mm entre puntos en todos los lados y orientaciones, suficiente para generar una cuadrícula exportable a formatos que puedan integrarse en sistemas de fabricación aditiva. El dron usado fue Phantom 4 Pro, con cámara de 20 megapíxeles y una pulgada y el plan de vuelo automático se realizó mediante la aplicación disponible que trae el dron (DJI Ground Station Pro). Para realizar el modelo de elevación (DEM) se cubre un área de 2,28 Ha. Para ello se toman 89 imágenes, a 70 m de altura y con una resolución sobre el terreno (GSD) de 2,69 cm / pixel. Se usan 10 puntos de control

terrestres distribuidas sobre todo el área de estudio. Estos puntos son necesarios para la referenciación topográfica en coordenadas UTM tanto para el procesamiento de datos obtenidos con el UAV, como para los datos capturados con escáner láser 3D. Se empleó un sistema GNSS con RTK para observar los puntos localizados en el terreno alrededor del edificio. De este modo, ambas cartografías pudieron superponerse y unificarse en una única y densa nube de puntos.

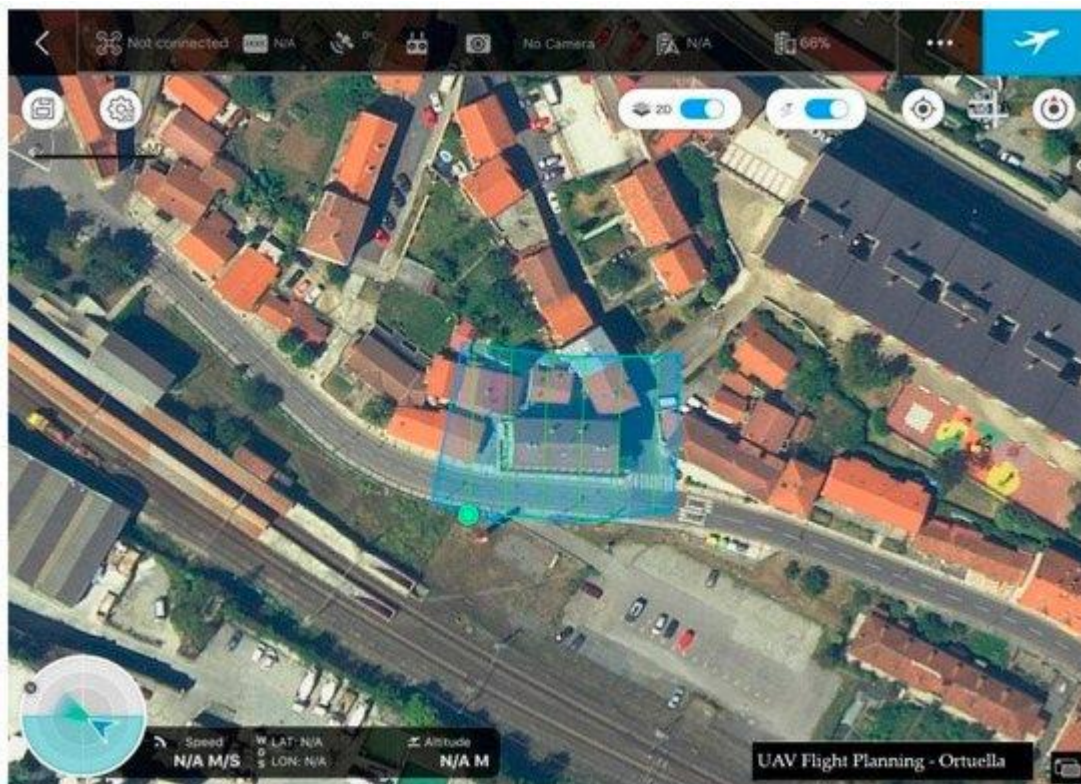


Figura 89 . Planificación del vuelo de vehículos aéreos no tripulados (UAV).(Fuente: Urquiza e NorthBIM).

En la fase 2 se realiza el procesado de datos. Este procesado se hace por separado para cada uno de los proyectos de adquisición de imágenes y luego se realiza la combinación en un solo modelo. Por ello, ambos modelos, deben estar perfectamente georreferenciado. Para el procesamiento del escáner 3D y obtener una nube de puntos primero, se filtran todos los escaneos para optimizar la nube de puntos. Luego, se combinaron con precisión los diferentes imágenes y se consolidaron con en un solo bloque, en coordenadas relativas. El tercer paso fue la aplicación y ajuste del color de la nube, unificando las diferencias entre escaneos. Finalmente, tomando como referencia los puntos localizados en el terreno (GCP) con tecnología topográfica, se transformó el sistema de coordenadas para encajar el modelo de escaneo 3D en el sistema topográfico global UTM.

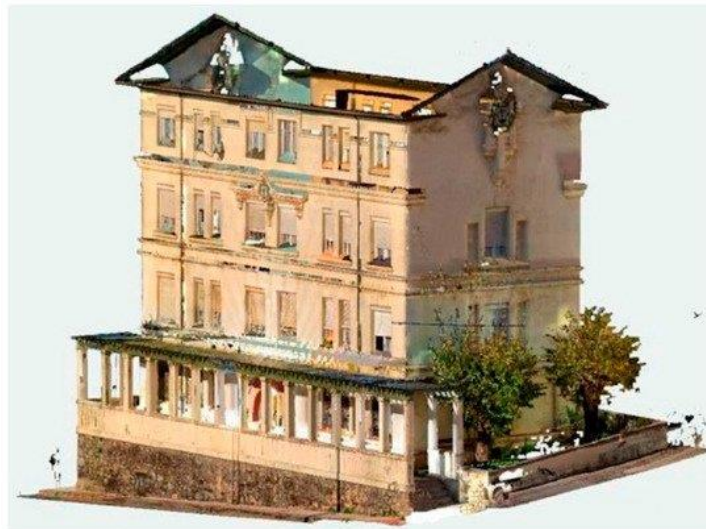


Figura 90. Modelo 3D producido por el escaneo láser (Fuente: Urquiza & NorthBIM).

Para el procesamiento de los datos adquiridos por el UAV se utiliza el software Agisoft PhotoScan. En este caso, también se tienen que seguir unos pasos. Primero, las fotografías tomadas por el UAV se agregaron al proyecto y se clasificaron. A continuación, se realizó un primer filtrado de la nube para eliminar los puntos discordantes y generar la nube de puntos densa. Posteriormente, se clasificó la nube de puntos para obtener el Modelo Digital del Terreno (MDT) y poder normalizar la nube. Una vez construido el DTM Grid, se probó y se ajustó. El siguiente paso fue suavizar el MDT, lo que ayuda a homogeneizar la superficie y da al modelo un aspecto más suave y sin bordes afilados. A continuación, se construyó la malla del MDT mediante el mismo proceso de filtrado y suavizado. Por último, se texturizó la malla para dar un aspecto más real al visualizarla. A partir de este producto 3D, se puede construir la ortografía métrica y exportarla a escala.

Los productos 3D, tanto del escáner láser como del UAV, obtenidos por separado, han utilizado como referencia los mismos puntos georreferenciados para dar coherencia al modelo final. Por ello, y como verificación final, al combinar ambos se verificó la precisión y calidad de los resultados, ya que ambos combinaron.



Figura 91 Modelo 3D final, combinando ambas nubes (Fuente: Urquiza & NorthBIM).





- Modelado de información de construcción — BIM

Con el modelo generado anteriormente y los planos existentes se genera el Modelo de Información de Edificación (BIM). Este modelo optimiza el proceso de rehabilitación energética, permitiendo una gestión y mantenimiento eficiente y sostenible del edificio. Se han identificado 7 dimensiones BI, las dimensiones 6D (sostenibilidad de los activos) y las dimensiones 7D (operación y mantenimiento durante todo el ciclo de vida) son específicamente responsables de los aspectos más relevantes que afectan las reformas energéticas.

Autodesk Revit, el software usado en este caso, permite la interoperabilidad de los agentes que intervienen en el proceso, mediante el intercambio de información con archivos de formato abierto (IFC) en un entorno de datos común. Los flujos de información deben estar definidos en un Plan de Ejecución BIM (BEP), que responde a lo establecido por las diferentes partes que intervienen en el proceso, mediante un convenio específico (EIR).

Para obtener un edificio nZEB, es fundamental controlar las prestaciones y mejorarlas siempre que sea posible. El modelo necesitaba estar preparado para incorporar datos de seguimiento. La empresa de modelado debe tener un flujo de colaboración bidireccional con la empresa de monitorización, para que el modelo virtual esté preparado para ser alimentado con los datos que se están registrando. Esto requirió una serie de plantillas y familias específicas para esta tarea, y una plataforma específica que pueda facilitar la interoperabilidad del modelo entre los agentes involucrados en el control del ciclo de vida del edificio.

Si el control se diseña, implementa y utiliza correctamente con la metodología BIM, el edificio se puede automatizar por completo y el edificio puede ser más eficiente que con el control humano. Para ello, se realizó un seguimiento energético del edificio. El edificio virtual desarrollado se configuró para que los datos obtenidos en el seguimiento se recojan en este modelo, mejorando el control de la eficiencia del sistema. Los indicadores de uso, tiempo y costos para la operación y mantenimiento del activo fueron calculados, monitoreados y reportados a través de datos asociados al modelo. El modelo también ayudó a realizar simulaciones del rendimiento energético del edificio. El software de modelado utilizado permite integrar plataformas de cálculo de energía. Esta combinación de herramientas ha sido clave para establecer los criterios de intervención para actuar sobre la envolvente del edificio.

- Simulación de energía

La simulación energética del edificio se llevó a cabo analizando el modelo BIM con el software DesignBuilder, utilizando el complemento Autodesk Revit. Además se disponen de datos obtenidos mediante sensorica.

La simulación energética del edificio se realizó con las diferentes medidas a implementar. Para ello se puede utilizar el motor de cálculo EnergyPlus, que permite una introducción detallada de geometría, soluciones constructivas, perfiles de uso y equipos activos.

## Resultados

Como se ha mencionado, no vamos a centrar en los resultados del estudio que se ajustan al propósito de este trabajo y no en las medidas de la mejora de la eficiencia energética,

- Vigilancia

Con el fin de monitorear y analizar los datos recolectados de las diferentes variables, se dio acceso a una plataforma de gestión donde se recopilan las diferentes variables en periodos de 15 min. Se puede acceder a los datos de seguimiento en tiempo real desde un navegador web

**Figura 12.** ( a ) Seguimiento y obtención de datos relativos al consumo de electricidad; ( b ) Seguimiento y obtención de datos relativos al CO<sub>2</sub> atmosférico . (Los datos de las 2 imágenes no son relevantes, sirven para ver las opciones gráficas para visualizar los datos monitoreados). (Fuente: Ekitermik).

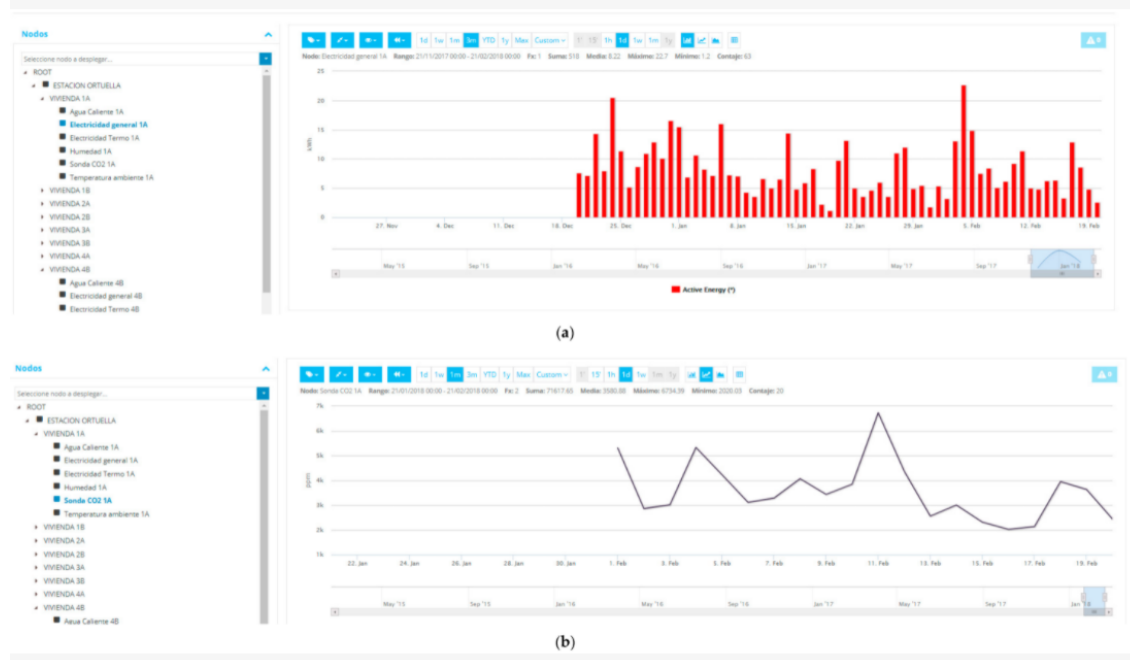


Figura 92

## Medidas de Rehabilitación Energética Adoptadas

- Datos y detalles del modelado BIM

Las nubes de puntos de la captura 3D se importan directamente a Autodesk Revit, en formato ReCap (RCP o RCS), o desde escaneos sin formato (por ejemplo, E57, FLS, LAS, etc.). En la mezcla de nubes, es importante respetar la orientación relativa y su posterior georreferenciación. Con este fin, se utilizó el complemento PointSense para Revit. En la modelación del proyecto básico (estado inicial del edificio), las familias fueron identificadas a partir de la información recolectada en el sitio, y la información se obtuvo a través del estudio del proyecto de reforma que atravesó el edificio en 1988. Estas familias han sido recolectadas para el modelo de Estructura, por un lado, y el modelo de

Arquitectura, por otro. En este último modelo se identificaron las siguientes familias: tabiques (varios tipos: tabiques interiores, separación entre viviendas, etc.), puertas, cerramientos (fachada, fachada a patio interior), carpintería exterior, techo y escaleras. Se desarrolló un flujo para optimizar el trabajo de modelización mediante modelos integrados, de la siguiente manera: un modelo general o central, que incluye las masas por vivienda, y un enlace URL a los datos externos. A este modelo general se agregaron los siguientes modelos: Un modelo con la Nube de Puntos asociada en formato .rcp, el modelo de la disciplina Estructura y el modelo de la disciplina Arquitectura como, por ejemplo, los datos de monitorización



*Figura 93. Cuatro modelos De autodesk Revit*

Después de modelar el edificio, se utilizó la nube de puntos para medir la precisión del modelo en comparación con la realidad incluida en estas nubes. La herramienta de análisis de superficies Pointsense para Revit, creada para las soluciones de escáner FARO, permite generar un mapa de inspección en 3D y analizar estas diferencias. El análisis se ha realizado en 2 etapas: un primer análisis en el paso intermedio de la primera fase de modelado, cuando todavía hay que generar los adornos o molduras, y un segundo análisis cuando el modelo está terminado. A partir de la superposición de la nube de puntos sobre el modelo definitivo, ha sido posible analizar las superficies modeladas mediante objetos con superficies genéricas (porciones de planos, cilindros, toros, conos o esferas, etc.). Además, ha permitido corregir desviaciones en una primera iteración del modelo, concretamente en la cubierta: tras corregir sus pendientes, el análisis muestra resultados óptimos (cubierta en verde). Además, gracias a esta herramienta, se detectaron algunas diferencias en los contornos del tejado (en azul) entre la nube de puntos y el modelo. Sin embargo, la conclusión fue que, en este caso, se debe a la incertidumbre de captura de los contornos más alejados, por lo que el modelo no se adaptó.

Este trabajo muestra cómo combinar trabajo terrestre y aéreo puede aportar beneficios a la rehabilitación de edificios. En este caso, se ha realizado en un edificio histórico, en el cual, por el simple hecho de estar protegido, muchas medidas no pueden ser llevadas a cabo. Aun así, se puede aplicar este método a otros edificios. De todas maneras, la toma de imágenes con escáner laser terrestre es más lento que la toma de imágenes con LIDAR o laser escáner mediante UAV, es verdad que este tipo de cámaras aéreas son costosas a día de hoy y para proyectos pequeños puede que no merezca la pena. Aunque no he mencionado, en el artículo completo se desarrollan soluciones tanto activas como pasivas para mejorar la eficiencia energética del edificio que se respaldan mediante resultados cuantitativos.

La novedad de este protocolo radica en combinar todas estas tecnologías y técnicas avanzadas en una secuencia procedimental común, que, además de poder obtener resultados teóricos óptimos, ayudará a desarrollar una reforma energética real, teniendo

en cuenta factores tan importantes en la construcción. Como normativa urbanística, condiciones de confort de los habitantes y coste real de la intervención.

### 4.2.3. Terreno

#### 4.2.3.1. Pix4d mapper: Mapas georeferenciados desde imágenes [64]

El software es un procesamiento de imágenes. A través de las imágenes tomadas por aire o tierra Pix4DMapper genera ortomosaicos, DSM y nubes de puntos.

Para poder generar los resultados es necesario seguir un flujo de trabajo concreto.

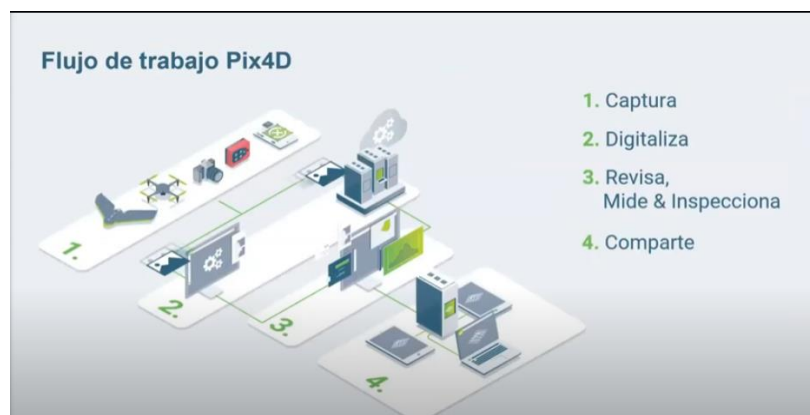


Figura 94. Flujo de trabajo

#### – Capturar

Con la aplicación Pix4D capture se realizan las tomas de imágenes o videos. También se pueden usar imágenes tomadas con otros programas, pero por tema de compatibilidades es mejor usar capture.

Para que se puedan tomar las imágenes debemos definir la altura de vuelo. Aparte de eso, se debe conocer bien el hardware (drone) que se va a usar, especialmente la cámara. Con los datos de la cámara y la altura de vuelo se calcula los parámetros del GSD (resolución del pixel que se va a obtener en el terreno). Y mediante todos los datos anteriores, podemos hacer vuelos de manera automática a partir del planteamiento de la misión de vuelo.



- RGB
- Thermal
- Multispectral
- With any camera or drone
- Pix4Dcapture for automated flights

Figura 95. Cámaras para captura de imágenes



- Planea y controle vuelos de drones para mapeo profesional y captura de datos
- iOS & Android
- Drones DJI, Parrot, y Yuneec

Figura 96. Tipos de misiones

– ¿Qué recibe el software en su entrada?

Para poder usar el programa, se debe disponer de unas imágenes o video que pueden ser adquiridas con casi cualquier cámara.

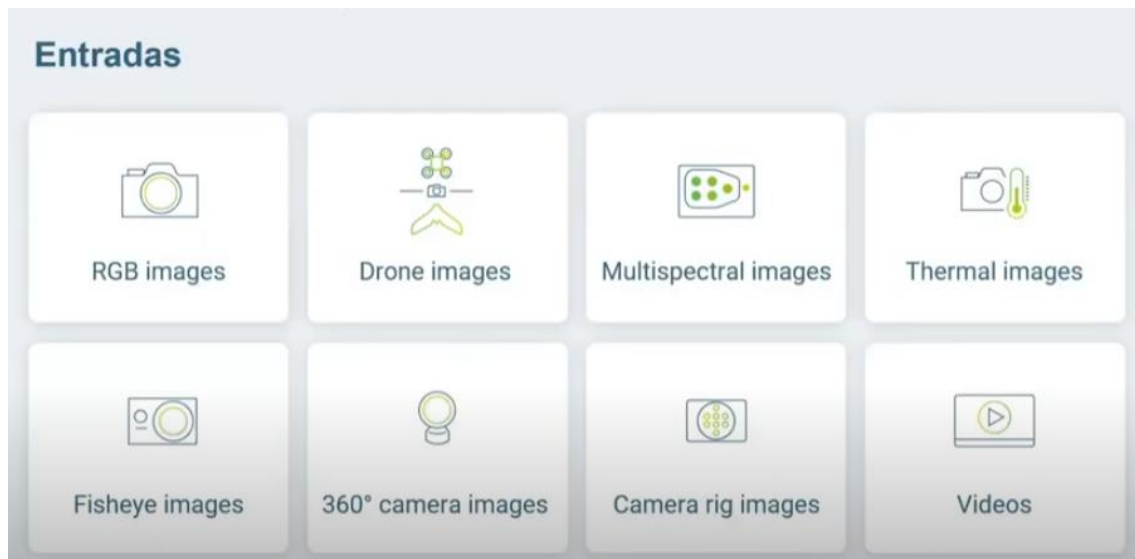


Figura 97. Entradas

#### – Digitalizar

Para poder digitalizar esas imágenes en dato de salida digitales precisas, estas tienen que cumplir unos requisitos. La más importante es la precisión. El termino preciso se refiere a pegar fotos cuyo algoritmo matemático interno tiene una correlación matemática que permite ser medible, que tiene una estadística, que tiene unos procesamientos y adicionalmente es asociado a unos sistema de coordenadas mediante puntos de control, sistemas de referencia y en tener salidas precisas fotogramétrica.

¿Cómo hace Pix4D para convertir las imágenes?



Figura 98. Digitalización

- ¿Cómo hace Pix4D para procesar/convertir las imágenes?

El programa Pix4D se basa en los 3 principios principales de la fotogrametría, en concreto, las 3 orientaciones conocidas. Estas 3 orientaciones son la interna, la relativa y la absoluta (teoría orientaciones en 1.5.3.6. Proceso fotogramétrico).

Paso 1: Calibración.



Figura 99. Ejemplo paso 1. Digitalización

Interna: en tiempos modernos, es el proceso mediante el cual se hace la reconstrucción de la línea de vuelo, anteriormente se hacía con estereoscopia de espejo y se trabajan la reconstrucción con equipos mecanismos. Hoy en día, casi está en desuso por la irrupción de tecnología GPS instalada en los drones. En la actualidad, cada imagen obtenida tiene un centro focal o centro de la cámara que está geotiquetado, de ahí la importancia de poder usar sistemas PPK, sistema RTK y de esta manera eliminar o reducir el uso de puntos de control y ser más óptimos en el trabajo de campo. En este caso, la orientación interna la trae el software y cada una de las fotografías viene con su metadata (formato exif) que contiene la información del sistema inercial (INU), los tres componentes phi, kappa, omega, la toma de la cámara fotográfica y adicionalmente las coordenadas del centro de cada una de las fotografías. Por lo tanto, la orientación interior ya no se usa.

Relativa: involucra los procesos de correlación de píxeles, la triangulación, pero sin puntos de control. Este es un proceso puramente matemático donde exige una gran cantidad de control de puntos densificados de forma automática y permite generar un modelo 3D y una ortofoto pero no está asociada a un sistema absoluto de coordenadas y puede tener imprecisiones de 3 a 5 m que sería el error intrínseco que puede tener un GPS en un dron.

En este caso lo llevamos a una correlación u orientación absoluta.



Absoluta: en la medida que se involucran puntos de control medidos en campo mediante técnicas topográficas (tecnología GNSS mediante pos procesamiento, mediante entrip, mediante estaciones totales...) que permiten llevar coordenadas de precisión al campo, y así, tener puntos identificables o puntos previamente marcado tanto en la fotografía como en el terreno, de tal manera que se le asocien unas coordenadas precisas. De la precisión de las coordenadas depende la precisión de los modelos, y de qué manera se ayuda al software para que sea más ágil en tiempo de procesamiento.



Figura 100.introducción puntos de control

Pix4d permite, en cada paso, generar un reporte de calidad que ayuda a estudiar la estadística, precisiones... durante todos los procesos que se están haciendo en la parte fotogramétrica.



Figura 101.reporte de calidad



## Paso 2: Densificación.

La orientación relativa involucra los pasos de la generación de la malla o de la nube de puntos, la correlación automática y construcción de la nube de puntos densa. Luego se hace una malla texturizada 3D. Esta malla no es obligatoria en la fotogrametría, se usa más en arquitectura para BIM. En el caso de fotogrametría nos interesa un modelo digital de superficie un modelo digital de terreno, que es lo que se necesita para hacer una ortorectificación.



Figura 102. Densificación de la nube de puntos

## Paso 3: Ortofoto y MDS



Figura 103. Ortofoto y DSM



Generación MDS y ortotofa de precisión. Y como salidas se tiene:

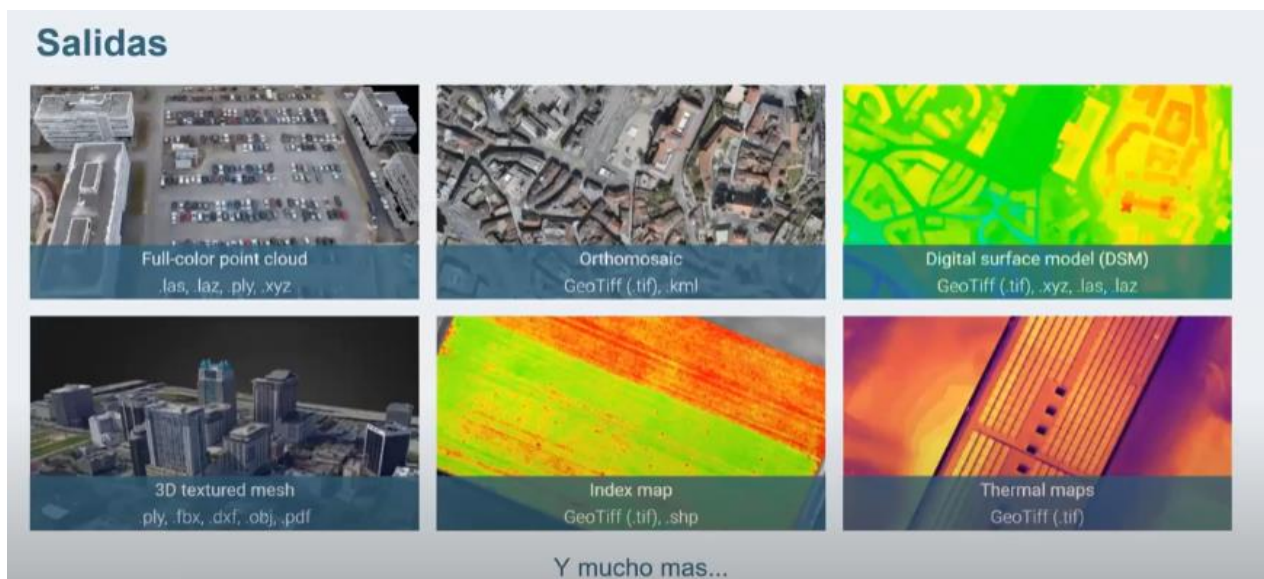


Figura 104. Productos de salida

Se recomienda realizar controles durante todo el proceso para eliminar la basura no necesaria y así tener resultados más precisos.

El software permite evaluar, mejorar la precisión del proyecto y de los informes de calidad a partir de análisis de la nube de puntos, y lo que es muy importante y lo que más tiempo toma, es la edición de la nube de puntos, clasificarla correctamente para que se puedan generar modelos digitales de terreno precisos y no dejar solo la clasificación automática.



Figura 105. Revisión y control

Para analizar los resultados en el panel derecho se visualizan los puntos y las marcas que están homologas en cada uno de las fotografías (entorno rayCloud). Y la pantalla principal visualiza la reconstrucción 3D.

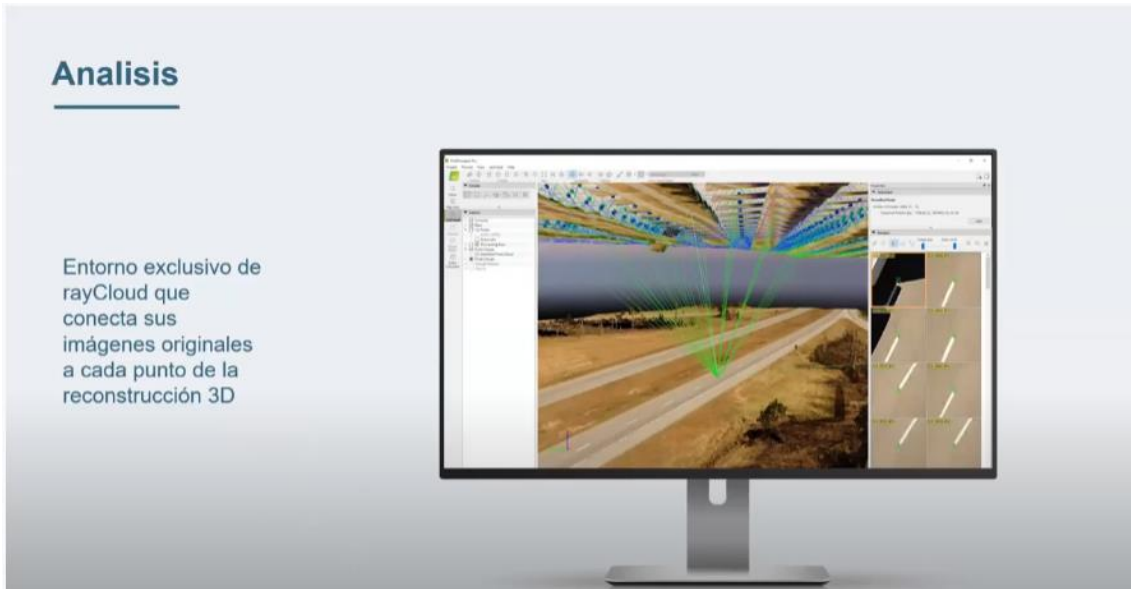


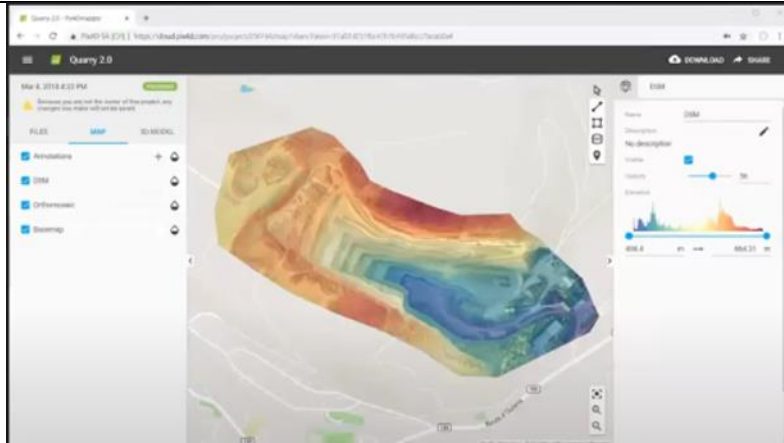
Figura 106. Ejemplo rayCloud

Resultados de los análisis que se pueden obtener:

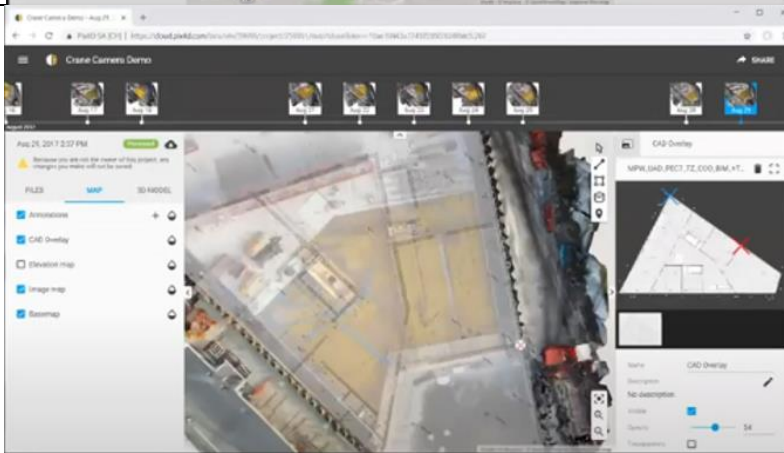
		<p>Calculo de volumen</p>
		<p>Clasificación automática de puntos</p>



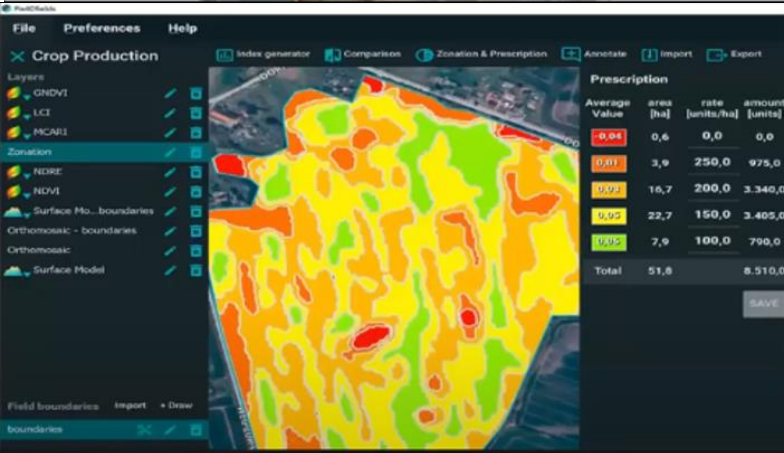
Fotogrametría es a partir de imágenes.



DSM en la nube

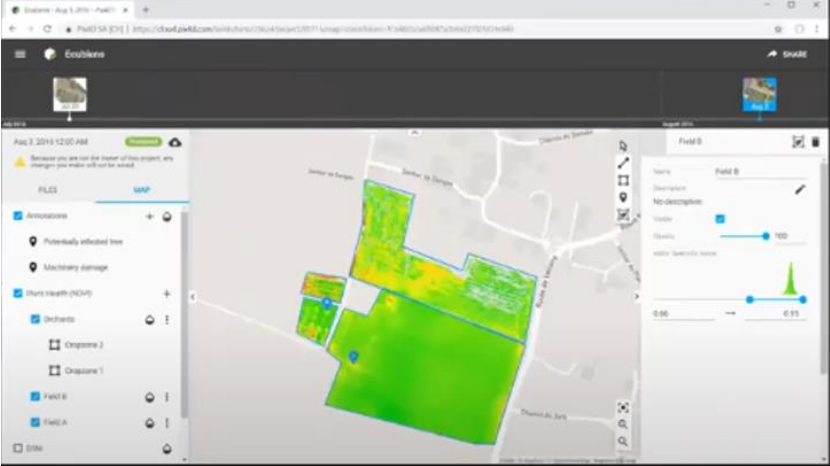
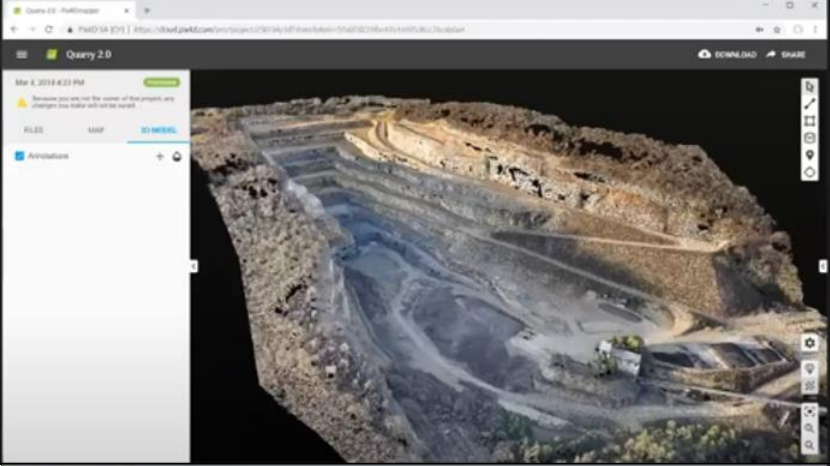



Pix4D BIM



Pix4D Fields. Mapas instantáneos y mapas de prescripción



Fotogrametría es A partir de imágenes.		Pix4D Fields. Cálculo de índices en la nube
		Visualización nube de puntos
		Malla texturizada triangular



Fotogrametría es A partir de imágenes.		Medición de superficies
		Localización e identificación de puntos de interés para estudio

Después de ese análisis, ¿Qué se puede hacer con ese resultado?:

### Medir e inspeccionar

- Medir distancias, áreas y volúmenes
- Extraer datos de perfil de elevación
- Realizar inspecciones virtuales

Figura 107. Medir e inspeccionar



Figura 108. Colaborar y compartir

Caso de estudio

Pantalla inicial del programa

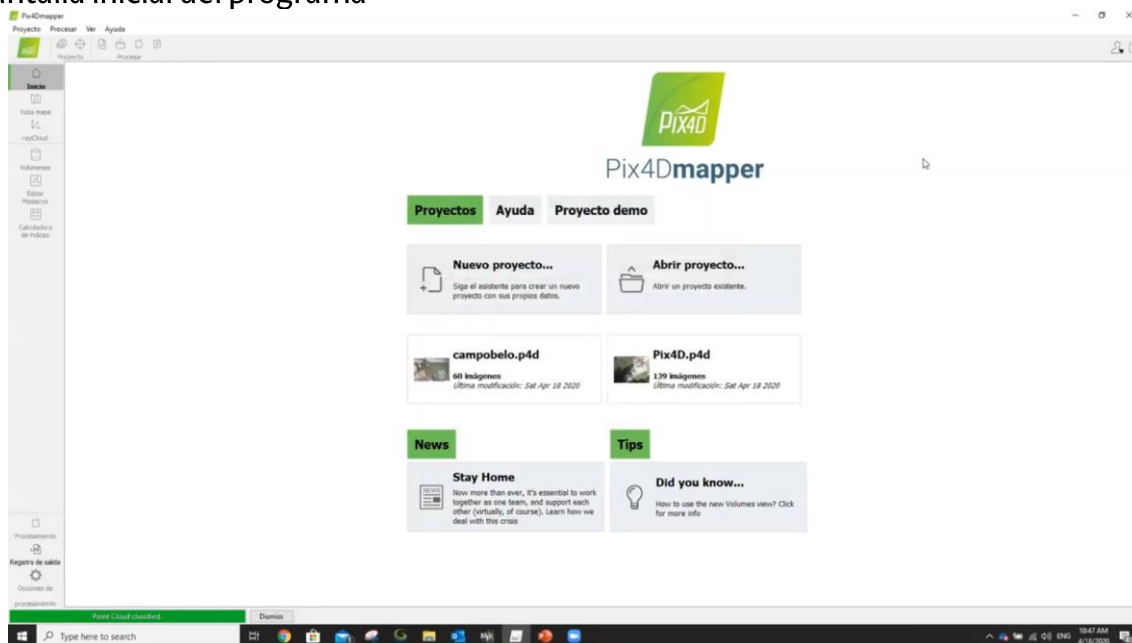


Figura 109. Pantalla de Inicio

Licencia en la nube y puede ser compartida para usar la misma en un proyecto y así poder abrir el mismo proyecto desde diferentes ordenadores y usarlo diferentes personas.

Se creó un nuevo proyecto-> proyecto-> nuevo proyecto

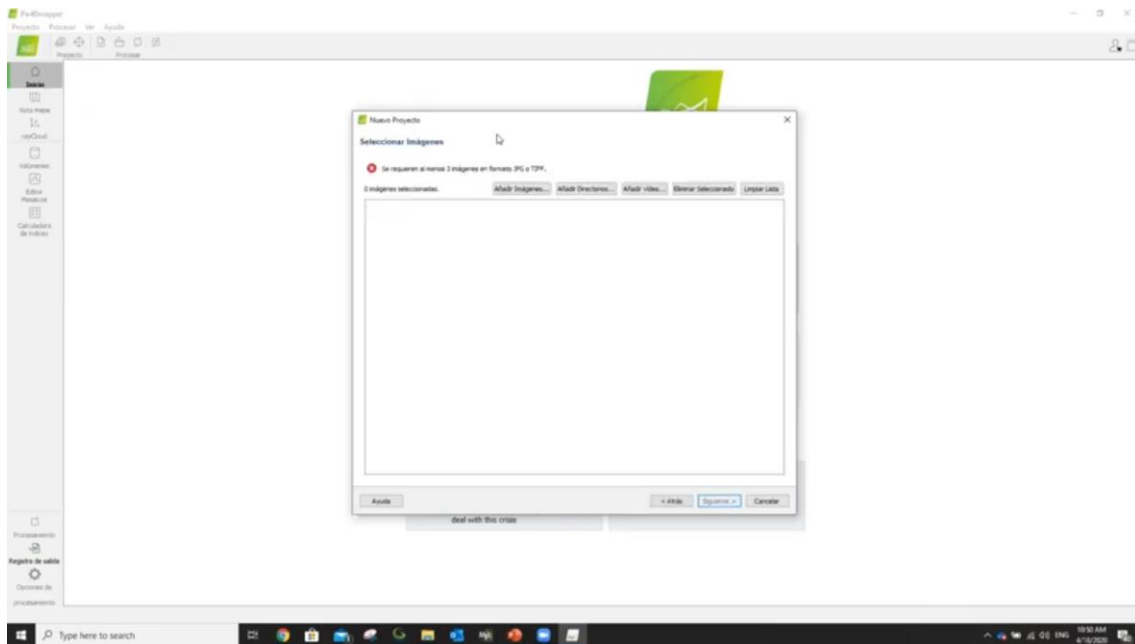


Figura 110. Creación proyecto

Datos del ejemplo han sido obtenidos con DJI Phamnton 4 pro.

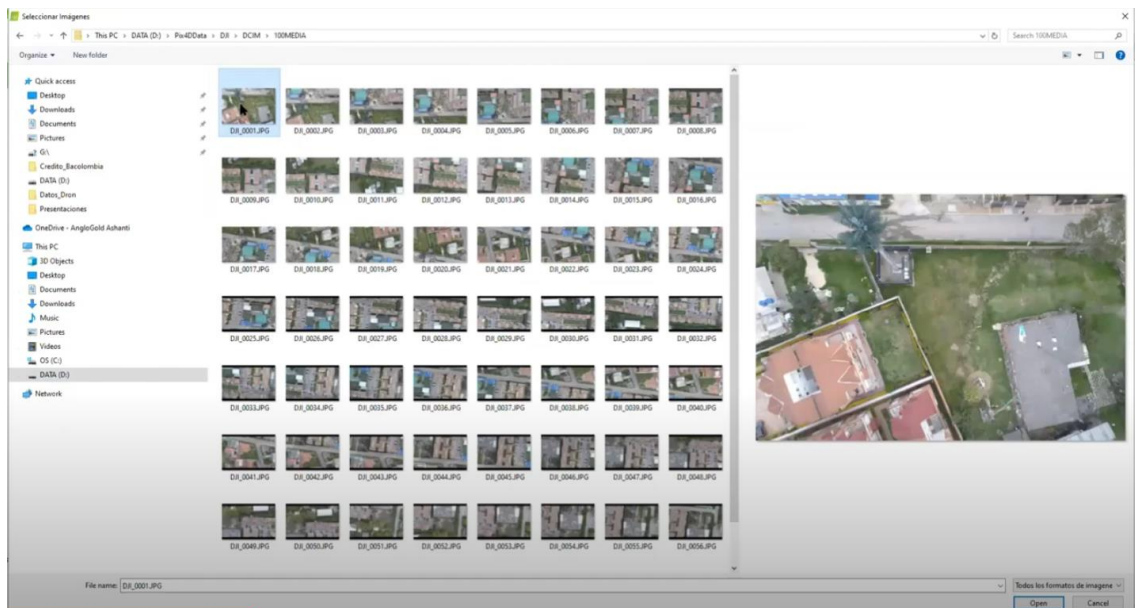


Figura 111. Imágenes obtenidas con el dron

Se cargan 60 imágenes. Estas imágenes pueden ser pocas o insuficientes para realizar un gran proyecto, pero esta es solo un ejemplo para saber cómo realizar los pasos para obtener unos resultados que se puedan usar como ejemplo. Se usan tan pocas imágenes debido a tiempo en procesado que se puede necesitar para realizar grandes proyectos o proyectos con mejor calidad de salida.



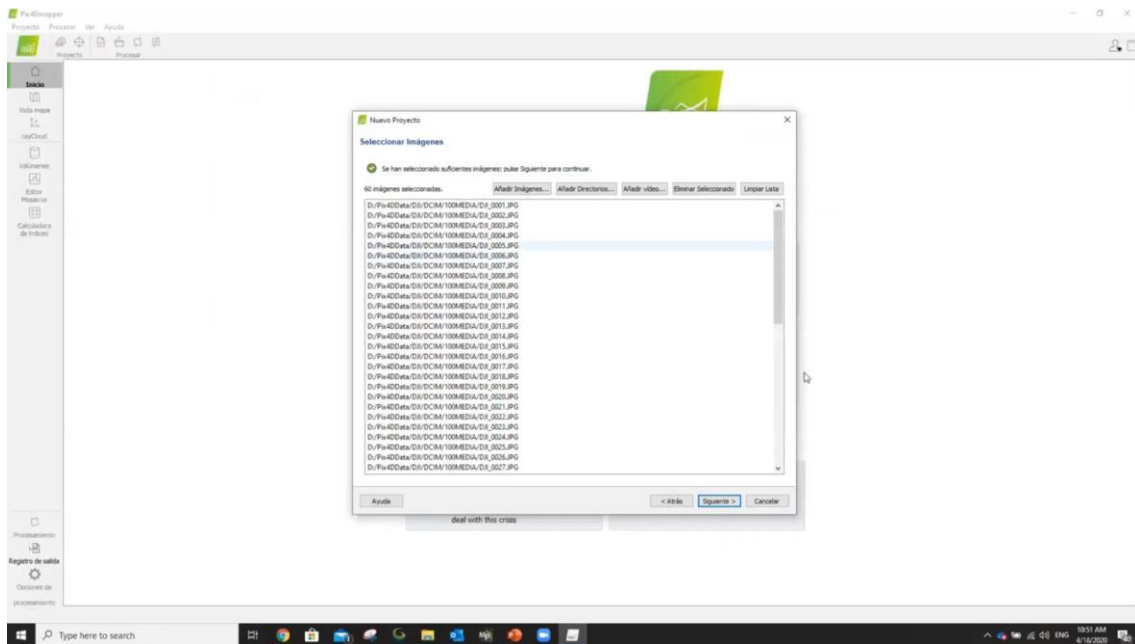


Figura 112.Carga de imágenes

Al importar las imágenes:

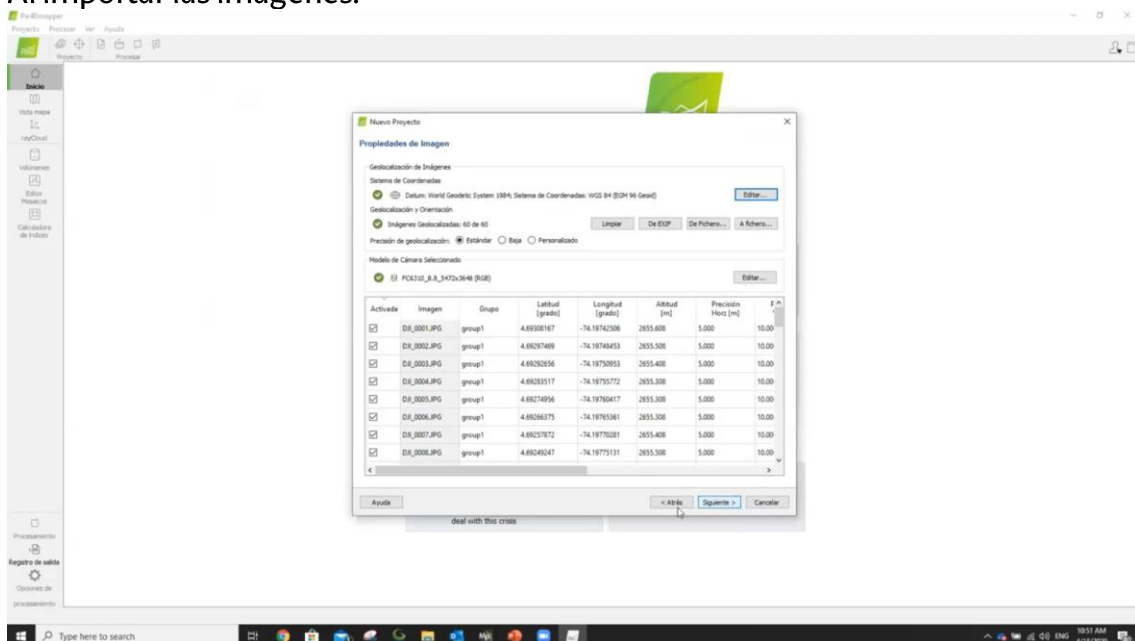


Figura 113.Pantalla general de carga de imágenes

Se analiza:

No hay orientación interna, ya traen las coordenadas del exfit, si no tienen se pueden importar del archivo del geotiquetado.

Longitud [grado]	Altitud [m]	Precisión Horz [m]	Precisión Vert [m]	Om[ga] [grado]	Phi [grado]	Kappa [grado]
-4.19742506	2655.608	5.000	10.000	-0.08794	0.04761	151.56571
-4.19748453	2655.508	5.000	10.000	-0.08785	0.04777	151.46569
-4.19750953	2655.408	5.000	10.000	-0.08827	0.04700	151.96569
-4.19755772	2655.308	5.000	10.000	-0.08768	0.04807	151.26569
-4.19760417	2655.308	5.000	10.000	-0.08794	0.04761	151.56569
-4.19765361	2655.308	5.000	10.000	-0.08785	0.04777	151.46568
-4.19770281	2655.408	5.000	10.000	0.00000	0.00000	151.16565
-4.19775131	2655.508	5.000	10.000	-0.08768	0.04807	151.26567

Figura 114.ZOOM Pantalla general de carga de imágenes

Si hubiera algún tipo de datos más aparte de RGB, tipo termal o que la cámara sea del tipo multispectral, se genera más de un grupo.

Se debe tener cuidado con las precisiones de la geolocalización, para eso se tiene que conocer bien la cámara y el dron. En este caso, el phantom 4 rtk, la precisión horizontal y vertical que marca es cm, mm o rtk del centro de la fotografía de forma automática.

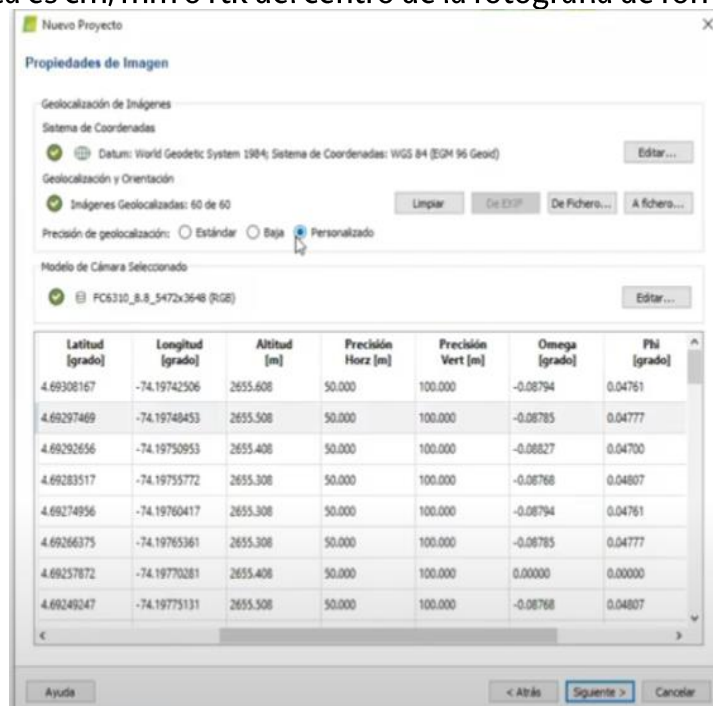


Figura 115.ZOOM Pantalla general de carga de imágenes con precisión en personalizado

Esta precisión la usa el software para ajustar los algoritmos y sus matrices internas para optimizar o no el proceso fotogramétrico.

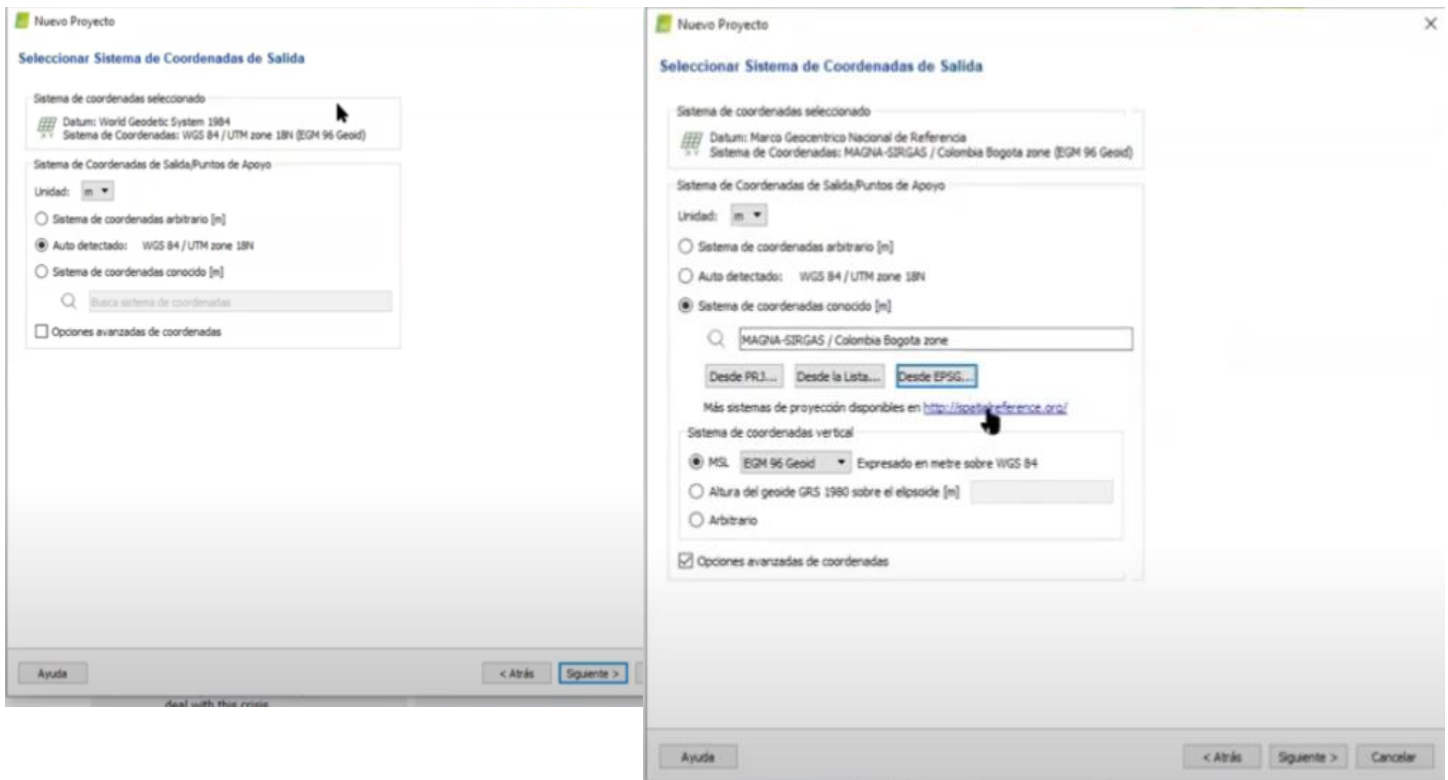
En este caso sabemos que cámara tiene y se importa con las imágenes. Pero ¿si no se sabe? Tenemos que crear una nueva y añadir los parámetros. Este caso será si se hace fotogrametría tradicional.



Figura 116. Introducción cámara nueva

En la siguiente opción, al pulsar siguiente, nos indica el sistema de coordenadas a usar. Se puede seleccionar manual o de forma automática (nótese que el proyecto no está realizado en Europa, si no en Colombia, por eso las coordenadas autodetectadas no son de las regiones europeas). Como el caso de estudio es el colombia reconoce su sistema de coordenadas UTM.

Se pueden modificar las coordenada en la opción sistemas de coodenadas buscar el pais y en avanzadas se pueden importar, escribir o buscar.



**Figura 117.** Selección coordenadas del lugar de toma de imágenes. Sistemas de coordenadas de salida del proyecto.

Ya teniendo cargadas las imágenes y con sus coordenadas de salida correctas, se escoge la plantilla de procesamiento que sea necesario para este proyecto. Pero se tiene que tener cuidado con la elección para no perder tiempo cuando se tenga que modificar algo, ya que estos tienen los parámetros ya introducidos.

Pix4Dmapper permite al usuario el procesamiento mediante Plantillas de procesamiento. Las plantillas con la etiqueta Res. Rápida/baja generan resultados más rápidos a baja resolución que pueden ser usados en el campo como indicador de la calidad del conjunto de datos.

Si el procesamiento Res. Rápida/baja no realiza/genera buenos resultados, es muy probable que el conjunto de datos no sea el apropiado y sea necesario adquirir imágenes de nuevo. En algunos casos, la opción Res. Rápida/baja falla y el procesamiento completo reconstruye el modelo con éxito.



	Resolución rápida / baja	Completa
Calidad	Reduce la resolución de las imágenes originales (dependiendo del conjunto de datos) y, por lo tanto, disminuye la precisión y puede dar lugar a resultados incompletos. Se extraen menos puntos clave en cada imagen y, por lo tanto, la cantidad de puntos coincidentes entre las imágenes es menor.	Permite procesar las imágenes originales con la mejor resolución (dependiendo del conjunto de datos) y por lo tanto proporciona resultados con mayor precisión.
Velocidad	Proporciona resultados significativamente más rápidos.	Proporciona resultados significativamente más lentos.
Usar	Se recomienda utilizarlo: Cuando todavía está en el campo como una verificación rápida del conjunto de datos: Cómo hacer una verificación rápida del conjunto de datos mientras todavía está en el campo. Para obtener una vista previa rápida de las salidas.	Se recomienda usarlo cuando regrese a la oficina para obtener resultados detallados y precisos.

Tabla 9. plantillas procesamiento: Características según opción

A continuación, se muestra una descripción de las plantillas de procesamiento disponibles:

Plantilla de opciones de procesamiento	Características	Salidas generadas
Estándar		
Mapas 3D	<p>Genera un mapa 3D (nube de puntos, malla texturizada 3D), así como un DSM y un ortomosaico.</p> <p>Adquisición de imágenes: vuelo nadir u oblicuo.</p> <p>Entrada típica: imágenes aéreas adquiridas utilizando un plan de vuelo de cuadrícula con gran superposición.</p> <p>Calidad / fiabilidad de las salidas: alta.</p> <p>Velocidad de procesamiento: lenta.</p> <p>Ejemplos de aplicación: canteras, catastro, etc.</p>	<p>Ortomosaico</p> <p>DSM</p> <p>Malla 3D</p> <p>Punto de nube</p>



Modelos 3D	<p>Genera un modelo 3D (nube de puntos, malla texturizada 3D).                  Adquisición de imágenes: vuelo oblicuo o terrestre.                  Entrada típica: cualquier imagen con alta superposición.                  Calidad / fiabilidad de las salidas: alta.                  Velocidad de procesamiento: lenta.                  Ejemplos de aplicación: modelos 3D de edificios, objetos, imágenes del suelo, imágenes de interiores, inspección, etc.</p>	Malla 3D Punto de nube
Ag multiespectral	<p>Genera mapas de reflectancia, índice (como NDVI), clasificación y aplicación.                  Adquisición de imágenes: vuelo nadir con cámara multiespectral.                  Entrada típica: imágenes tomadas con una cámara multiespectral (Sequoia, Micasense RedEdge, Multispec 4C, etc.).                  Calidad / fiabilidad de las salidas: alta.                  Velocidad de procesamiento: lenta.                  Ejemplos de aplicación: agricultura de precisión.</p>	Mapa de reflectancia Mapa de índice Mapa de aplicaciones
<b>Rápido</b>		
Mapas 3D: resolución rápida / baja	<p>Procesamiento más rápido de laplantilla de mapas 3D para evaluar la calidad del conjunto de datos adquirida.                  Calidad / fiabilidad de las salidas: baja.                  Velocidad de procesamiento: rápida.</p>	Ortomosaico DSM Malla 3D Punto de nube
Modelos 3D - Resolución rápida / baja	<p>Procesamiento más rápido de la plantilla de modelos 3D para evaluar la calidad del conjunto de datos adquirida.                  Calidad / fiabilidad de salida: baja.                  Velocidad de procesamiento: rápida.</p>	Malla 3D Punto de nube
Cámara Ag Modificada - Rápida / Baja Resolución	<p>Procesamiento más rápido de laplantillaAg <i>Modified Camer</i> para evaluar la calidad del conjunto de datos adquirido.                  Calidad / fiabilidad de salida: baja.                  Velocidad de procesamiento: rápida.</p>	Mapa de reflectancia Mapa de índice Mapa de aplicaciones
Ag RGB: resolución rápida / baja	<p>Procesamiento más rápido de laplantillaAg <i>RGB</i> para evaluar la calidad del conjunto de datos adquirido.                  Calidad / fiabilidad de salida: baja.                  Velocidad de procesamiento: rápida.</p>	Ortomosaico



Avanzado

Cámara Modificada	Ag	Genera mapas de reflectancia, índice (como NDVI), clasificación y aplicación. Adquisición de imágenes: vuelo nadir con cámara RGB modificada. Entrada típica: imágenes tomadas con una cámara RGB modificada. Calidad / fiabilidad de las salidas: alta. Velocidad de procesamiento: lenta. Ejemplos de aplicación: agricultura de precisión.	Mapa de reflectancia Mapa de índice Mapa de aplicaciones
Ag RGB		Genera un ortomosaico para agricultura de precisión. Adquisición de imágenes: vuelo nadir sobre terreno plano con cámara RGB. Entrada típica: imágenes tomadas con una cámara RGB para agricultura (Sequoia RGB). Calidad / fiabilidad de las salidas: alta. Velocidad de procesamiento: media. Ejemplos de aplicación: exploración digital, informe que reivindica la agricultura de precisión.	Ortomosaico
Cámara térmica		Genera un mapa de reflectancia térmica. Adquisición de imágenes: vuelo nadir con cámara térmica. Entrada típica: imágenes tomadas con una cámara térmica (como cámaras basadas en Tau 2: FLIR Vue Pro, FLIR XT). Calidad / fiabilidad de salida: alta. Velocidad de procesamiento: lenta.	Mapa de índice térmico
Cámara ThermoMAP		Genera un mapa de reflectancia térmica. Adquisición de imágenes: vuelo nadir con cámara thermoMAP. Entrada típica: imágenes tomadas con una cámara thermoMAP. Calidad / fiabilidad de salida: alta. Velocidad de procesamiento: lenta.	Mapa de índice térmico

Tabla 10. Plantillas procesamiento: Tipos

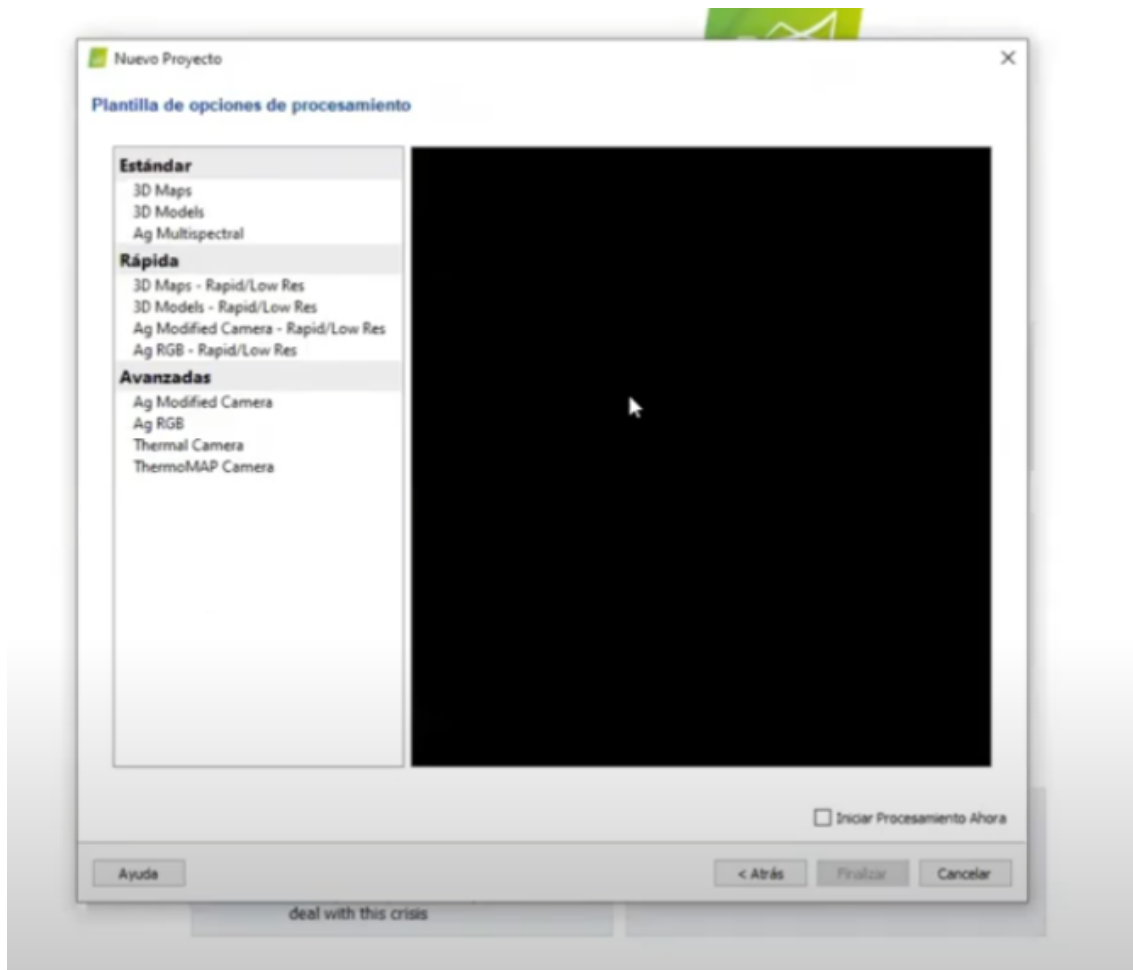


Figura 118. Plantillas de opciones de procesamiento

Como queremos realizar un estudio rápido, se selecciona un plantilla de la sección de rápidas.

Se selección pero sin activar iniciar procesamiento para poder modificar la plantilla como nos sea necesario, de lo contrario empezará a procesar con los datos estándar que ya que tiene programados. Y se finaliza este paso.



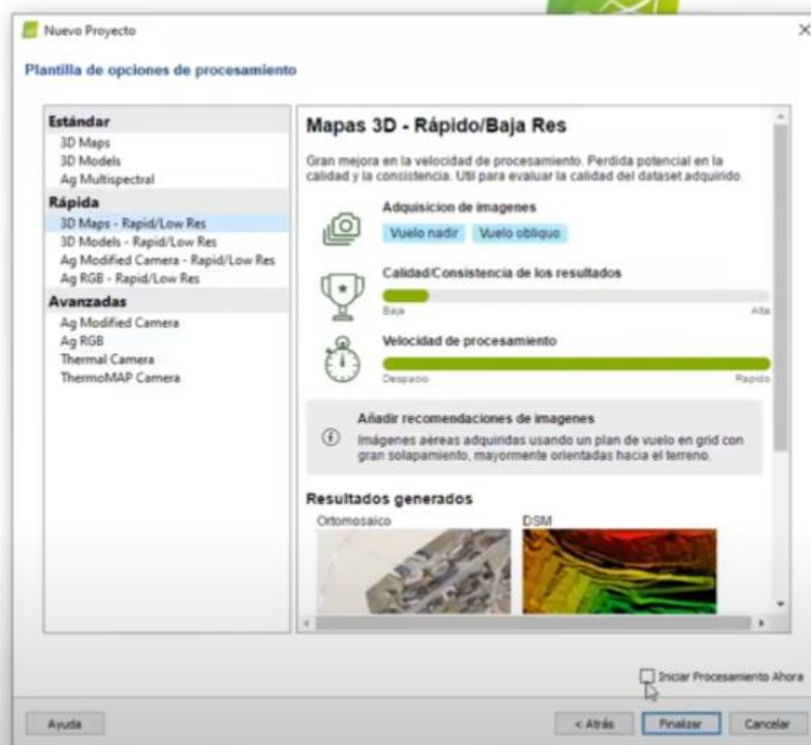


Figura 119. Selección plantilla

Después de los pasos anterior y que se cargaran la imágenes se importa un fondo de satélite del lugar.

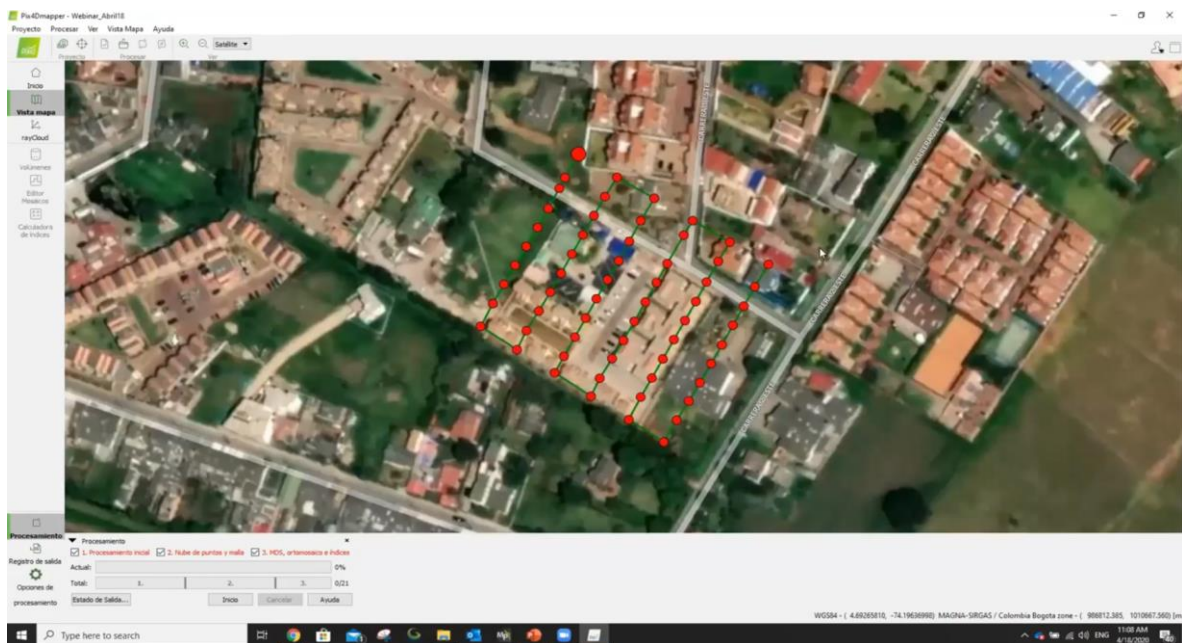


Figura 120. Fondo satélite

Se deja solo seleccionado procesamiento inicial para poder realizar modificaciones paso a paso de las tres opciones de procesamiento que se deben de llevar a cabo.

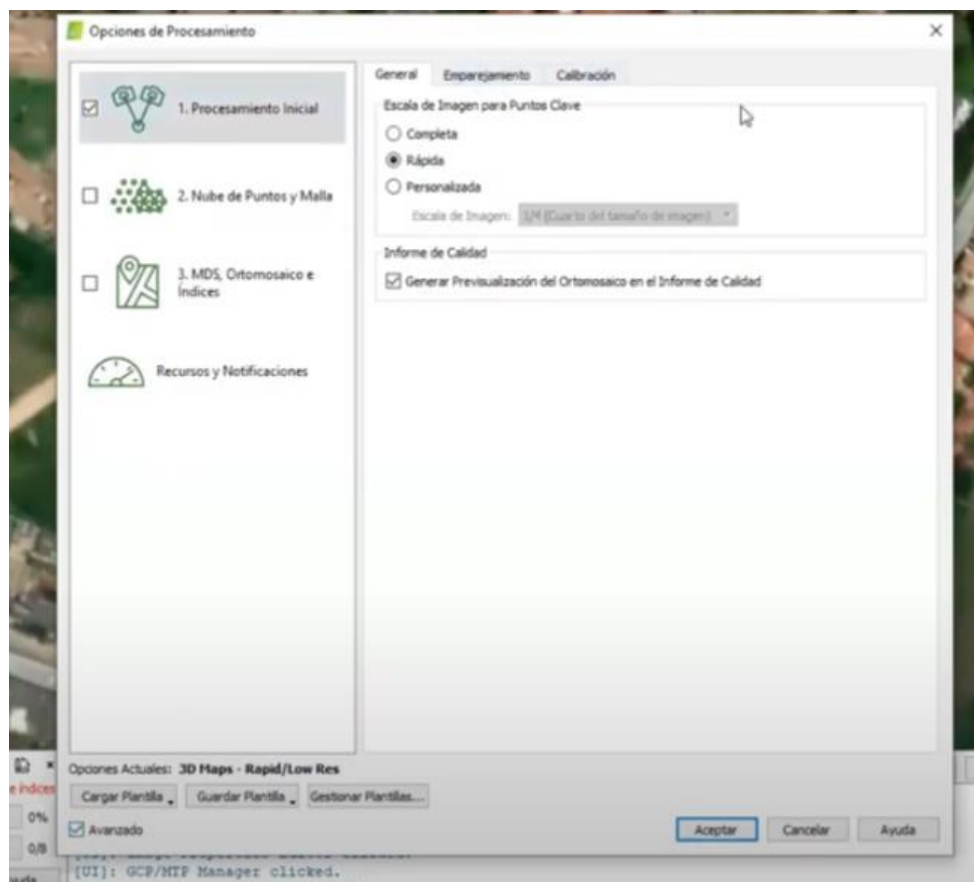


Figura 121. Opciones procesamiento inicial. Rápida

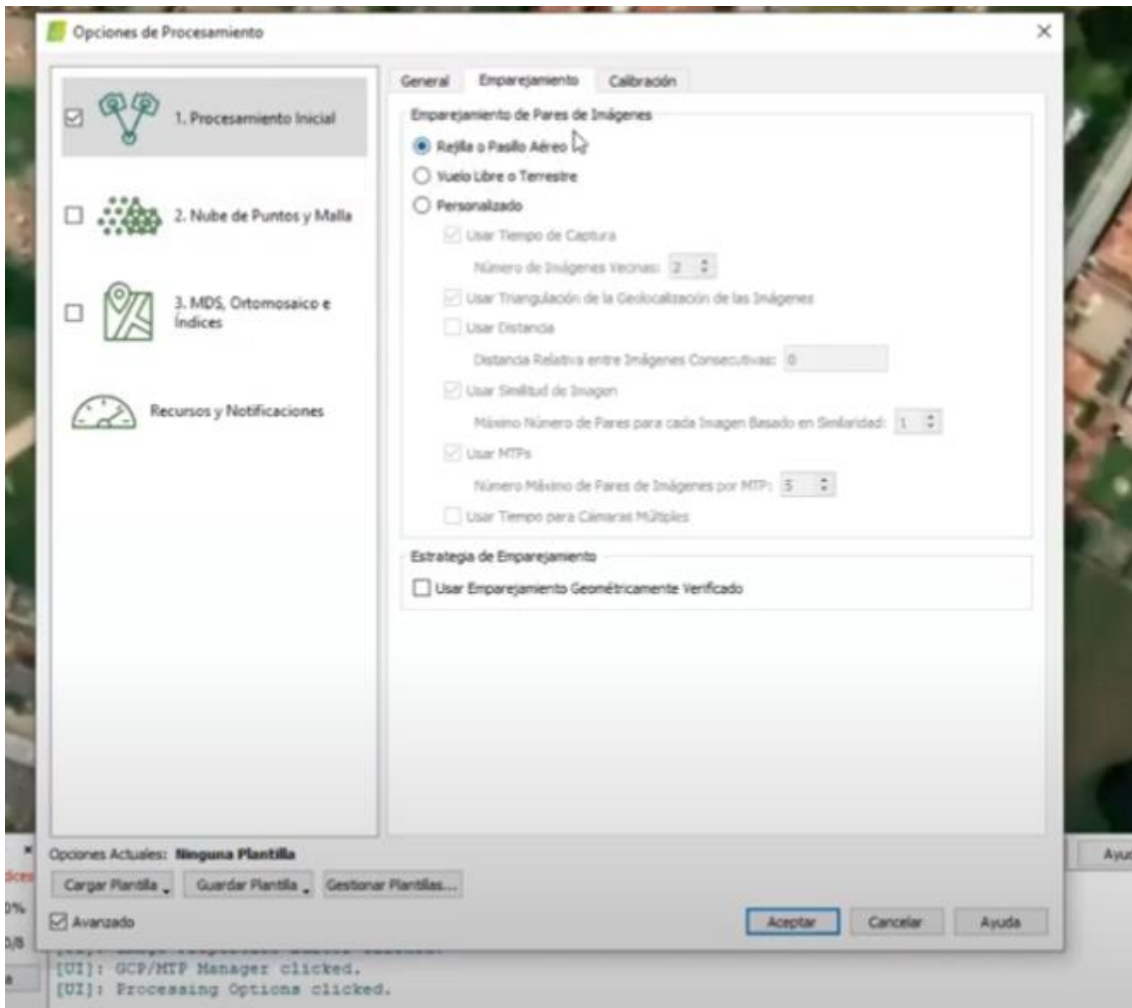


Figura 122. Opciones procesamiento inicial. Rejilla

Dependiendo del vuelo seleccionado se elige una opción:

- Rejilla o pasillo aéreo
- Vuelo libre o terrestre
- Personalizado: si se selecciona o alguno de los anteriores, los parámetros de esta sección se modifican solos

Plantilla: rápida → Si personalizado: Vuelo a 60 m por eso pixel  $\frac{1}{4}$  (1.5cm por pixel) escala imagen de correlación de punto: si fuera de precisión sería 1 (tamaño de imagen original), pero como es rápida, multiplica ese pixel por 4, adaptando matriz a 6 cm (matriz de búsqueda y correlación).

Este caso se utiliza cuando se realizan mal los traslajos o datos muy malos. En este caso se pueden modificar esos traslajos haciéndole que en tiempo de captura este busque más imágenes alrededor de la "original". Esta opción también deja introducir puntos manuales de paso, que el calcula con la información introducida.

Iniciar proceso (únicamente 1):

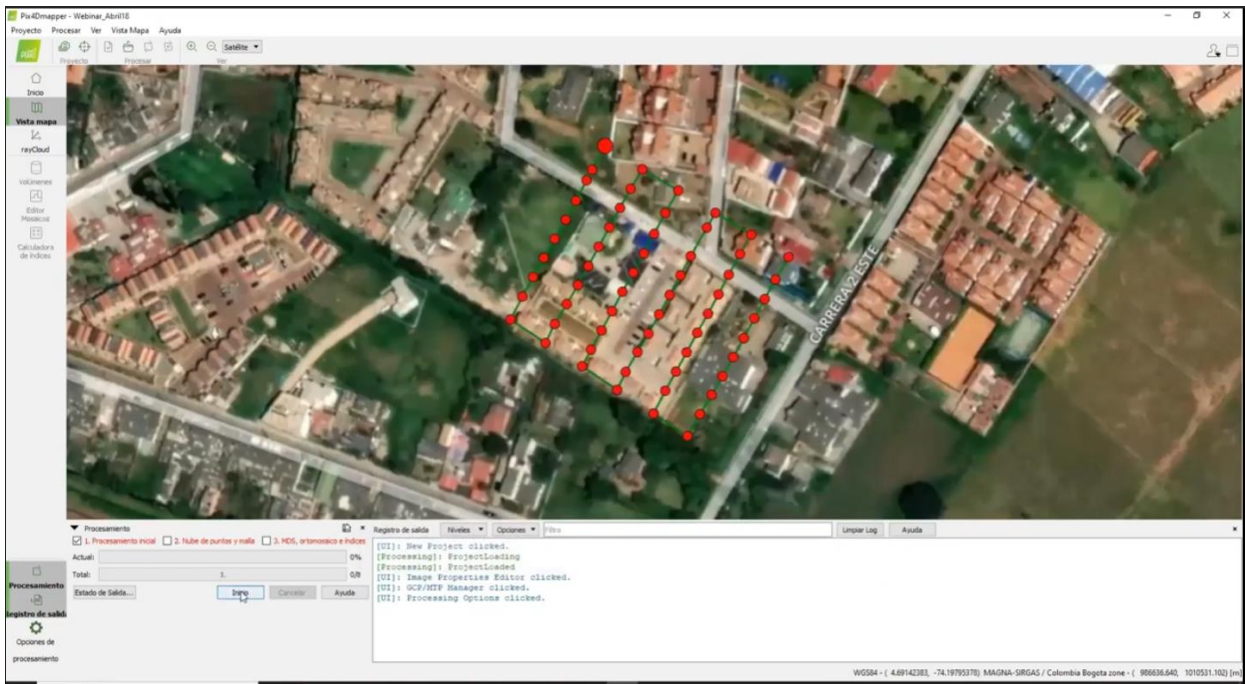


Figura 123. Comienzo proceso

En este paso, las imágenes y las entradas adicionales, como los GCP, se utilizarán para realizar las siguientes tareas, en el caso que se hayan introducido:

- Extracción de puntos clave: identifique características específicas como puntos clave en las imágenes.
- Coincidencia de puntos clave: encuentre qué imágenes tienen los mismos puntos clave y combínelas.
- Optimización del modelo de cámara: Calibra los parámetros internos (distancia focal,...) y externos (orientación,...) de la cámara.
- GPS / GCP de geolocalización: localice el modelo si se proporciona información de geolocalización.

Se tienen 8 subprocesos.

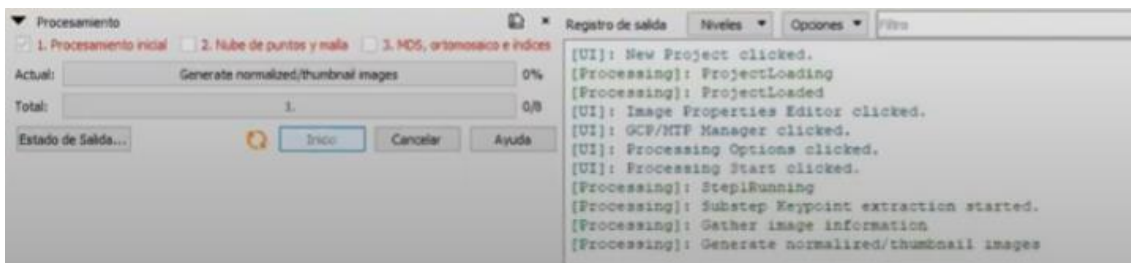


Figura 124. Inicio subprocesos

1. extracción de puntos clave(camera calibration)
2. ...
3. calibración de la cámara (camera calibration)
4. Volver a emparejar ( Rematch )



5. Georreferenciar el modelo (Georeference the model)
6. calibración de la cámara (camera calibration)
7. generación de informes (report generation)
8. guardar parámetros (save parameters)

Después de los 8 subprocessos genera un reporte de calidad.

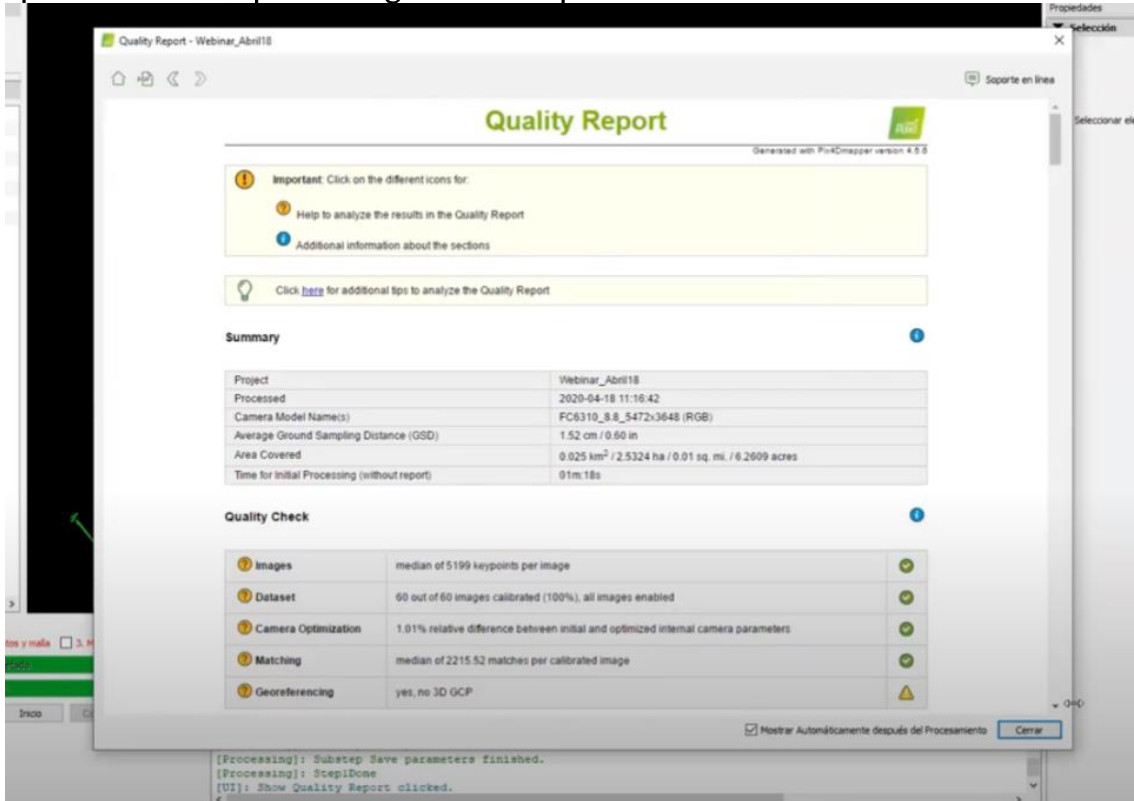


Figura 125.Reporte 1



Figura 126 Rreporte 2



**Imágenes:** La mediana de puntos clave por imagen. Los puntos clave son puntos característicos que se pueden detectar en las imágenes.

Sería correcto:

Escala de imagen de puntos clave  $> 1/4$ : Se han extraído más de 10.000 puntos clave por imagen.

Escala de imagen de puntos clave  $\leq 1/4$ : Se han extraído más de 1000 puntos clave por imagen.

**Conjunto de datos (Dataset):** Número de imágenes habilitadas que se han calibrado, es decir, el número de imágenes que se han utilizado para la reconstrucción del modelo. Si la reconstrucción da como resultado más de un bloque, se muestra el número de bloques. Esta sección también muestra la cantidad de imágenes que el usuario ha desactivado. Si el procesamiento falla, se muestra el número de imágenes habilitadas.

Sería correcto:

Más del 95% de las imágenes habilitadas se calibran en un bloque.

**Optimización de la cámara:** Lente de perspectiva: el porcentaje de diferencia entre la distancia focal inicial y la optimizada. Lente ojo de pez: el porcentaje de diferencia entre los parámetros de transformación afín inicial y optimizada C y F.

Sería correcto:

Lente de perspectiva: el porcentaje de diferencia entre la distancia focal inicial y la optimizada es inferior al 5%. Lente ojo de pez: el porcentaje de diferencia entre los parámetros de transformación afín inicial y optimizada C y F es inferior al 5%.

**Coincidencia:** La mediana de coincidencias por imagen calibrada.

Sería correcto:

Escala de imagen de puntos clave  $> 1/4$ : Se han calculado más de 1000 coincidencias por imagen calibrada.

Escala de imagen de puntos clave  $\leq 1/4$ : se han calculado más de 100 coincidencias por imagen calibrada.



**Georreferenciación:** Muestra si el proyecto está georreferenciado o no.

Si está georreferenciado, muestra lo que se ha utilizado para georreferenciar el proyecto:

Si se ha utilizado la transformación de calibración del sitio, se muestra la calibración del sitio.

Si solo se ha utilizado la geolocalización de la imagen, no se muestran ningún GCP.

Si se utilizan GCP, se muestra el número, el tipo y la media del error RMS en (X, Y, Z).

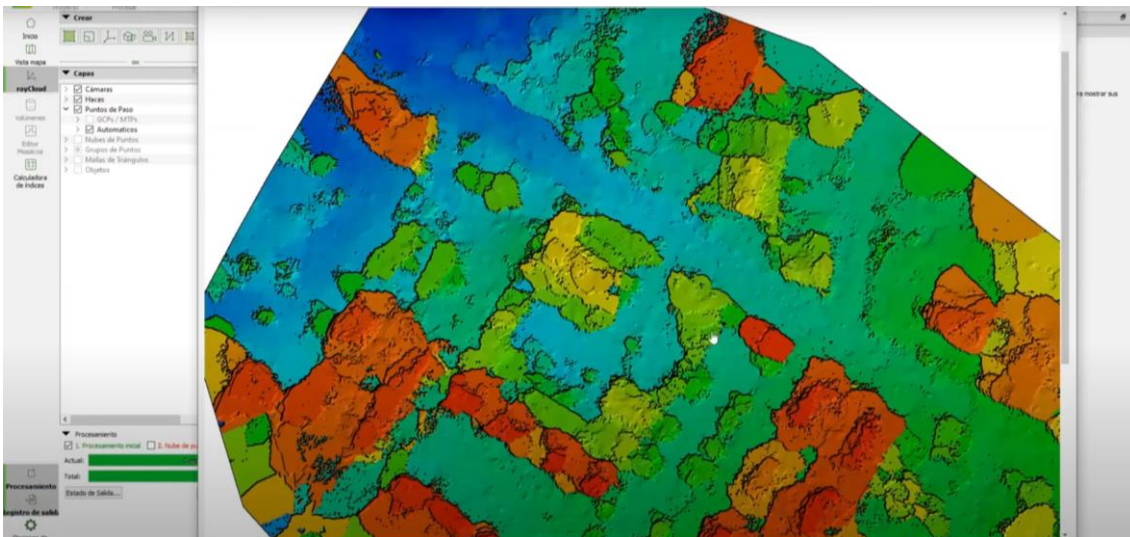
Si el procesamiento falla, se muestra la cantidad de GCP definidos en el proyecto.

## Resumen reporte 2:

- Se debe de tener cuidado con la velocidad de vuelo, viento, Balance entre captura de datos y calidad de las fotografías usadas.
- Se han usado las 60 imágenes, como ya sabíamos.
- Optimización cámara 1% de diferencia relativa entre pasos iniciales. Si más %, esto nos quiere decir que cámara mal calibrada y hay que rehacer todo.
- 1% de diferencia relativa entre los pasos iniciales significa, 1% entre relativo y absoluto de posición de los centros matemáticos de la fotografía.
- Matching (promedio de correlación). A matriz más pequeña más grande el número. En este caso hemos usado 4 veces el tamaño del pixel, en caso de que usemos 1 pixel (1:1) de tamaño, esto es el original, el matching aumenta. Software usa una matriz más pequeña y va a usar una mayor cantidad de puntos de puntos de paso, densifica y tarda más tiempo.
- Si esta georreferenciado pero no se usan puntos de control. Tenemos una georeferenciación relativa (modelo en el aire)



*Figura 127. Reporte 3*



*Figura 128. Reporte 4*

Las dos figuras anteriores representan previas de baja resolución del ortomosaico y el DSM antes del paso 2. Permiten una inspección visual de la calidad de la calibración inicial. Si el ortomosaico está sesgado, puede haber un error con la orientación del proyecto y es posible que se requieran GCP. Si el DSM contiene grandes costuras o defectos, puede deberse a múltiples recortes o bloques en la reconstrucción.



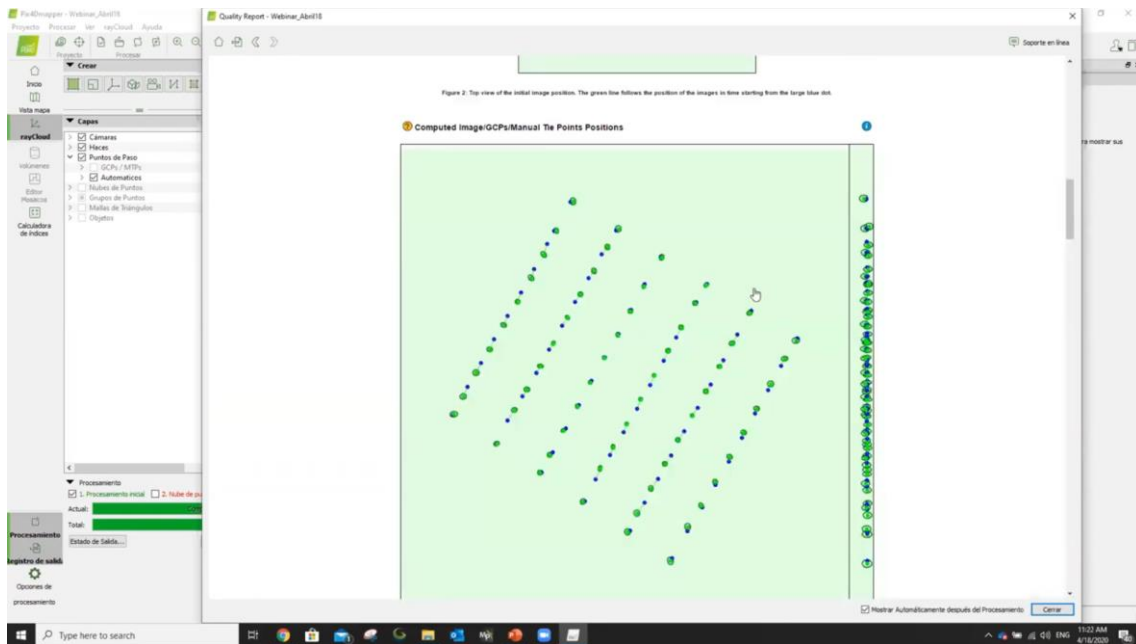


Figura 129. Reporte 5

Desplazamiento entre las posiciones de la imagen inicial (puntos azules) y calculadas (puntos verdes), en la vista superior (plano XY), vista frontal (plano XZ) y vista lateral (plano YZ). Las elipses de color verde oscuro señalan la incertidumbre de posición absoluta (Nx ampliada) del resultado del ajuste del bloque de haz.

Calibración= 1% diferencia entre puntos verdes y azules de doto el proyecto. Entre los puntos puntos calculados manualmente y las posiciones, tanto en altura como en Xy

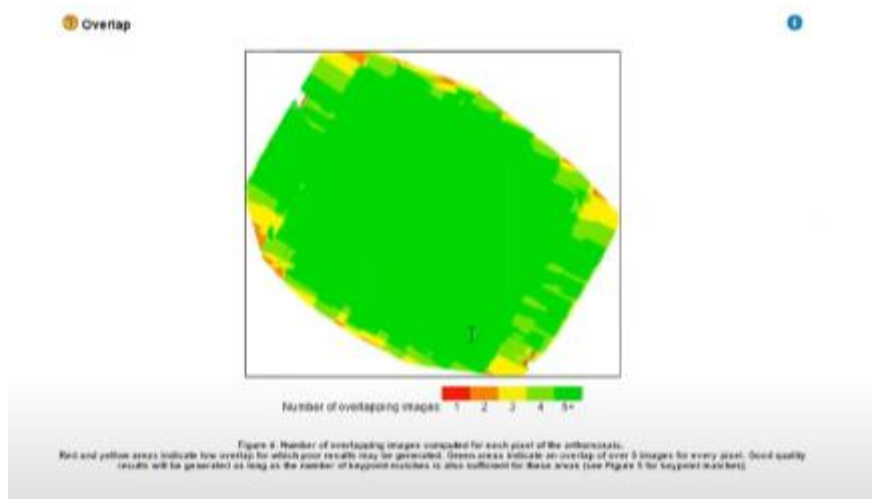


Figura 130. Reporte 6

Superposición. Número de imágenes superpuestas evaluadas para cada píxel del ortomosaico. Las áreas rojas y amarillas indican un solapamiento bajo por lo que se pueden generar resultados deficientes. Las áreas verdes indican una superposición de 5 imágenes por cada píxel. Se generan resultados de buena calidad cada vez que el número



de coincidencias de puntos clave también sea suficiente para estas áreas (consulte la Figura 5 para ver las coincidencias de puntos clave).

Recubriendo con el traslapo a 80%.

En la figura 131 se muestran los parámetros internos de la cámara para lentes de perspectiva

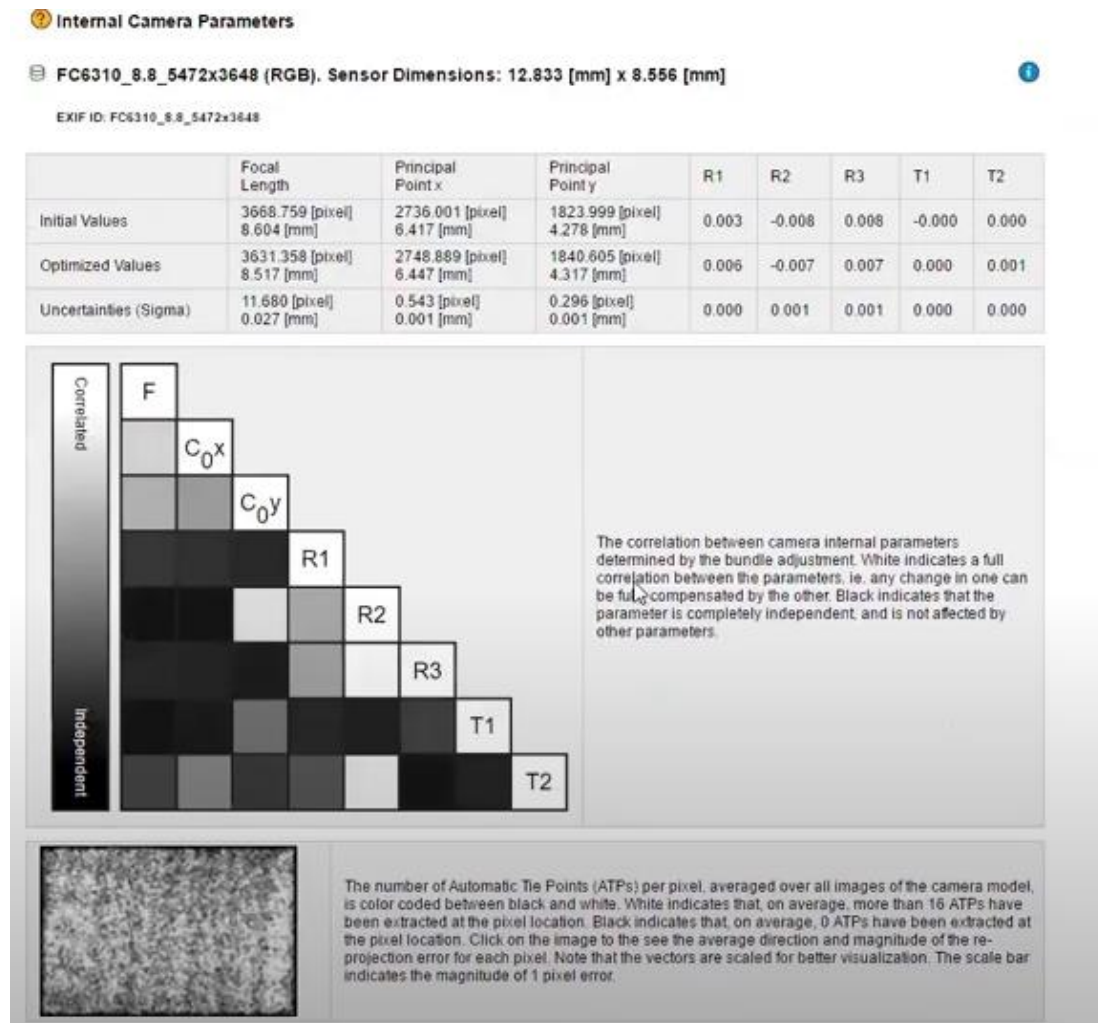


Figura 131. Información de la cámara y su matriz de correlación

La primera tabla:

- Valores iniciales: Los valores iniciales del modelo de cámara.
- Valores optimizados: Los valores optimizados que se calculan a partir de la calibración de la cámara y que se utilizan para el procesamiento.
- Incertidumbres (sigma): El sigma de las incertidumbres de la distancia focal, el punto principal X, el punto principal Y, las distorsiones radiales R1, R2 y las distorsiones tangenciales T1, T2.



La correlación entre los parámetros internos de la cámara determinada por el ajuste del haz. La matriz de correlación muestra cuánto se compensan los parámetros internos entre sí.

El blanco indica una correlación completa entre los parámetros, es decir, cualquier cambio en uno puede compensarse completamente con el otro. El negro indica que el parámetro es completamente independiente y no se ve afectado por otros parámetros

- R1: Distorsión radial de la lente R1.
- R2: Distorsión radial de la lente R2.
- R3: Distorsión radial de la lente R3.
- T1: Distorsión tangencial de la lente T1.
- T2: Distorsión tangencial de la lente T2.

#### 2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	5199	2216
Min	4518	881
Max	5937	3050
Mean	5191	2213

#### 3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	30296
In 3 Images	6589
In 4 Images	3088
In 5 Images	1658
In 6 Images	876
In 7 Images	582
In 8 Images	450
In 9 Images	395
In 10 Images	288
In 11 Images	221
In 12 Images	159
In 13 Images	142
In 14 Images	141
In 15 Images	107
In 16 Images	51
In 17 Images	38
In 18 Images	21
In 19 Images	22
In 20 Images	15
In 21 Images	4

Figura 132. Número de puntos clave 2D (puntos característicos) por imagen. Y su número de coincidentes y cada punto 3D se genera a partir de puntos clave que se han observado en al menos dos imágenes



## Geolocation Details

### Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	15.00	0.00
-3.00	0.00	45.00	30.00	38.33
0.00	3.00	55.00	33.33	61.67
3.00	6.00	0.00	21.67	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
<b>Mean [m]</b>		-0.000000	-0.000000	-0.000000
<b>Sigma [m]</b>		1.478935	2.627434	0.419795
<b>RMS Error [m]</b>		1.478935	2.627434	0.419795

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Figura 133.Reporte 7

Varianza de geolocalización absoluta:

El error mínimo y el error máximo representan intervalos de error de geolocalización entre -1,5 y 1,5 veces la precisión máxima de todas las imágenes.

Las columnas Error de geolocalización X, Y, Z muestran el porcentaje de imágenes con errores de geolocalización dentro de los intervalos de error predefinidos. El error de geolocalización es la diferencia entre las posiciones de la imagen inicial y calculada. Tenga en cuenta que los errores de geolocalización de la imagen no se corresponden con la precisión de los puntos 3D observados.

En las siguientes imágenes se pueden ver las posiciones de las camas y error que se ha tenido en su posicionamiento. En azul esta la posición inicial del GPS y en verde la calcula fotogramétricamente.

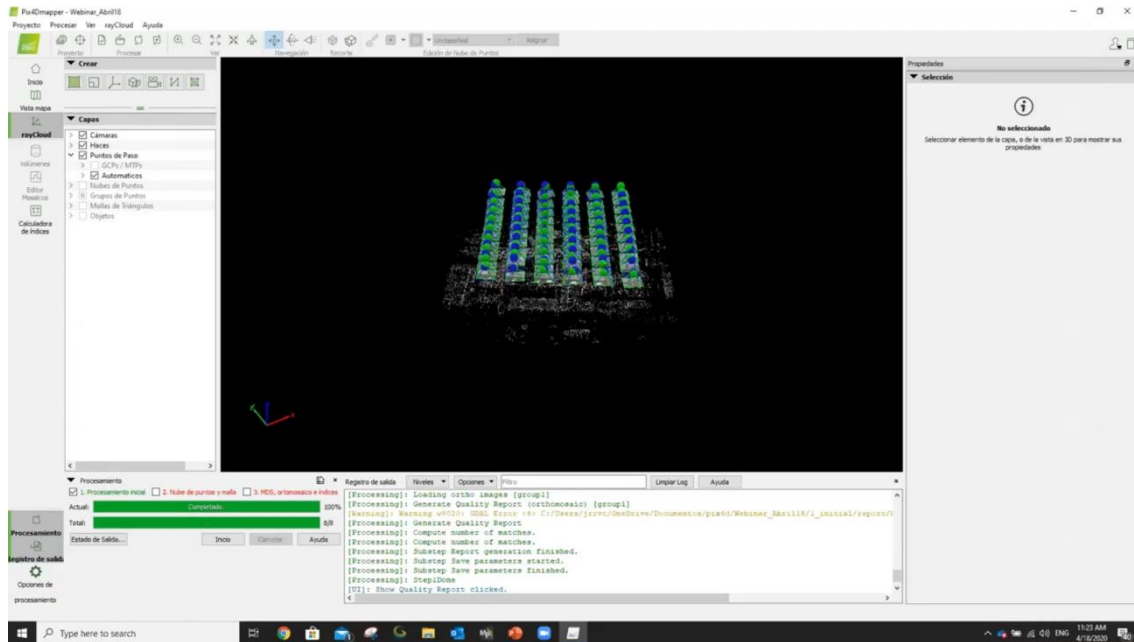


Figura 134. Posiciones de la cámara

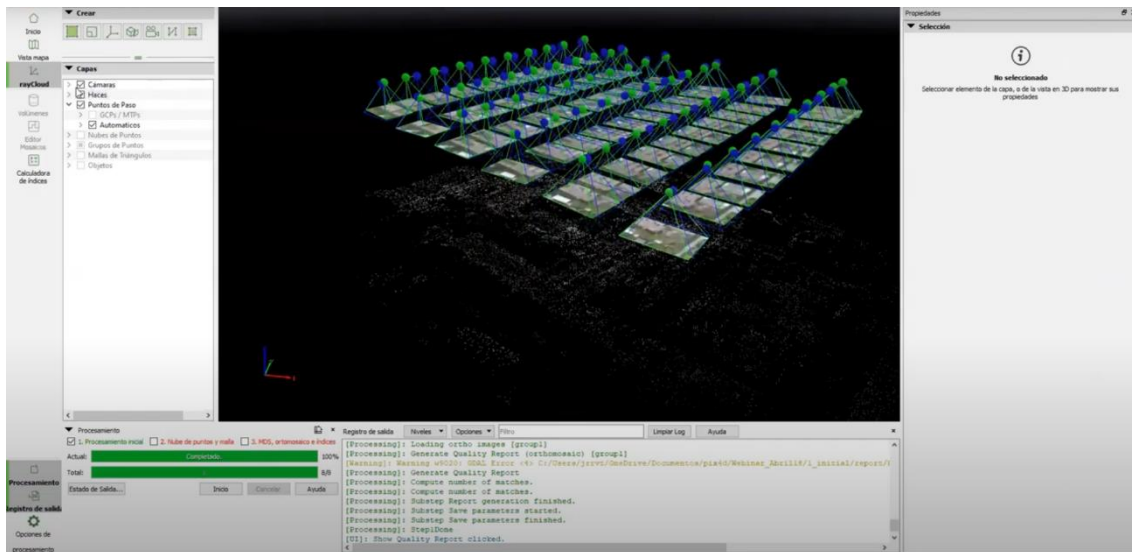
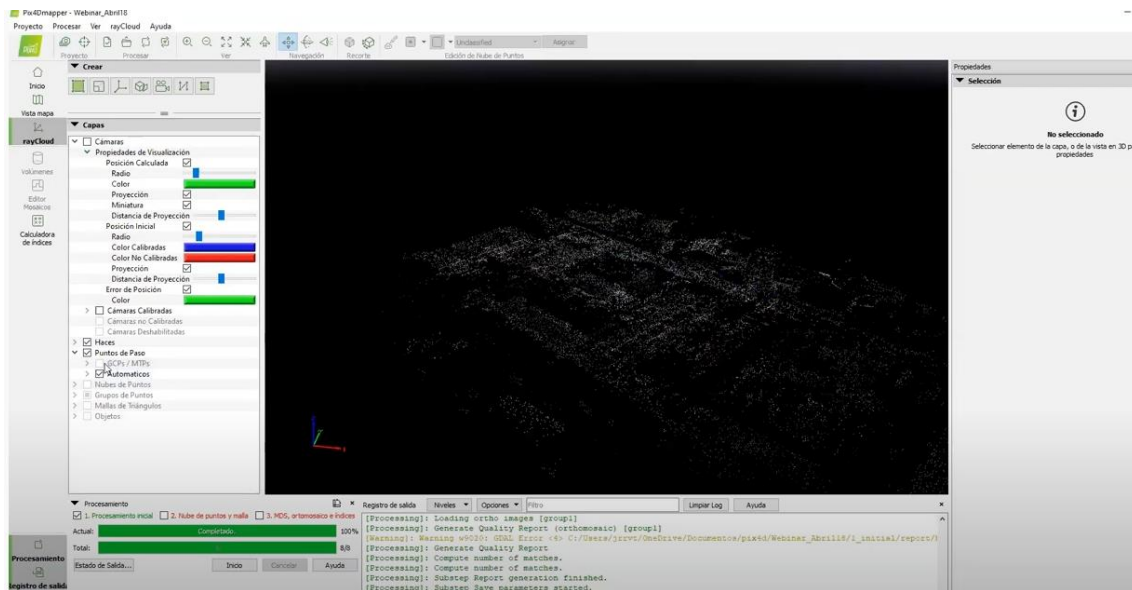


Figura 135. Posiciones de cámara con su error

Quitando o deseleccionando las cámaras (sus posiciones), nos queda únicamente la nube de puntos calculada automáticamente. Que sea automática, significa que no tenemos puntos de control manuales ni puntos de control terrestres.



**Figura 136. Nube de puntos automática**

Como hemos comentado anteriormente, no se dispone de puntos de control. El software no deja realizar la importación de puntos de control, debido a que en algunos proyectos, es necesario disponer de este tipo de puntos. Un requerimiento para poder introducir los puntos de control es que se haya hecho la orientación inicial.

Para introducir estos puntos:

1. En la barra de menús, haga clic en Proyecto > GCP / MTP Manager...
2. En el GCP / MTP Manager /, haga clic en Editor básico. Aparecerá la ventana Editor básico de puntos GCP/MTP.
3. En la Tabla de GCP/MTP, seleccione el GCP que desea marcar.

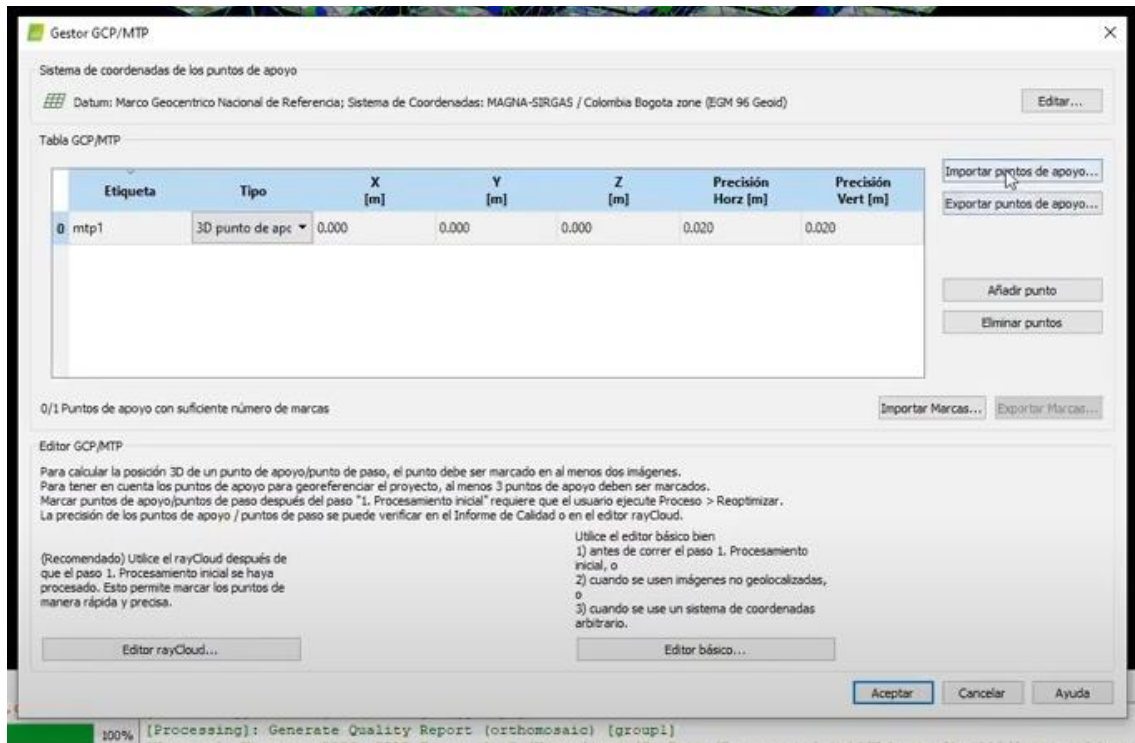


Figura 137. Editor básico GPC

Se pueden introducir manualmente o importar.

En este caso se importan de una red.

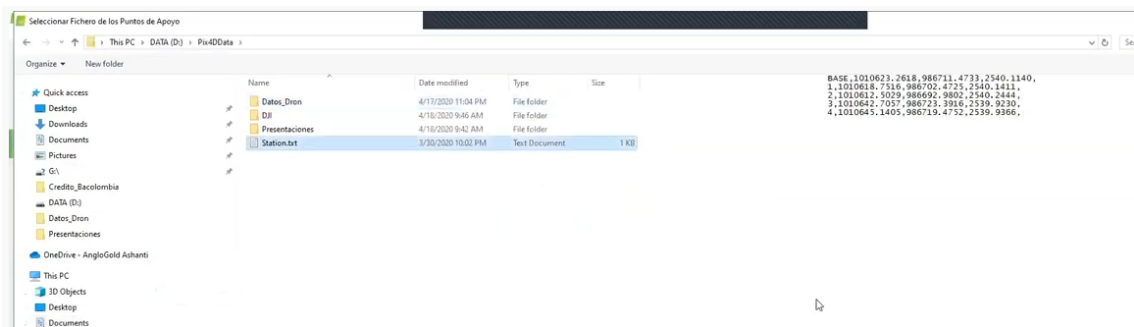


Figura 138. Localización en PC de GPC

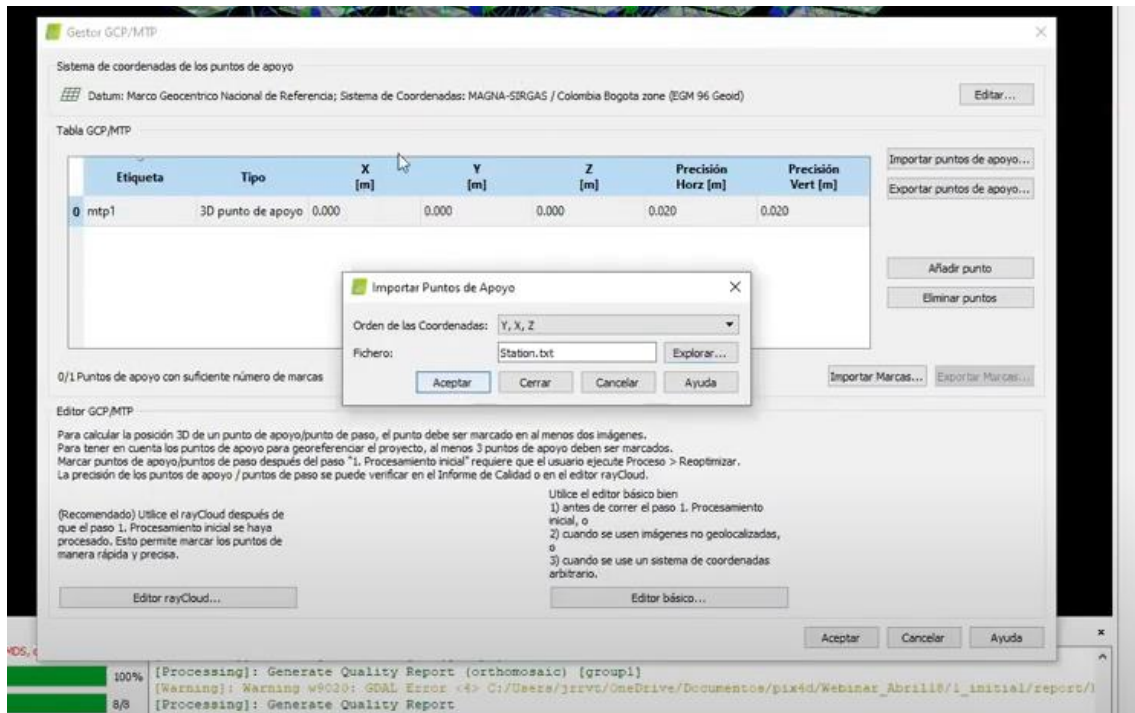


Figura 139.Importación puntos desde archivo

Se debe tener cuidado con la importación y el orden de coordenadas.

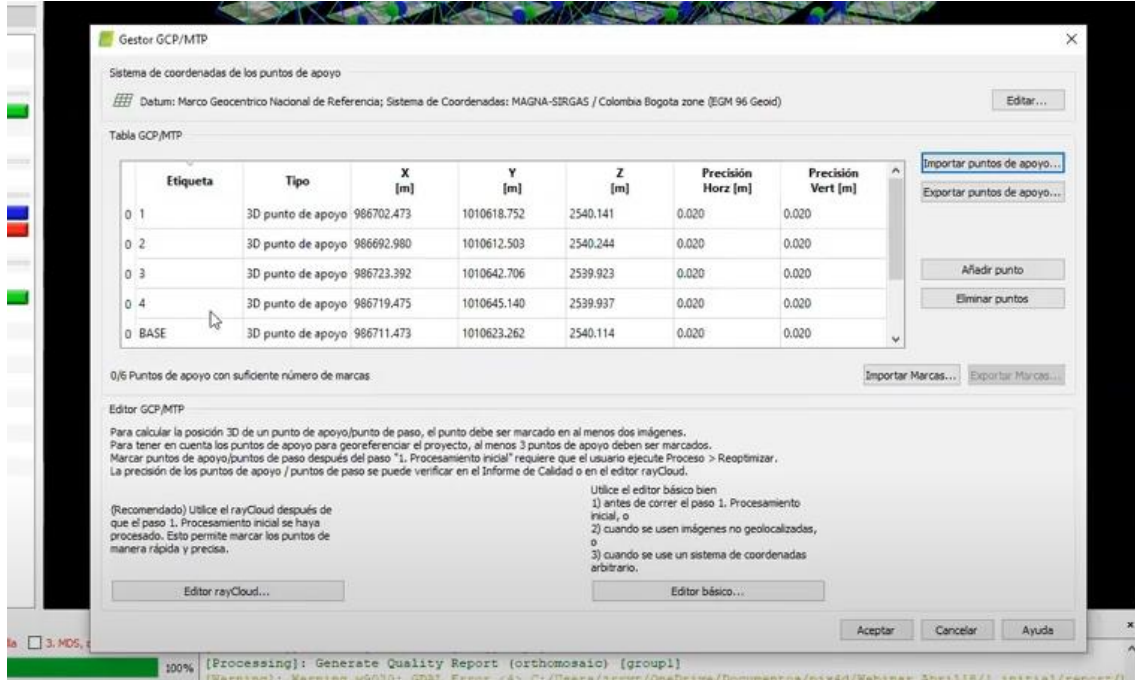


Figura 140.Puntos cargados



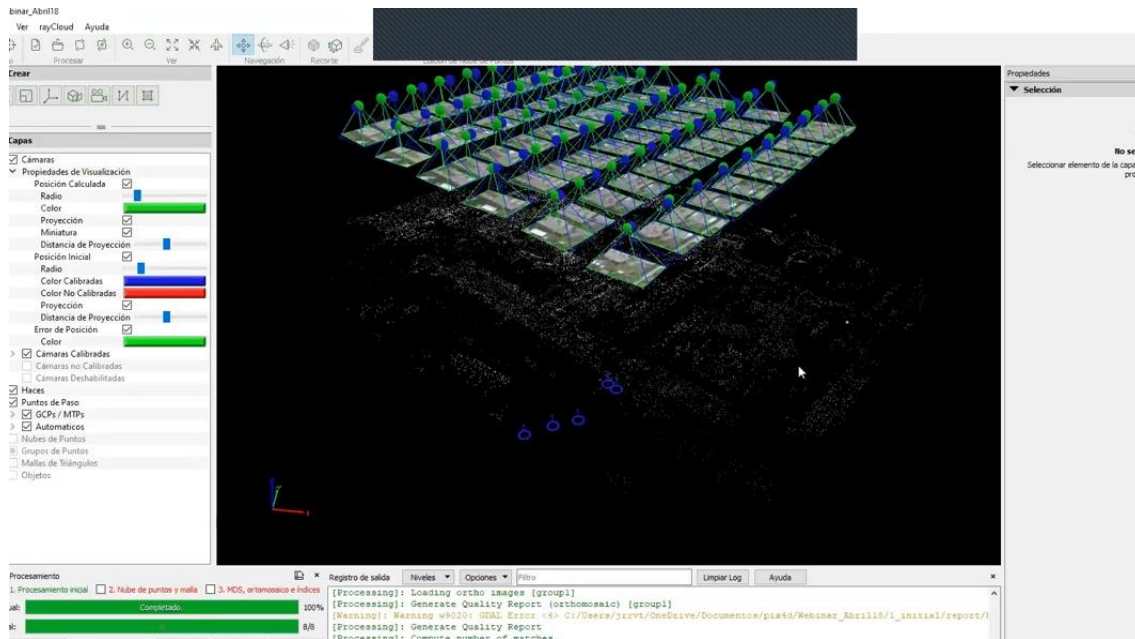


Figura 141. Puntos cargados. Visualización 1

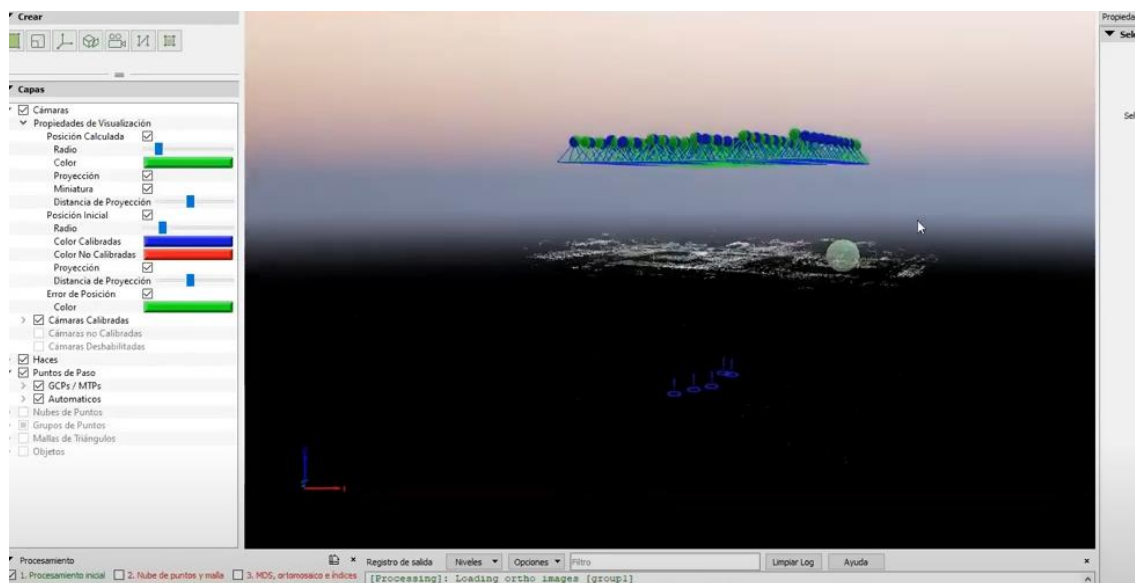


Figura 142. Puntos cargados. Visualización

Se cargan 5 puntos de control como hemos visto en la tala de la figura 140. Puntos cargados.

Se puede notar que la cota de estos puntos está mal, no coincide con los terrenos de nuestra nube de puntos. Es por que el modelo no está en geoidal. Las Coordenadas con GPS de precisión y RTK ntrip y usando modelos geoidal geocol 2004, aun no puede importar desde geocol. Pix4D mapper aún no dispone de esa opción de compatibilidad entre esos dos programas.

¿Qué se puede hacer? Usar puntos de control o usar ppk asociando a la base reduciéndola a los puntos de control. O después procesar todo en altura elipsoidal sin puntos de control y usar una malla restar mediante software la información central del goide, y llevar el modelo a la altura que se quiere.

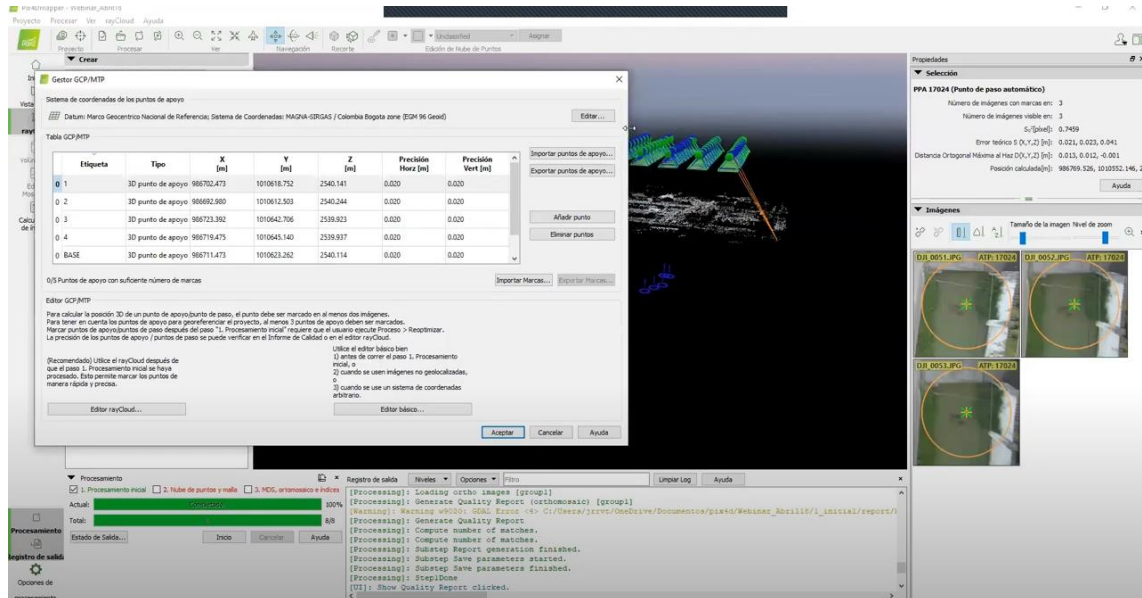


Figura 143. Carga GCP

En este caso se asocian las marcar a los puntos de control colocados.

- Modo 2 D

Como los puntos GPC han sido seleccionados en tierra por los realizadores del proyecto, saben dónde se encuentran. De esta manera manual, se selección los puntos en 3 imágenes o más.

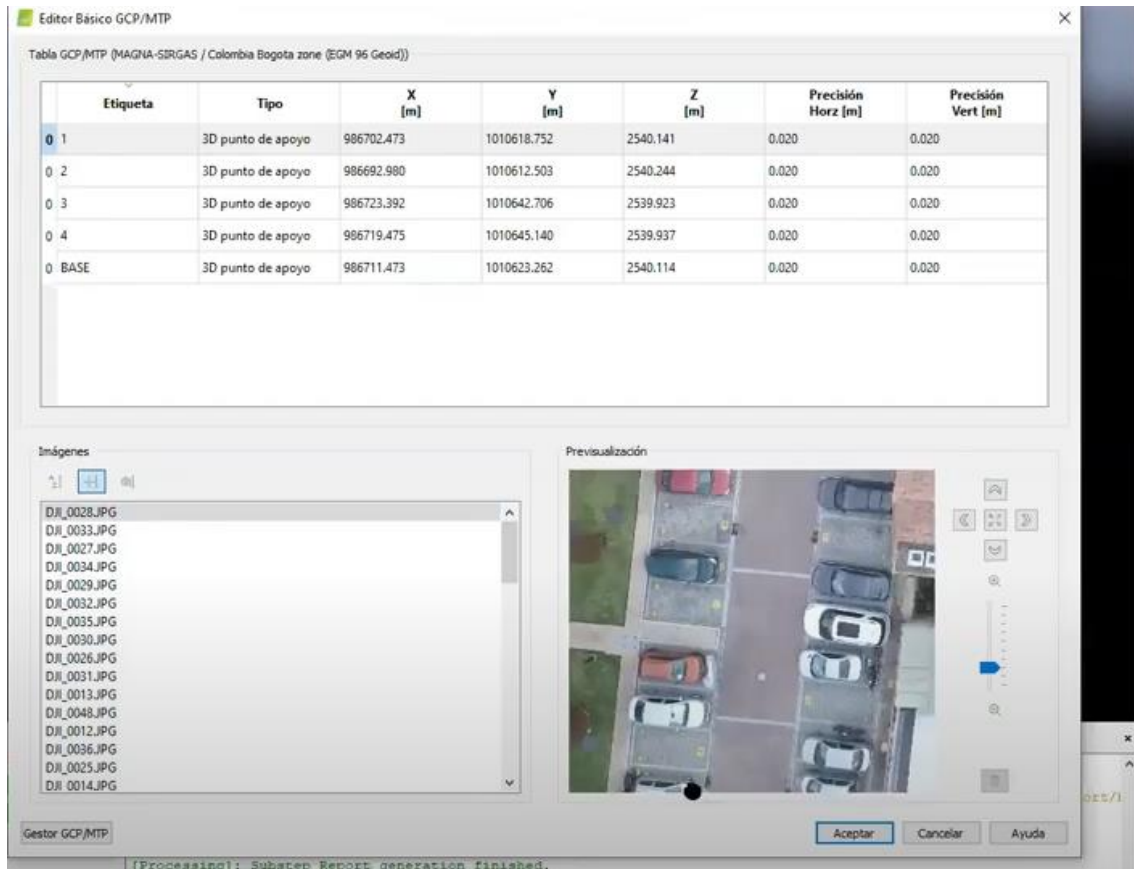


Figura 144. Selección punto 1.

Se selecciona el punto a referenciar y se selecciona a su vez, una de las imágenes donde se sabe que se encuentra la ubicación de ese punto.

Se repite el proceso en mínimo tres fotos diferentes.

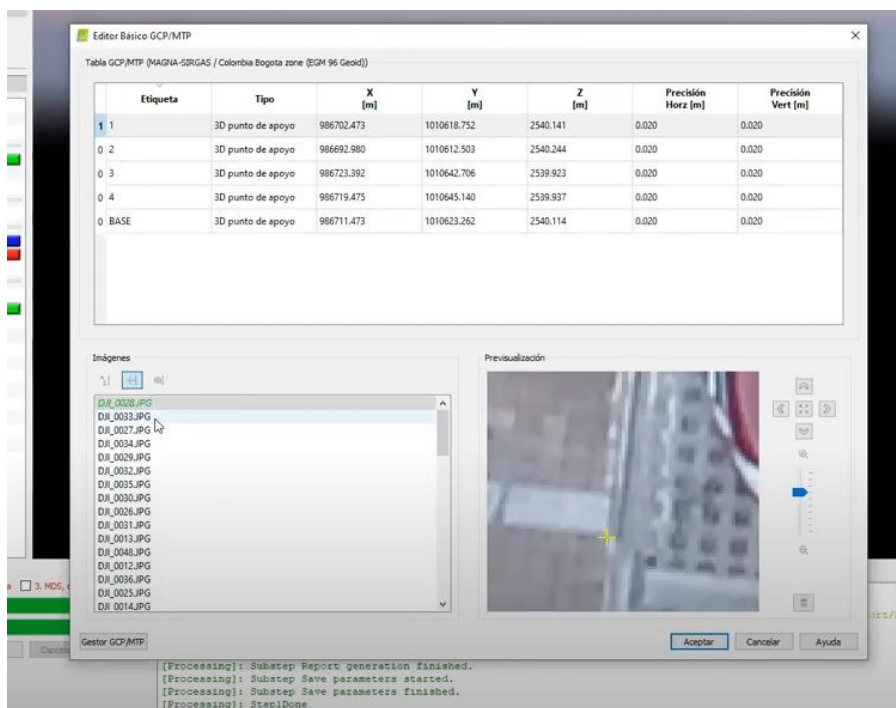


Figura 145. selección punto 1. Ubicación en foto.

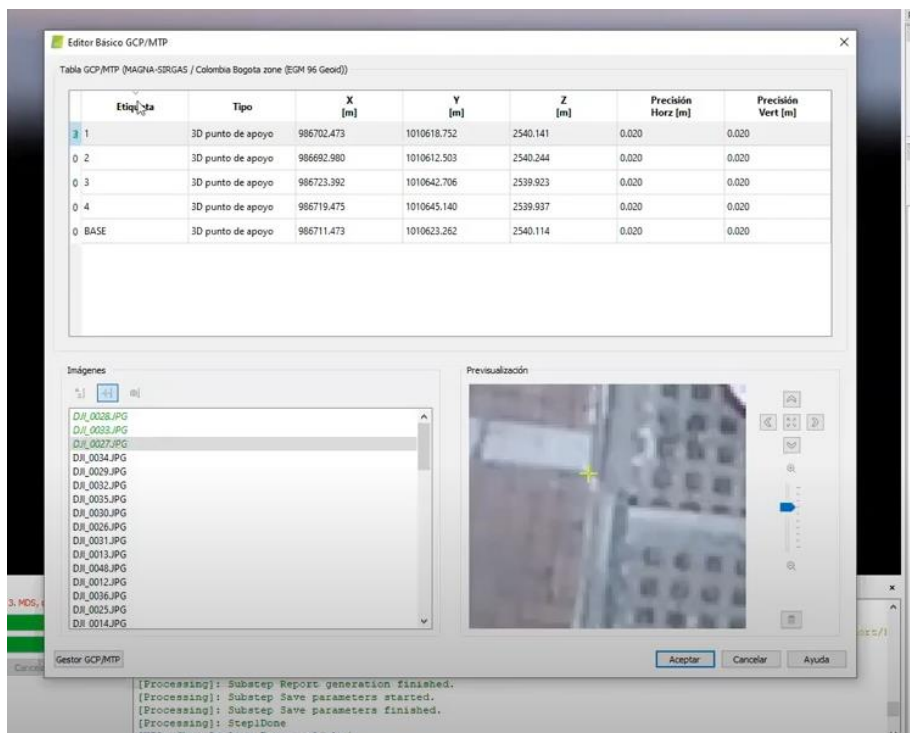


Figura 146. Selección punto 1. Ubicación en 3fotos.

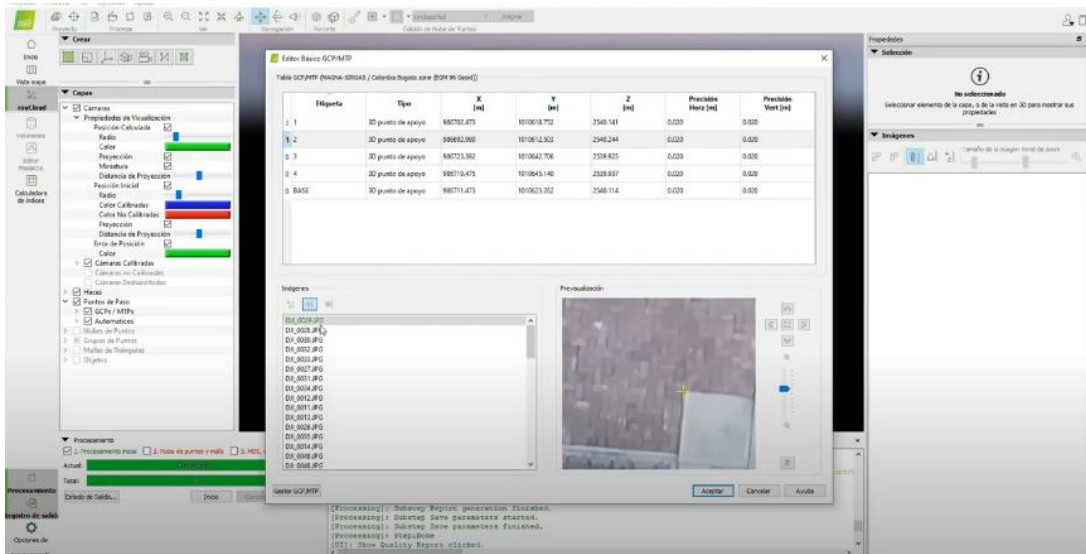


Figura 147. Selección punto 2. Ubicación en foto.

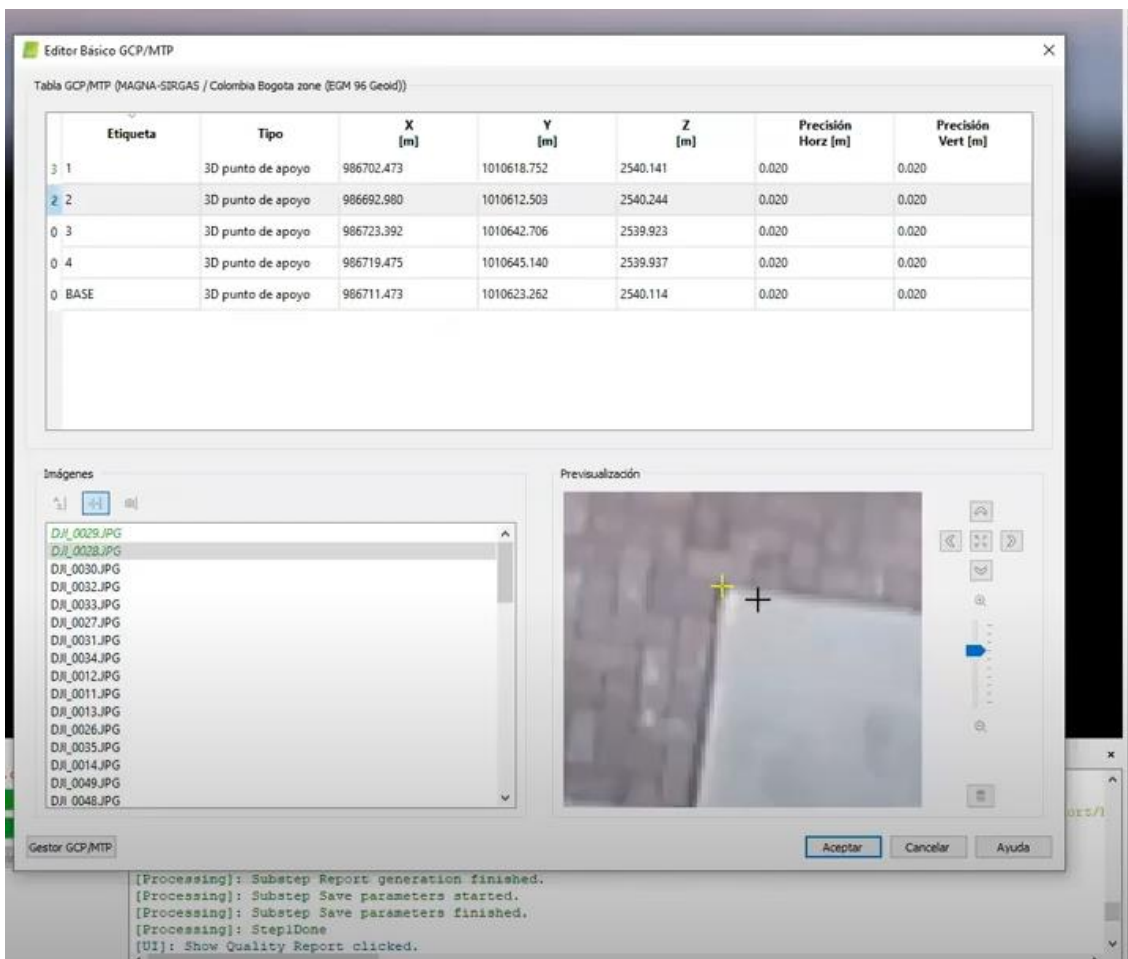


Figura 148. Selección punto 2. Ubicación en 2 fotos.

Se realiza con 3 puntos.

El último punto necesario se realiza mediante la opción 3D

- En 3D

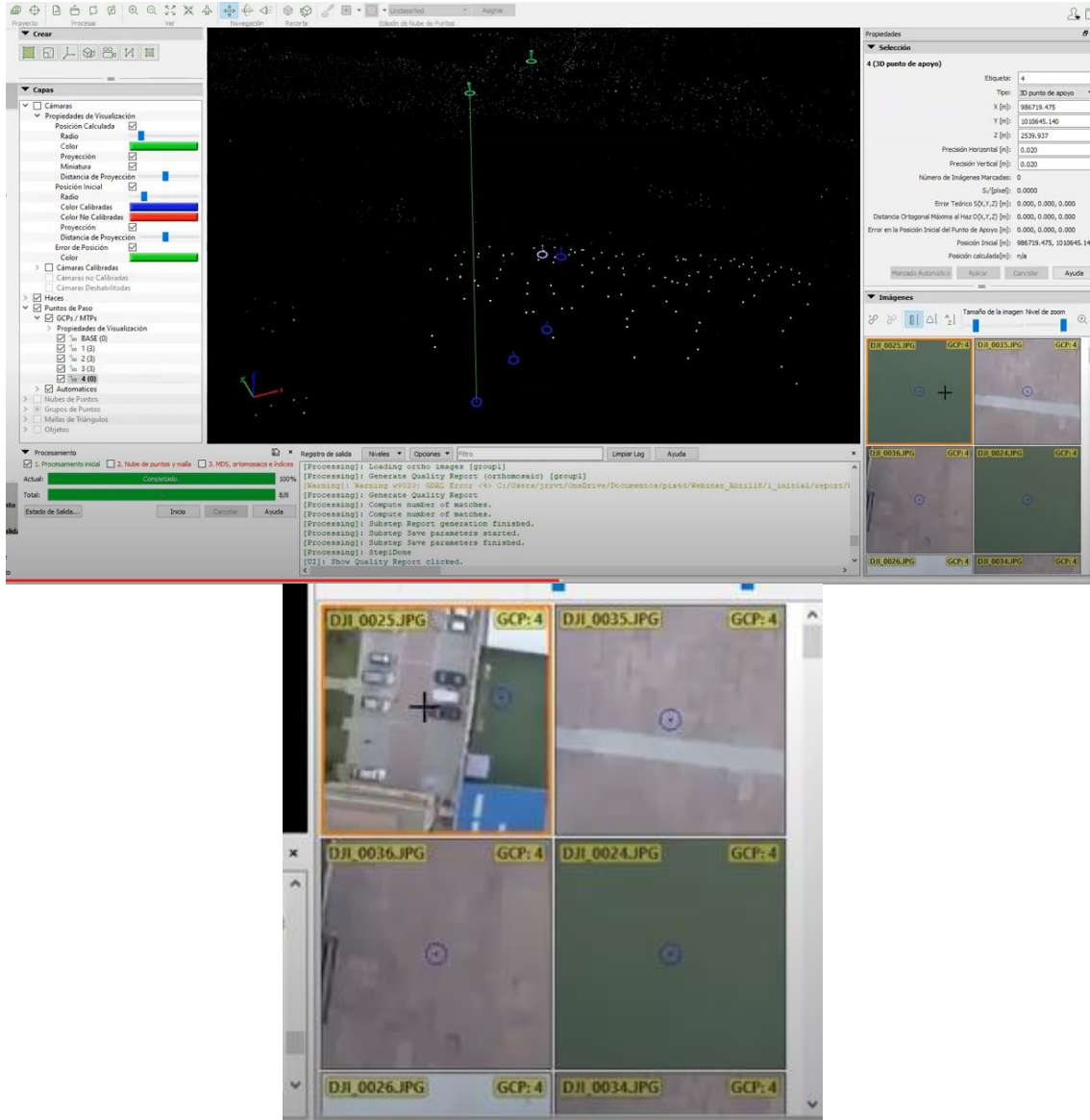


Figura 149. Selección punto 4. Imágenes Modo 3D

1. Clic en el punto que quieres marcar
2. Luego en pantalla inicial en imagen en modo 3D seleccionar lugar. Seleccionar en 2 imágenes.
3. Aplicar

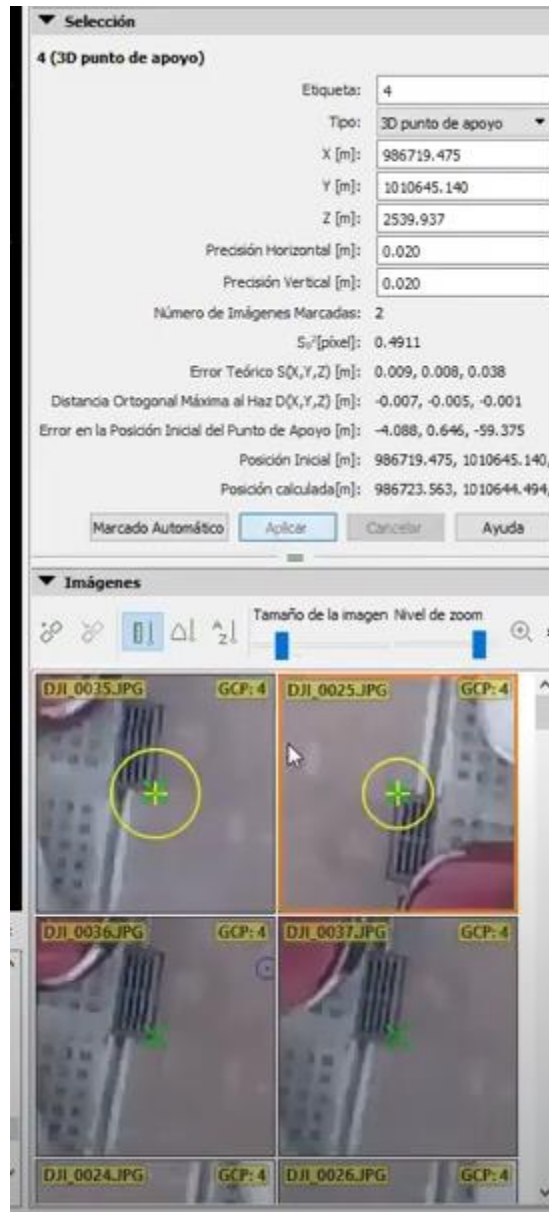


Figura 150. selección punto 4. Selección en 2 imágenes.

Y los pone en el resto automáticamente. Se debe realizar una revisión manual después de aplicar este método para poder corregir los errores que se den en la colocación.

El último punto se usa como punto de paso para que en el reporte final nos salgan estadísticas de control.

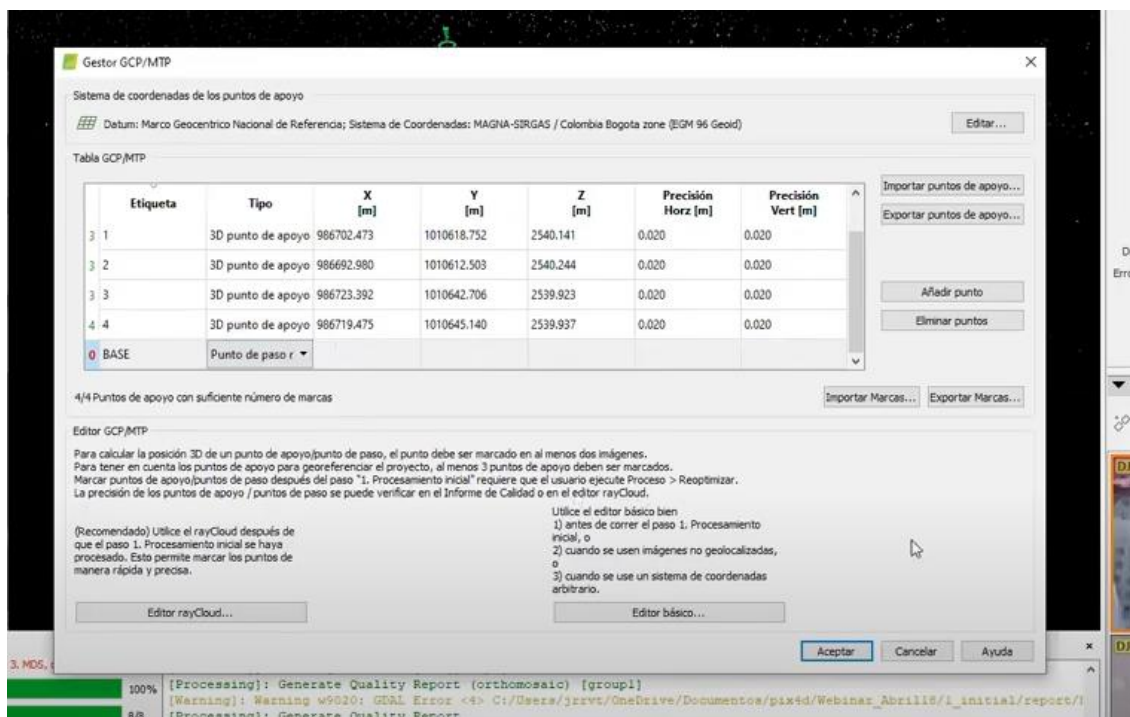


Figura 151.selección punto 5. Base (check point).

#### 4. Reoptimizar y reemparejar

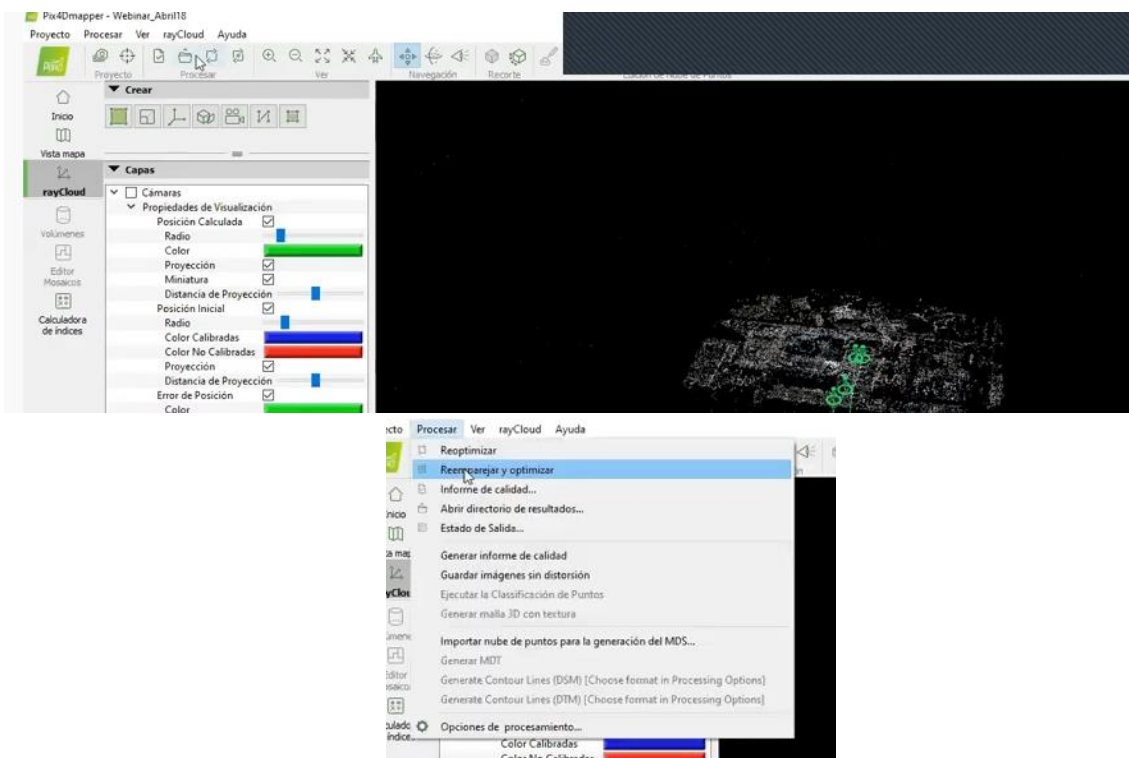


Figura 152.reoptimizar y reemparejar

Con este paso quedan en la posición real absoluta, reprocesa otra los procesos anteriores con los nuevos datos.





Summary		
Project	Webinar_Abril18	
Processed	2020-04-18 11:37:42	
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)	
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.53 cm / 0.60 in	
Area Covered	0.026 km <sup>2</sup> / 2.5588 ha / 0.01 sq. mi. / 6.3261 acres	

Quality Check		
Images	median of 5199 keypoints per image	✓
Dataset	60 out of 60 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	1.07% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 2498.56 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 4 GCPs (4 3D), mean RMS error = 0.016 m	✓

Figura 153. reporte nuevo 1

Si los puntos de control fueran en coordenadas erróneas, este error fotogramétrico (georeferencing) que es un proceso completamente independiente, llamado proceso de Aerotriangulación que genera un proceso estadístico que genera una correlación del modelo como de los puntos que se están involucrando. El obliga a "ir" o cuadrarse con los puntos de control pero con errores y distorsiones.

Grado de precisión

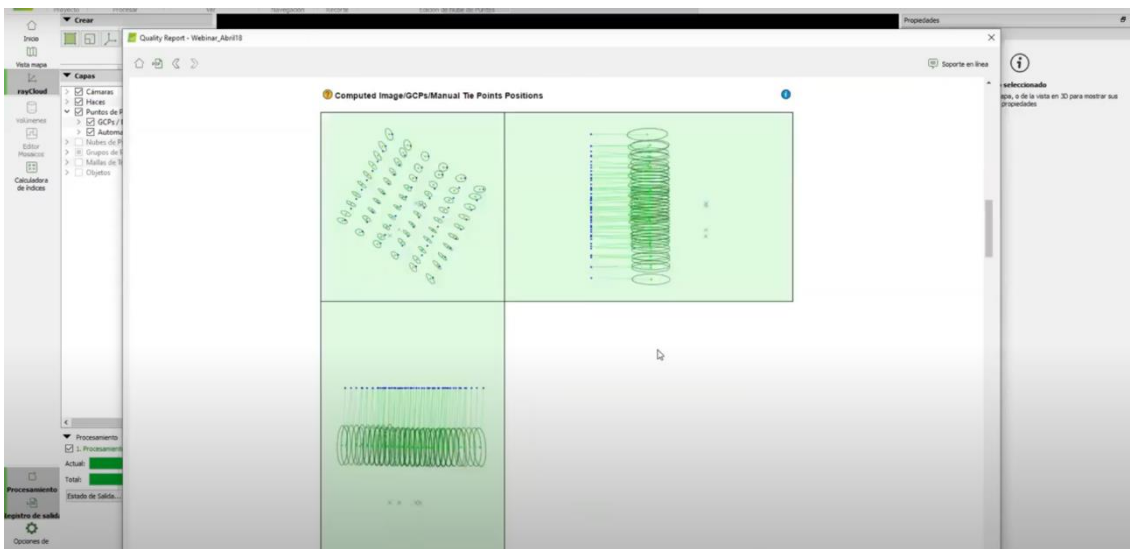


Figura 154. reporte nuevo 2

Ya está en altura respecto a un modelo geoidal. Como se puede ver en Figura 154: reporte nuevo 2

**Absolute camera position and orientation uncertainties**

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.042	0.035	0.194	0.027	0.048	0.004
Sigma	0.007	0.008	0.003	0.009	0.005	0.001

**Overlap**

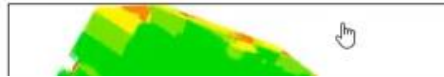


Figura 155. reporte nuevo 3

**Geolocation Details**

**Ground Control Points**

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.016	-0.000	0.020	0.514	3 / 3
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.020	-0.003	-0.060	0.479	3 / 3
3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	0.009	-0.019	0.272	3 / 3
4 (3D)	0.020/ 0.020	0.009	-0.010	-0.015	0.880	4 / 4
Mean [m]		0.002932	-0.000956	-0.018334		
Sigma [m]		0.013421	0.006560	0.028509		
RMS Error [m]		0.013737	0.006630	0.033895		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Figura 156. reporte nuevo 4

Como se puede ver en los cálculos de los errores, al ser tan pequeños, nos dicen que los puntos de control están bien ubicados.

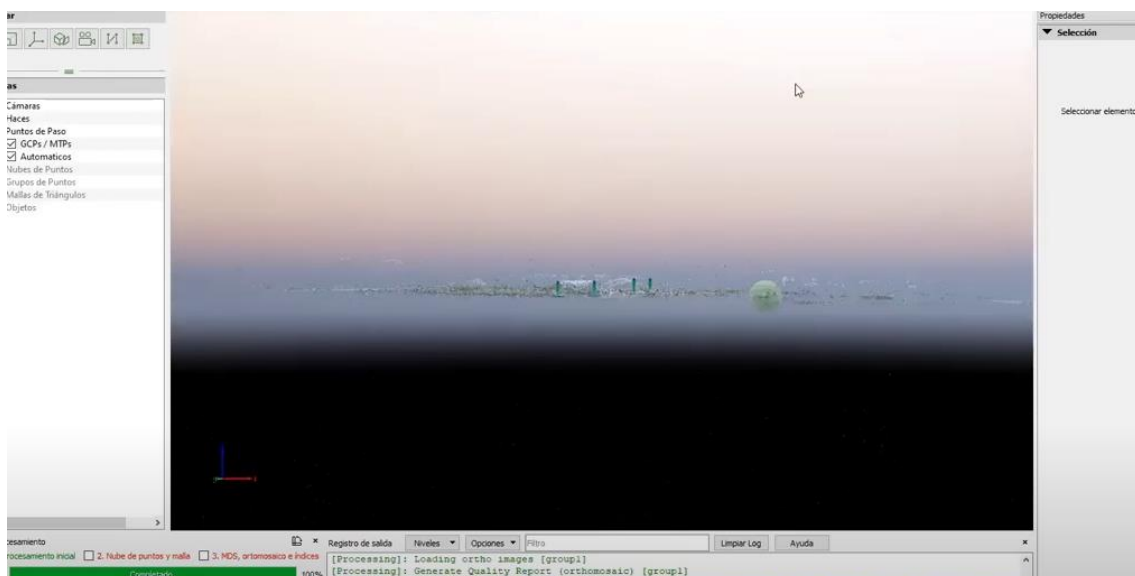
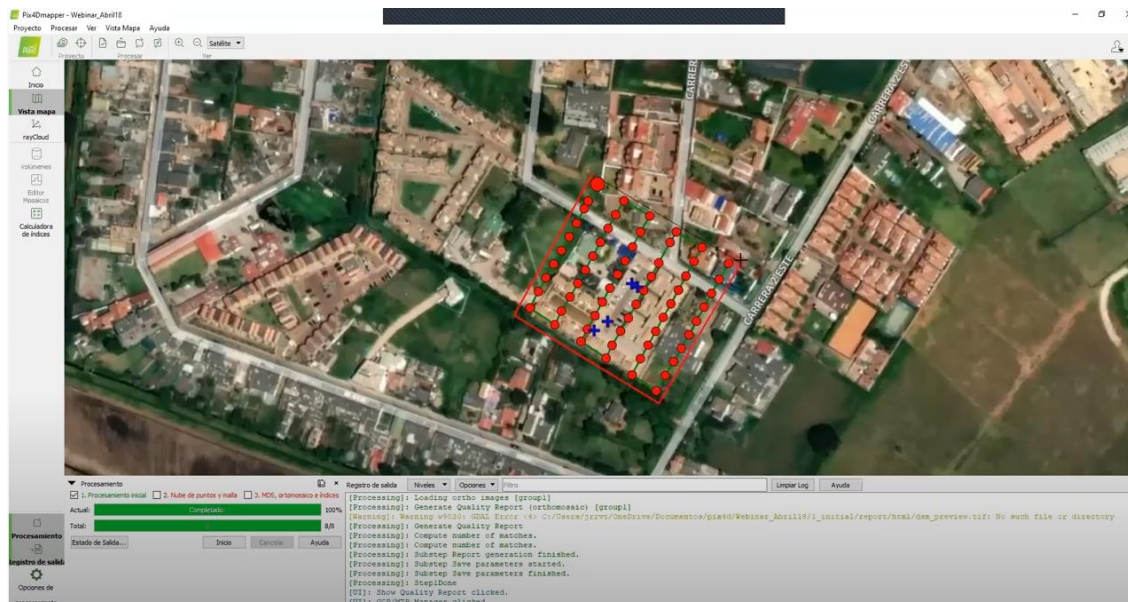


Figura 157. nuevo de puntos en altura correcta

## Paso 2:

Dibujamos el área de levantamiento donde sabemos que va a estar nuestro trabajo debido a los traslajos y la distancia focal de la cámara.



**Figura 158. Seleccionar área de procesamiento**

Después de seleccionar el área de trabajo, podemos comenzar a trabajar con la nube de puntos.

1. Seleccione el paso de procesamiento 2. Nube de puntos y malla.
2. Seleccione la pestaña Nube de puntos.
3. En la sección *Clasificación de nube de puntos*, seleccione la casilla Clasificar nube de puntos.

Si no se selecciona esta casilla, la nube de puntos no se clasificaría.

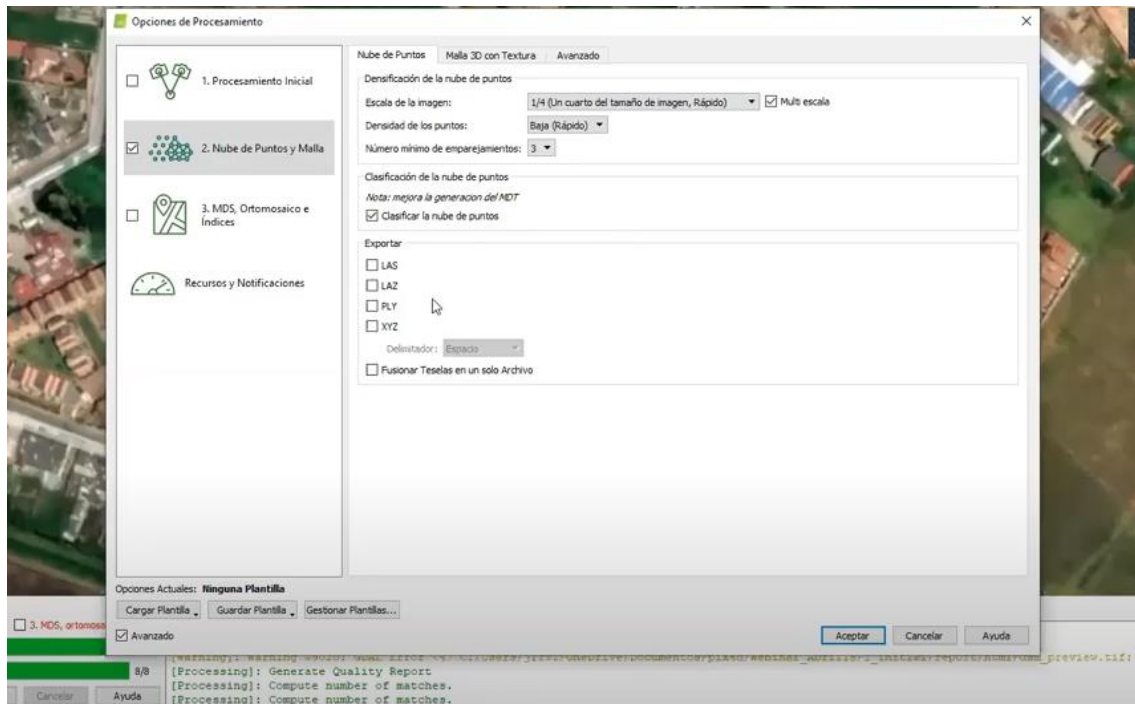


Figura 159. Selección clasificación nube de puntos

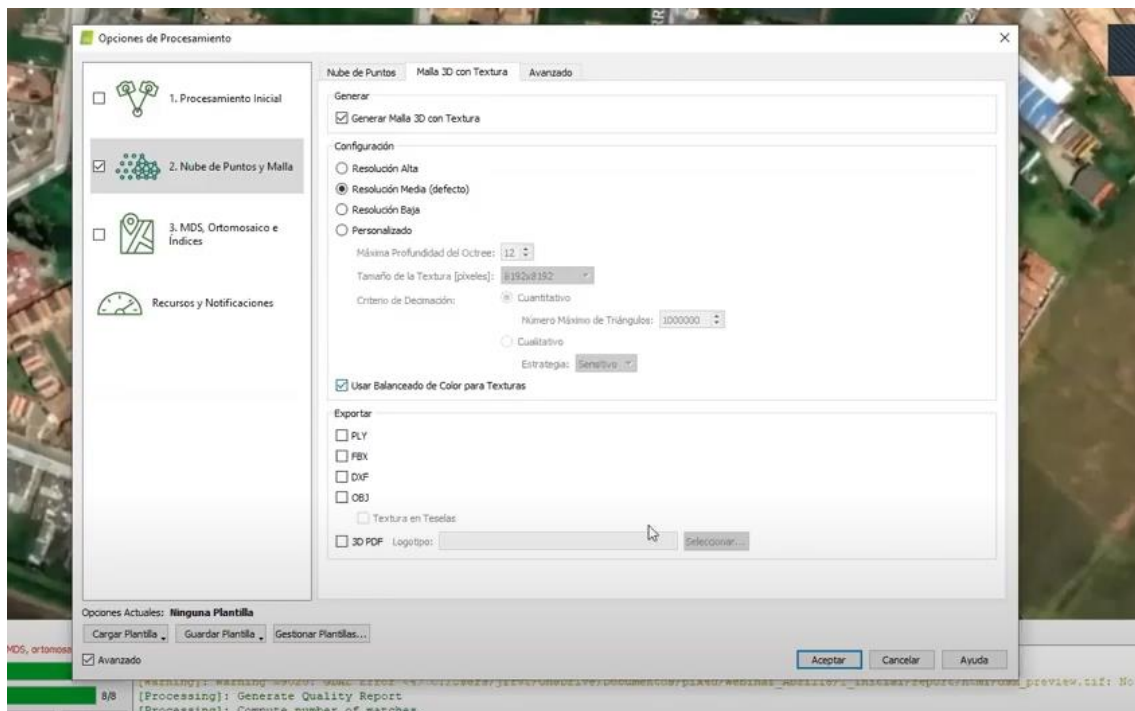


Figura 160. Selección resolución de la salida de malla.

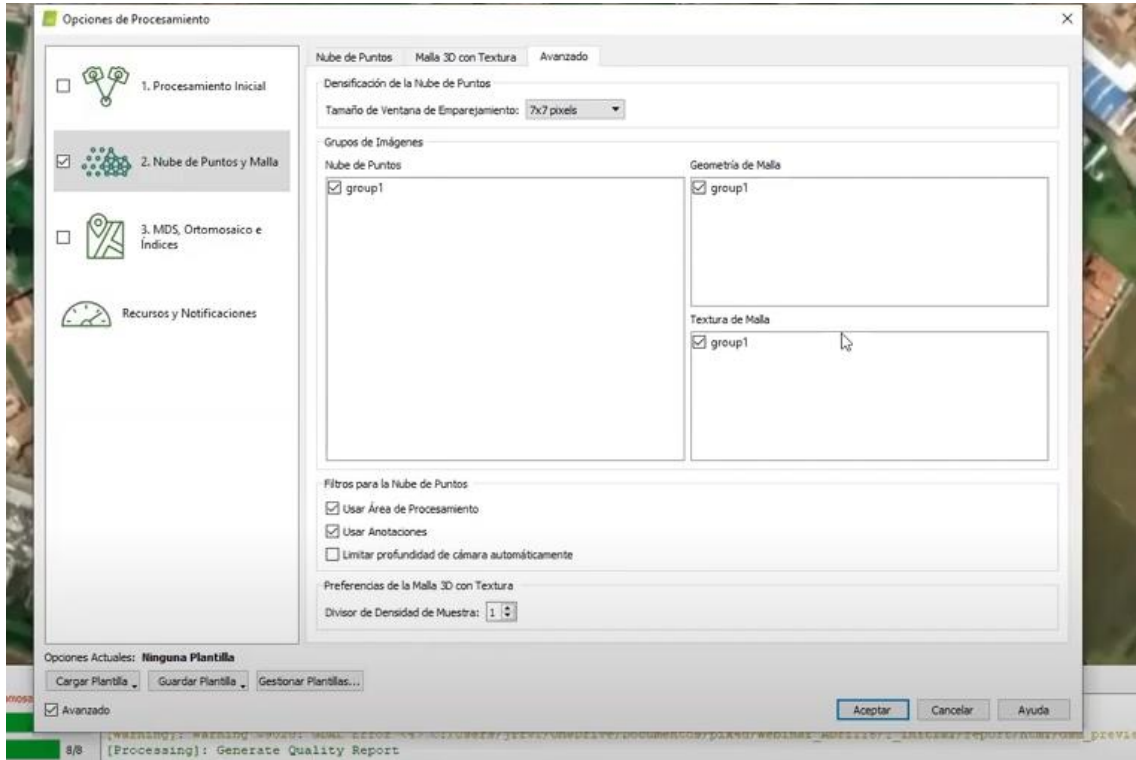


Figura 161. Opciones avanzadas del paso 2

Procedemos a aceptar y en este caso, se realizan 9 subprocesos.

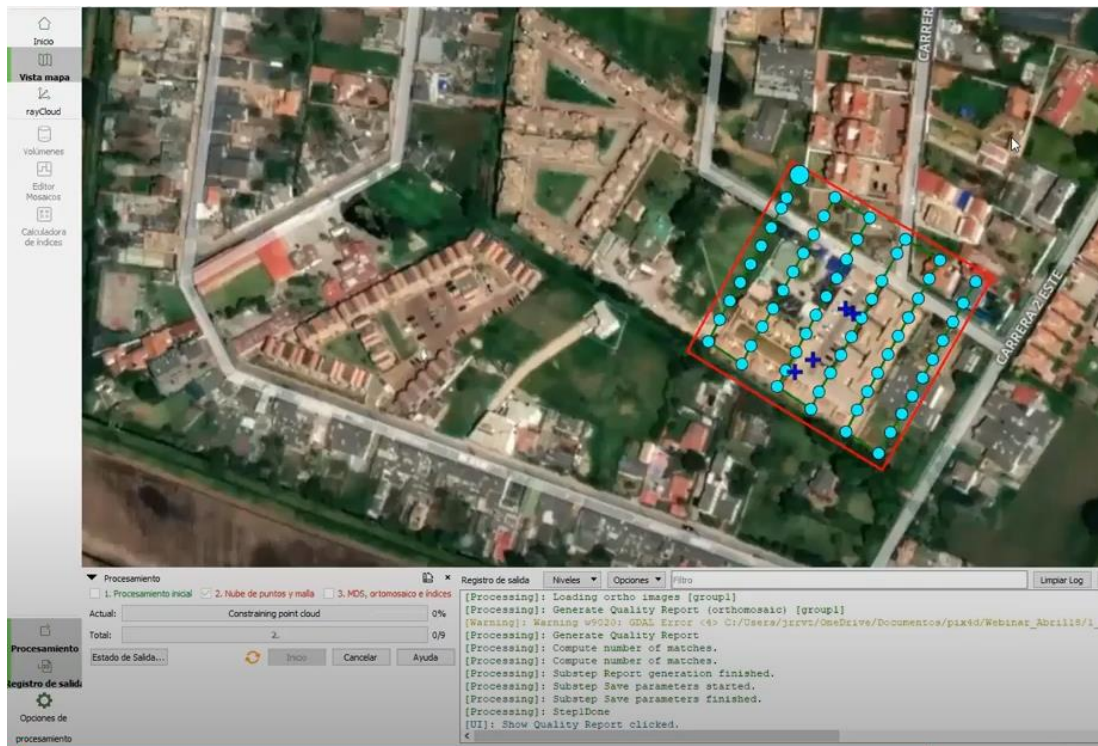


Figura 162. Paso 2. Realización nube de puntos densificada

Después de la finalización de los 9 subprocesos, se crea un reporte.

### Point Cloud Densification details

#### Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/4 (Quarter image size, Fast)
Point Density	Low (Fast)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: yes
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	01m:14s
Time for Point Cloud Classification	08s
Time for 3D Textured Mesh Generation	03m:39s

#### Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	397141
Average Density (per m <sup>2</sup> )	85.67

Figura 163. reporte paso 2

Después del reporte, ya podemos cargar la nube de puntos.

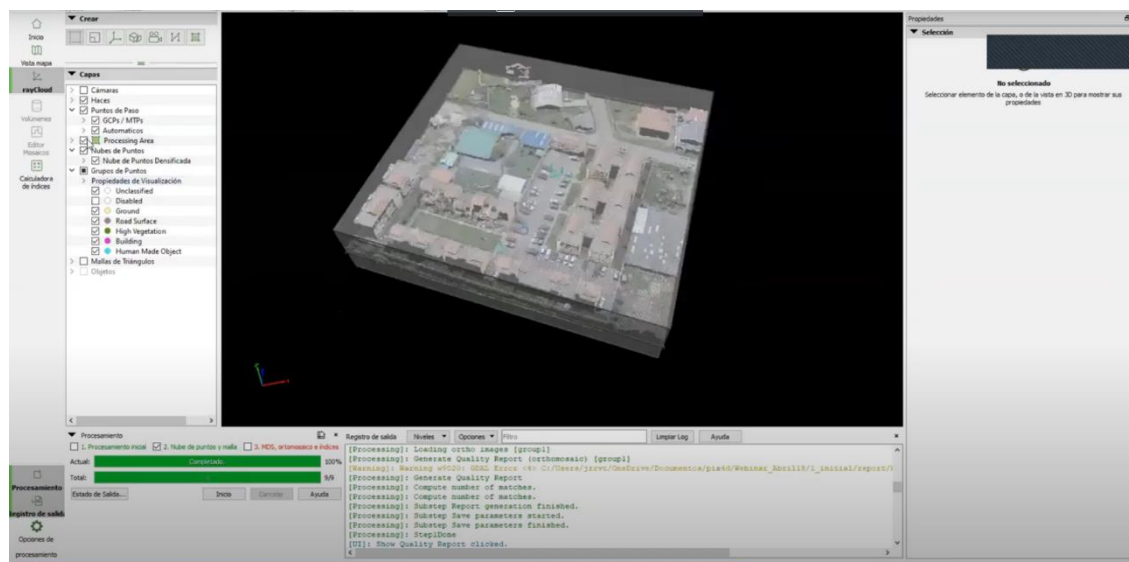


Figura 164. Carga nube de nube.

En el menú izquierdo se pueden activar y desactivar la visualización de esta nube. En este caso vamos a desactivar el área de proceso para tener una buena visión de los grupos de la nube de puntos.

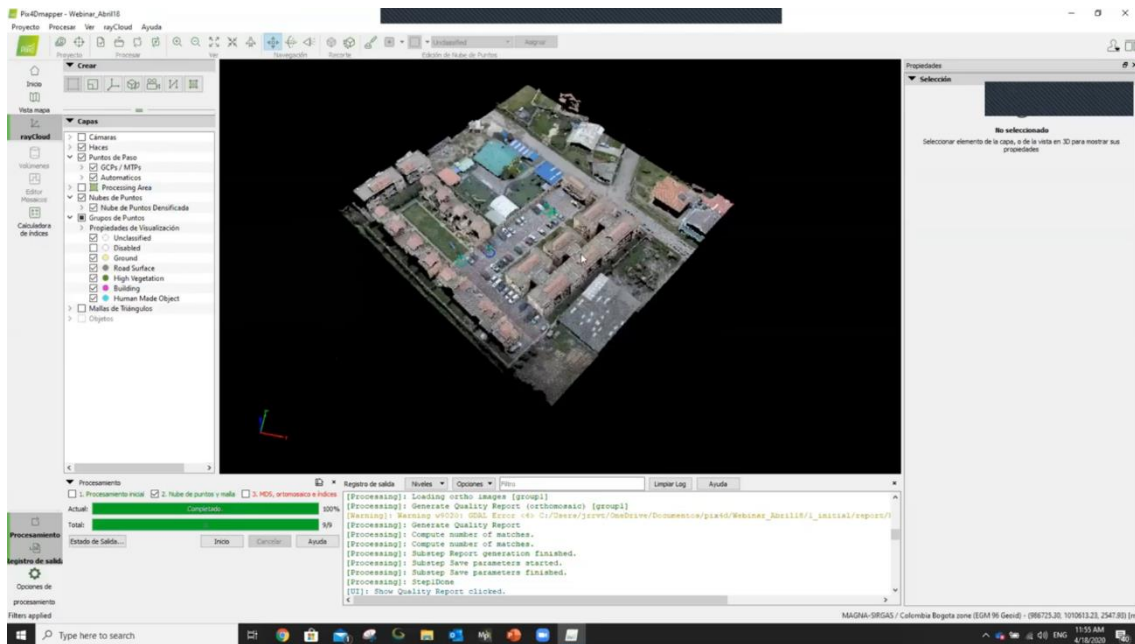


Figura 165. Nube de puntos densificada

Esta nube de puntos está hecha con baja resolución y clasificación automática.  
 Con malla de texturizarían triangular y usa la información de la imágenes asociadas

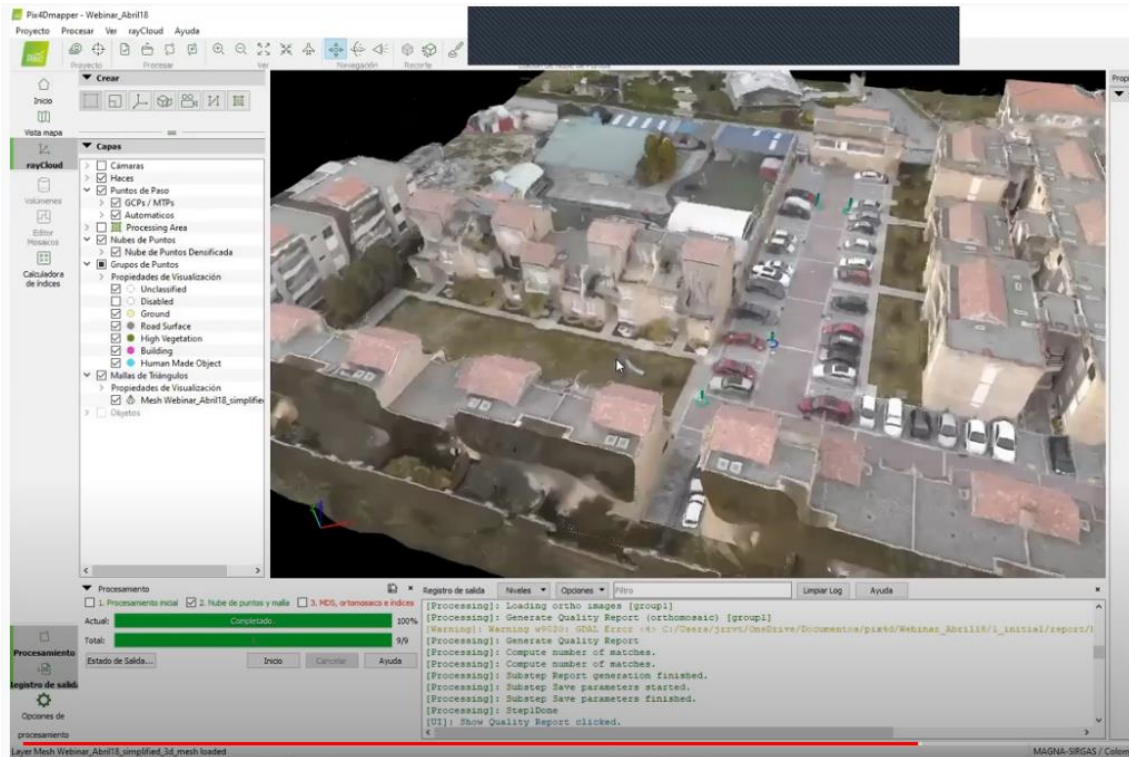


Figura 166.ZOOM Nube de puntos densificada



La texturización depende:

Si es 2D o 3D la malla. En este caso es 2D por eso se ven más distorsiones en los edificios y de la información de las fotografías

Se puede obtener una visualización o clasificación:

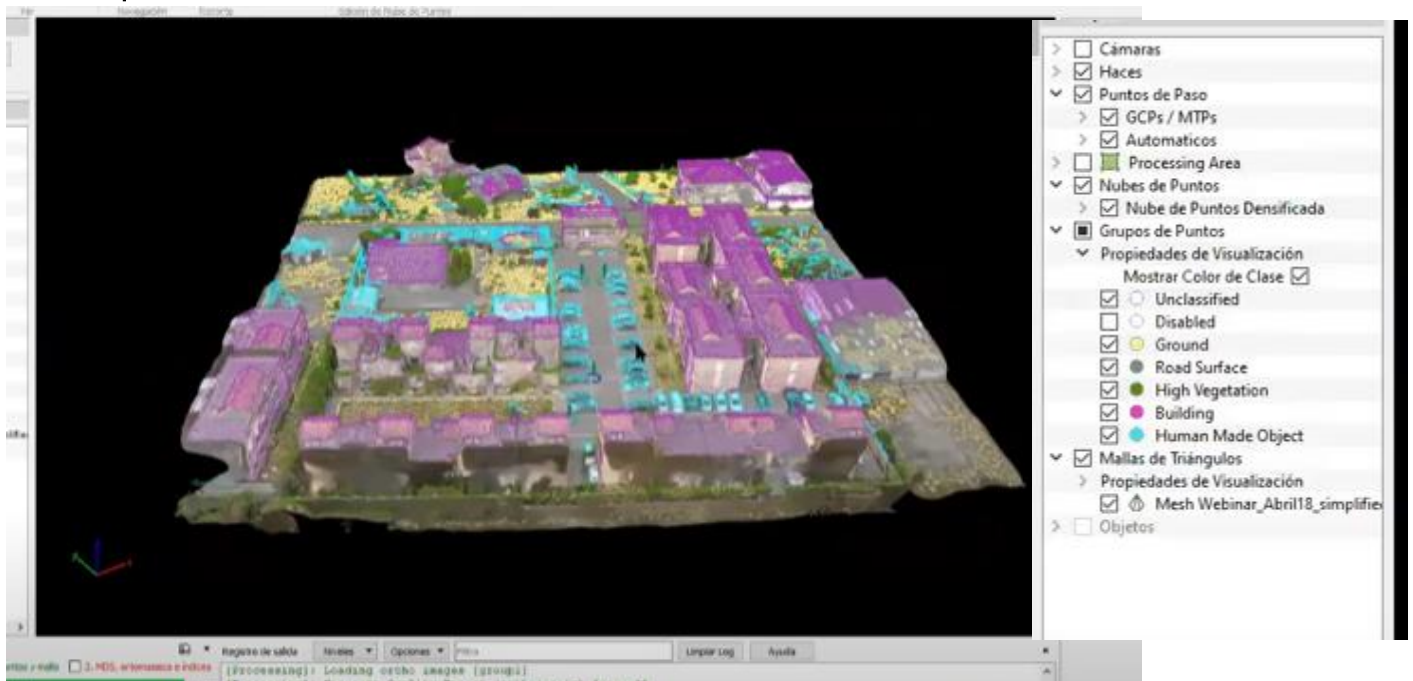


Figura 167. Clasificación elementos por colores.

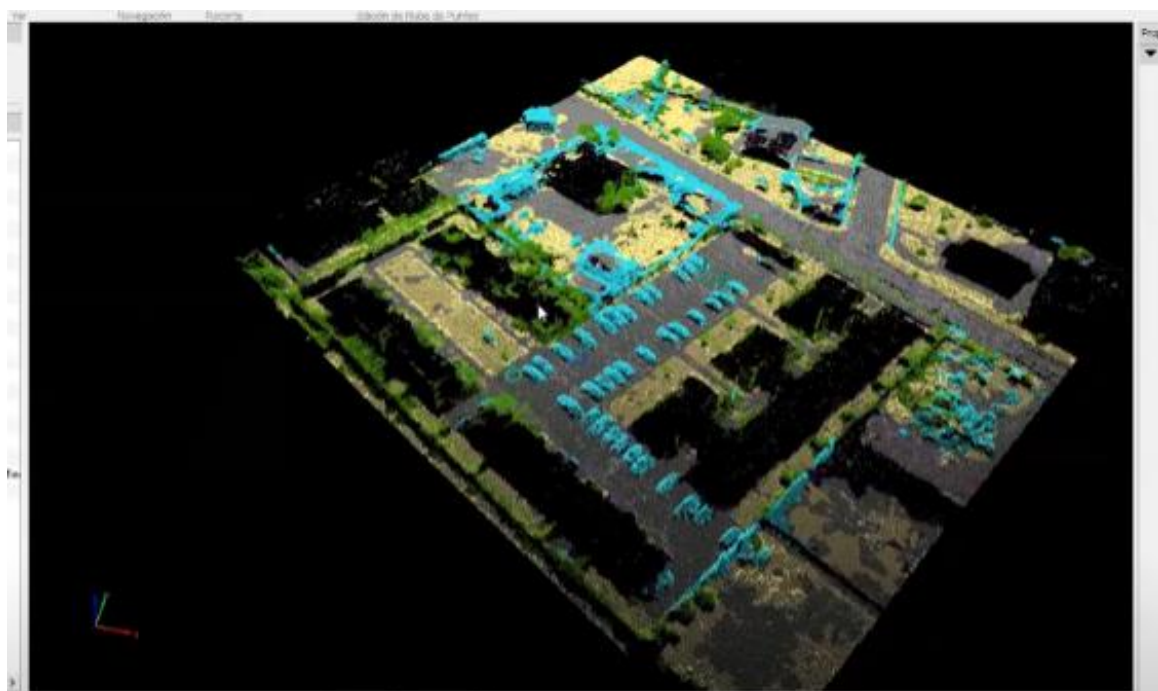


Figura 168. Clasificación sin edificios





Como se pueden ver la clasificación es bastante correcta pero nos encontramos fallos, como terreno clasificado como vías, que en realidad, son techos o terreno natural. Si se hiciera un modelo de curvas DMT, el modelo obtenido sería incorrecto debido a que marcaría terreno, siendo este en realidad techo.

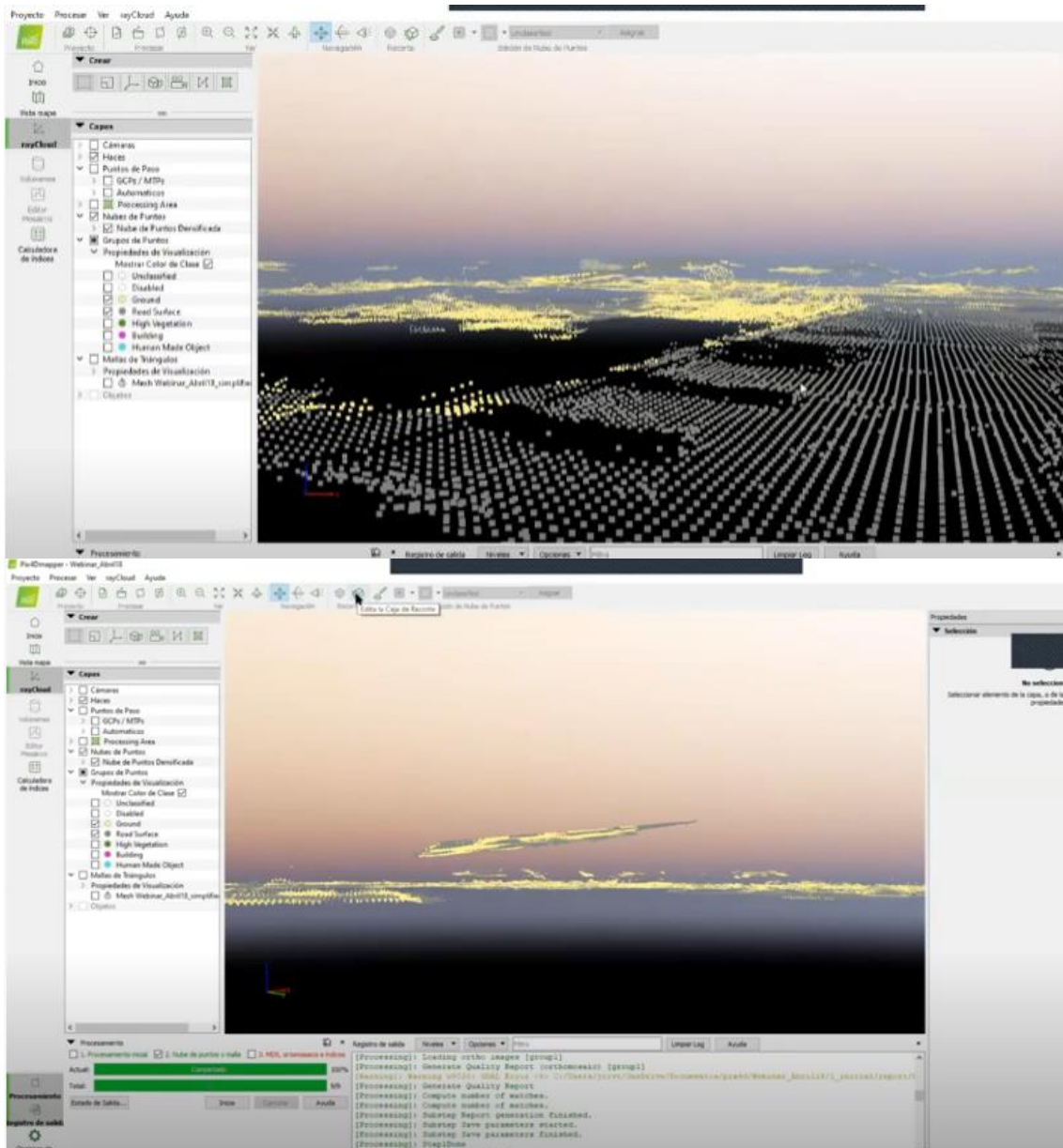


Figura 169. Fallos en clasificación.

Para subsanar ese error se debe hacer edición manual

Para ello se debe añadir una nueva propiedad en donde se clasifiquen estos errores o simplemente deshabilitarlos.

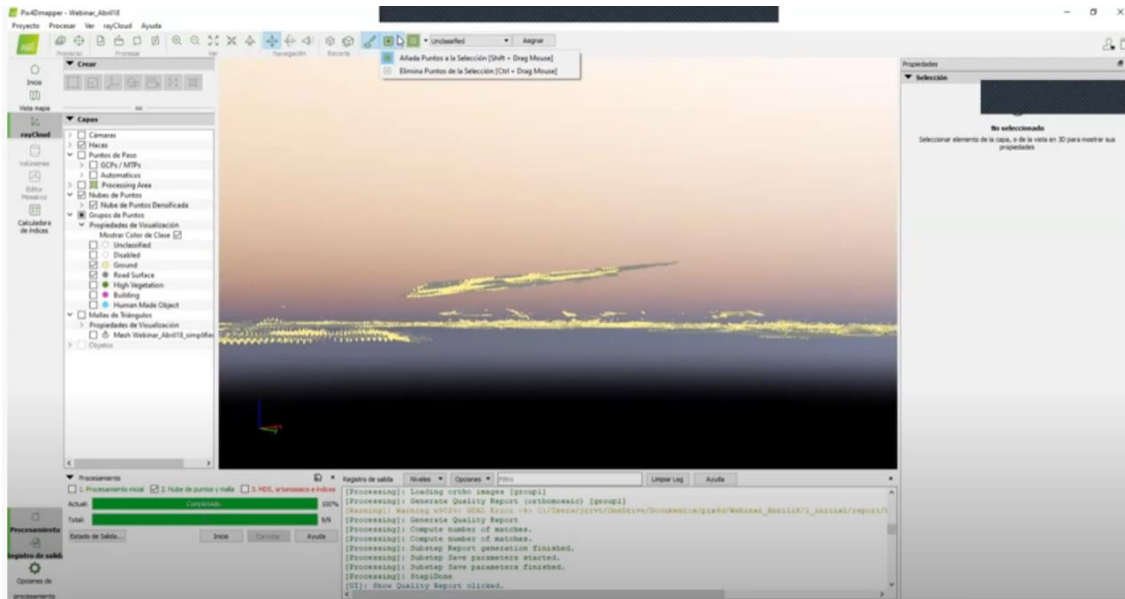


Figura 170. Añadir puntos mal clasificados

Se selecciona con un polígono los puntos a tratar.

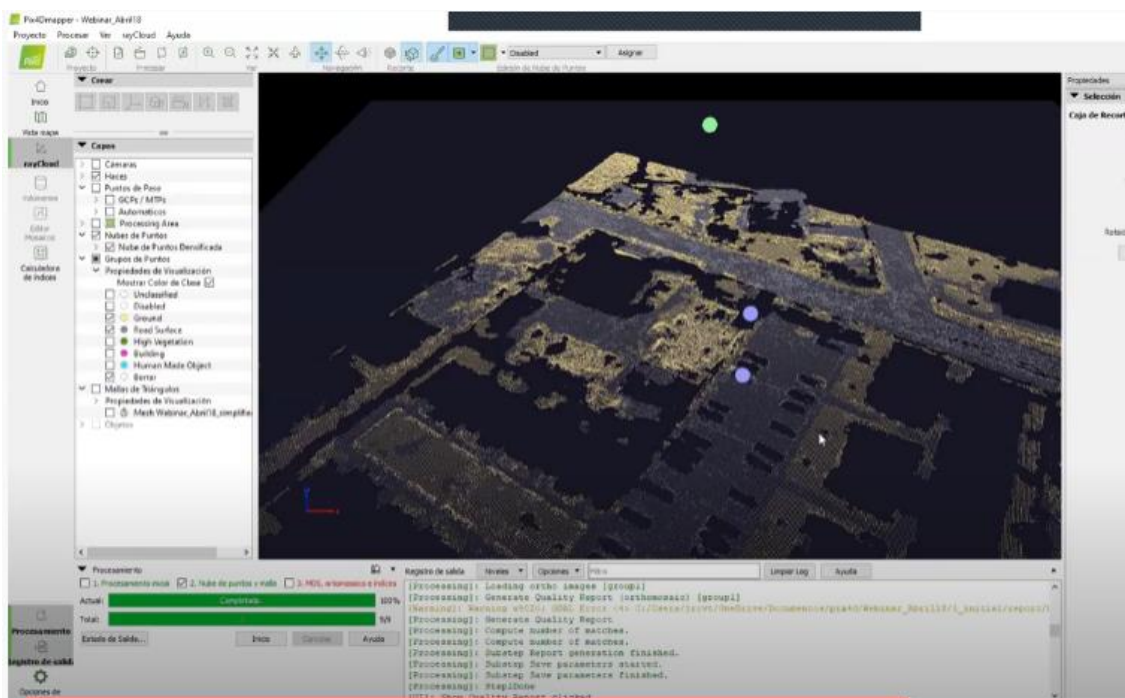


Figura 171. Vista puntos mal clasificados

Se clasifica esos puntos seleccionados en la capa llamada disable (deshabilitar) en este caso cuando se haga el modelo de elevación esos puntos no aparecerán.

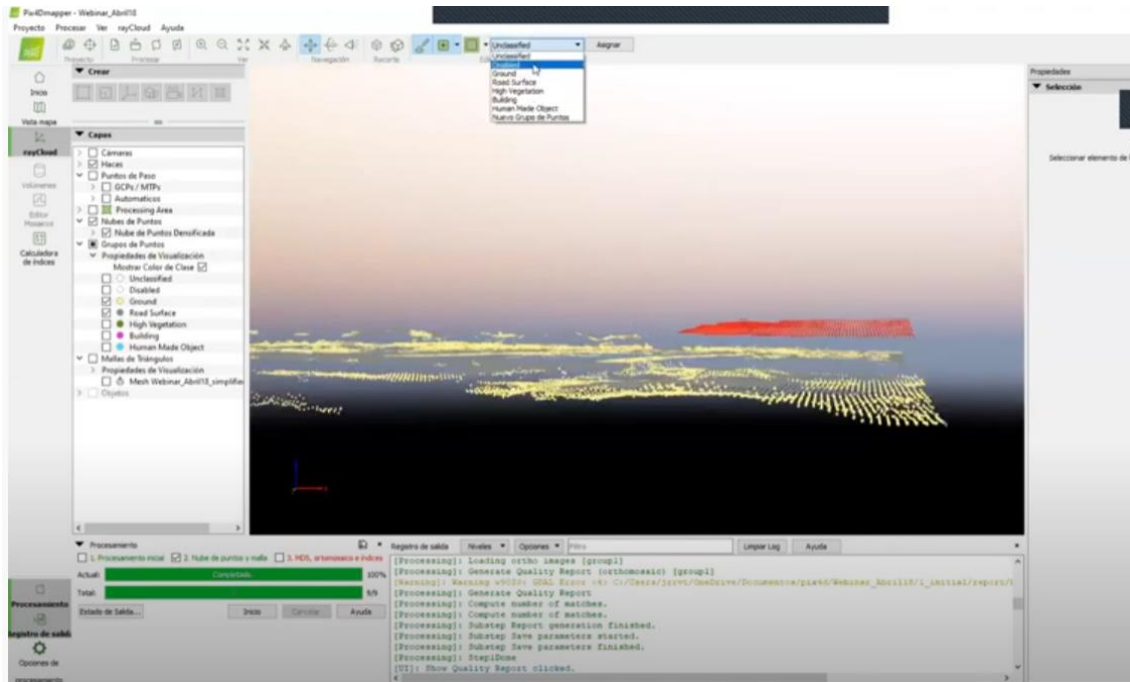


Figura 172. Clasificación puntos con disable

Se genera un CLIP, para poder editar de forma más rápida, todos los techo que han sido marcados por error como terreno.

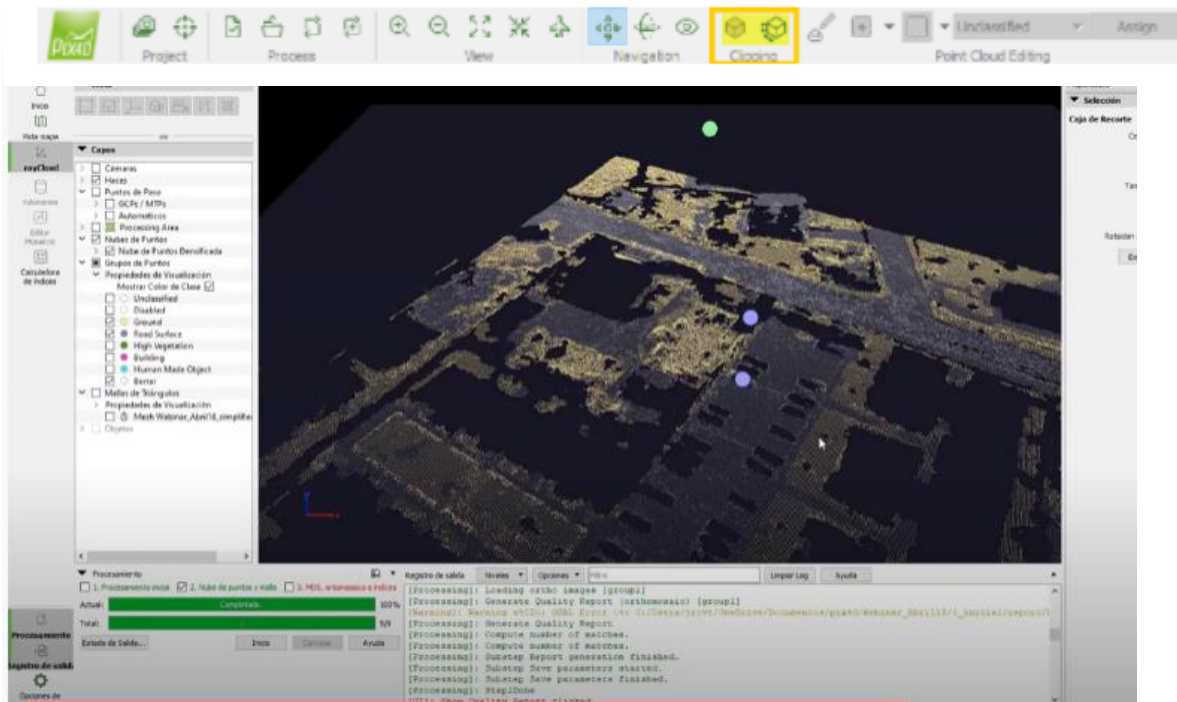


Figura 173. Creación clip

Se selecciona el área a tratar. Solo nos muestra el área que queremos.

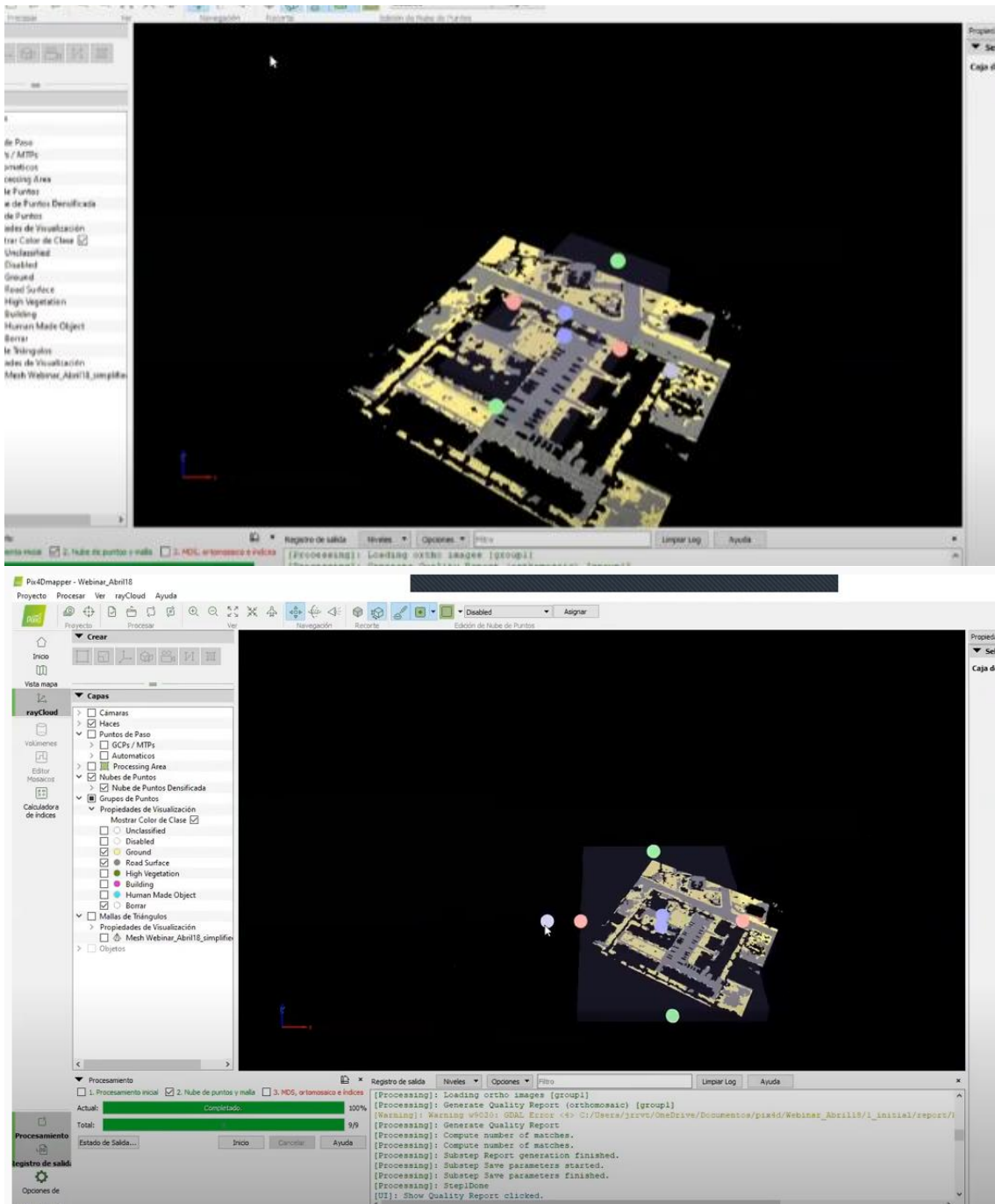


Figura 174. Selección área a tratar

Y como también queremos editar en altura, se selecciona la parte correspondiente.

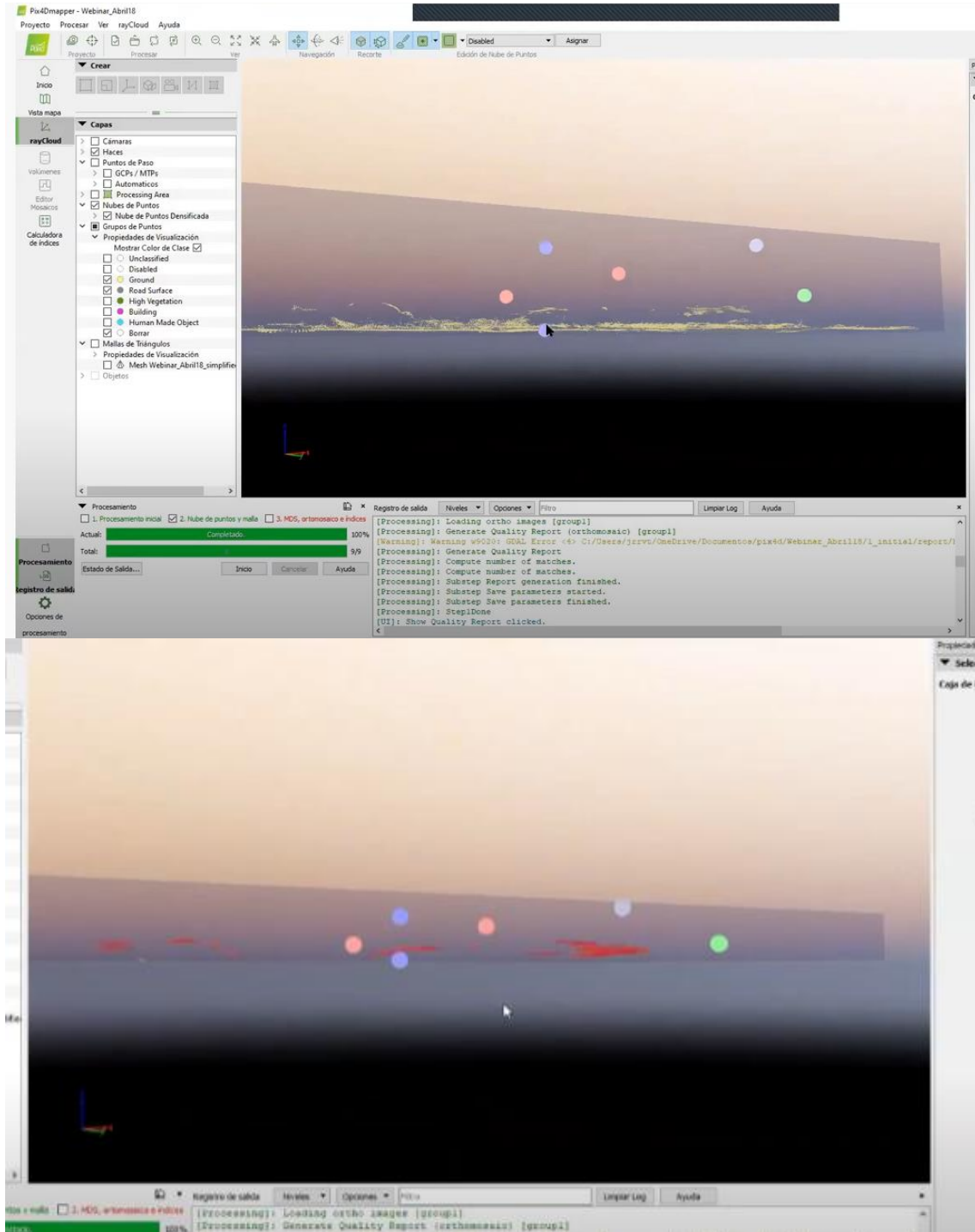


Figura 175. Selección altura a tratar

Y se deshabilitan.

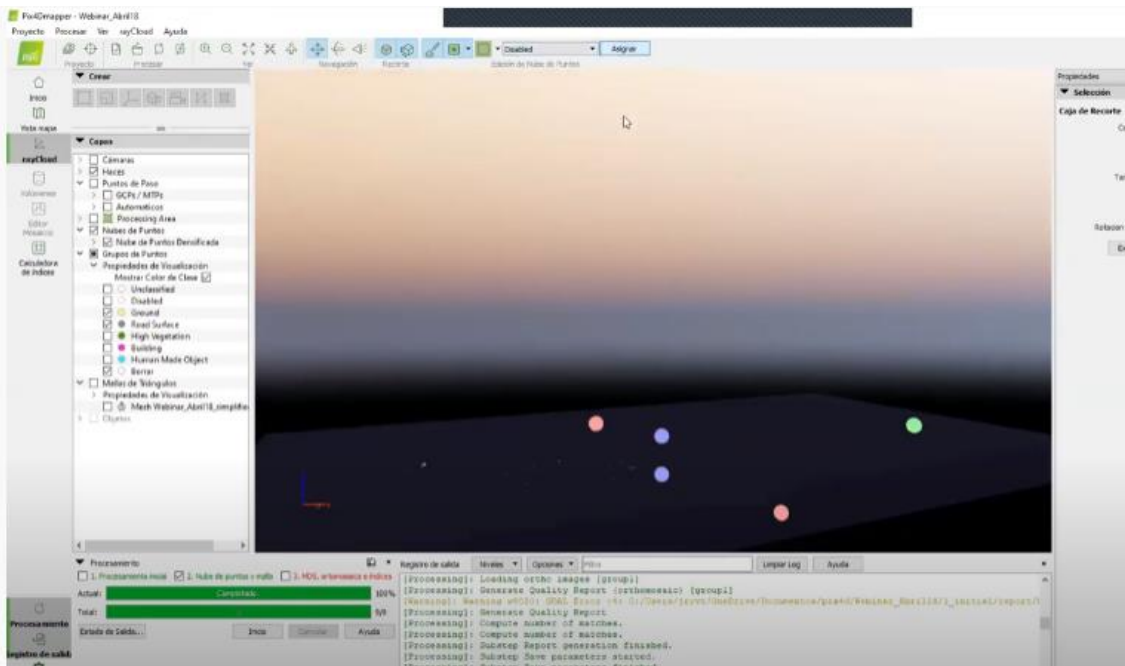


Figura 176. Vista puntos deshabilitados

De esta forma nos quedarían así, como se puede ver, ya no hay techos como si fueran terreno (deshabilitar herramientas de diseño)

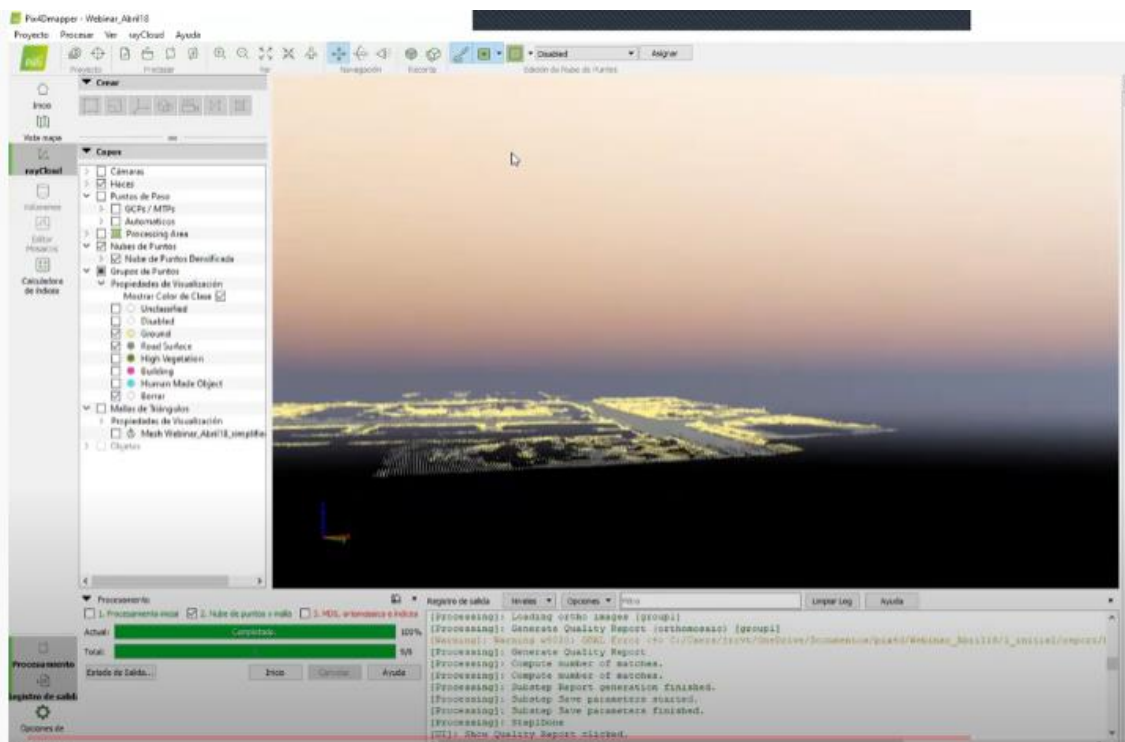


Figura 177. Imagen final a tratar. Vista 1

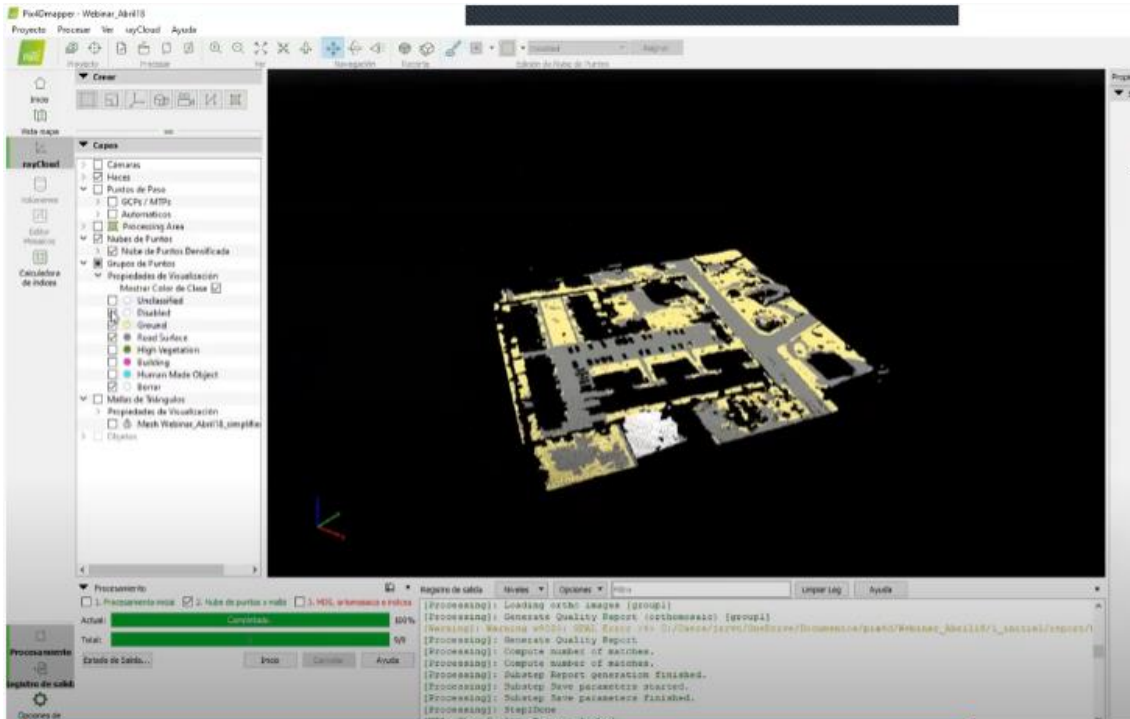


Figura 178. Imagen final a tratar. Vista 1

Paso 3: obtención de resultados finales

Desactivar 2 activar 3. Entrar en opciones de procesamiento

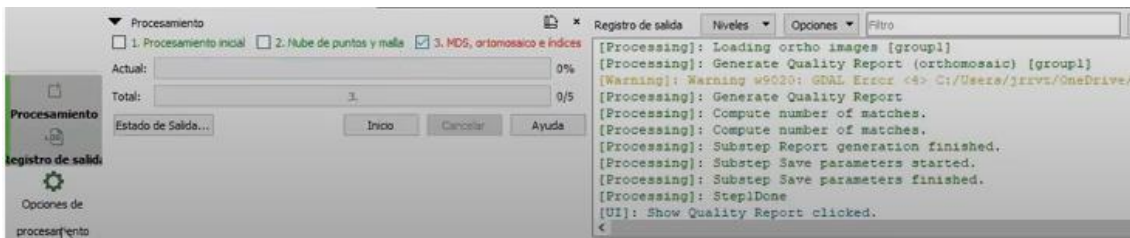


Figura 179. Seleccionar opciones de procesamiento

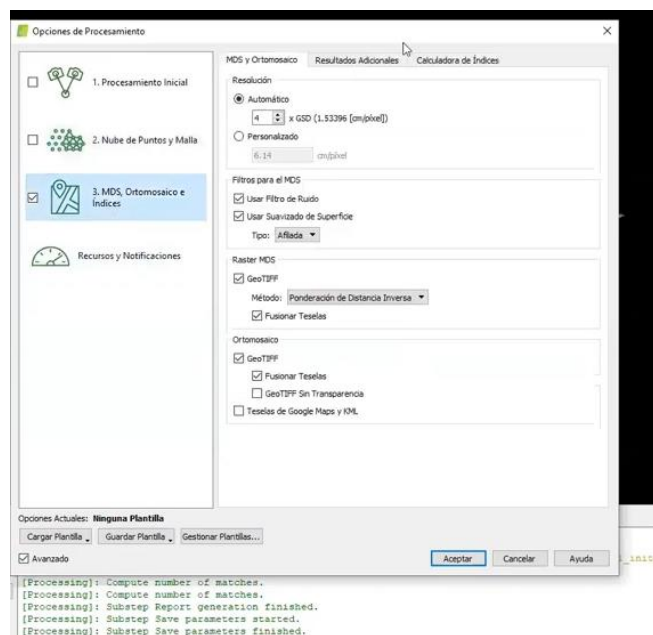


Figura 180.opciones paso 3

- Resolución de salida: 4 veces el GSD = resolución del modelo digital de superficie 6cm.  
 Ponemos 5 para agilizar en este caso malla de 7,67 cm
- Filtro y suavizado es importante activar: tipo afilado por tener elementos ortogonales ángulos de 90 °

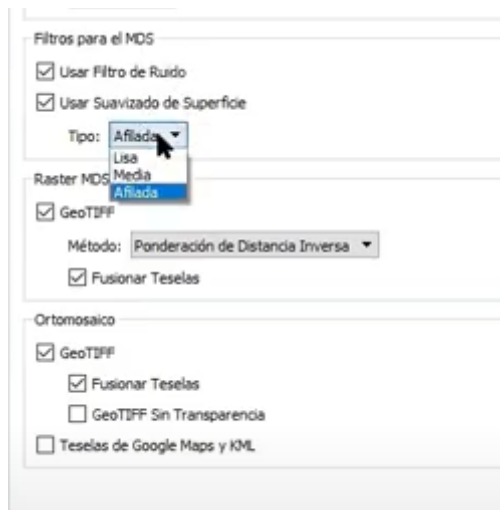


Figura 181.opciones filtros

Lisa: terreno plano

Media: topografía ondulada. Suaviza por la mitad de los puntos





Figura 182.opción raster

Raster activado para que lo genere y lo haga todo en un archivo. Realizamos el mismo con el geotiff.

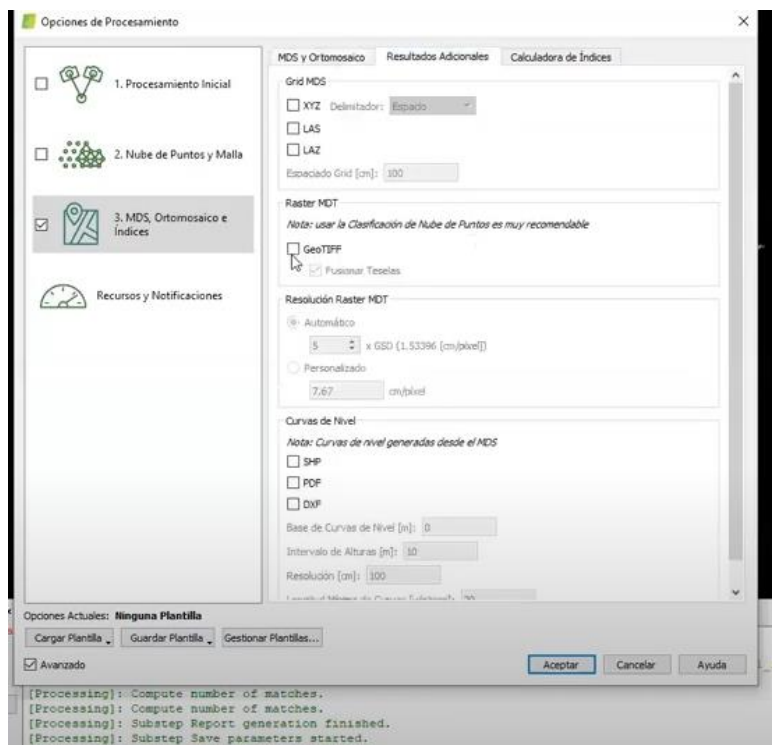


Figura 183.resultados adicionales

Se pueden seleccionar que nos haga los modelos y los procese y muestre desde aquí, pero lo hace de manera automática y no queremos eso, queremos poder controlar lo que nos vaya a mostrar.

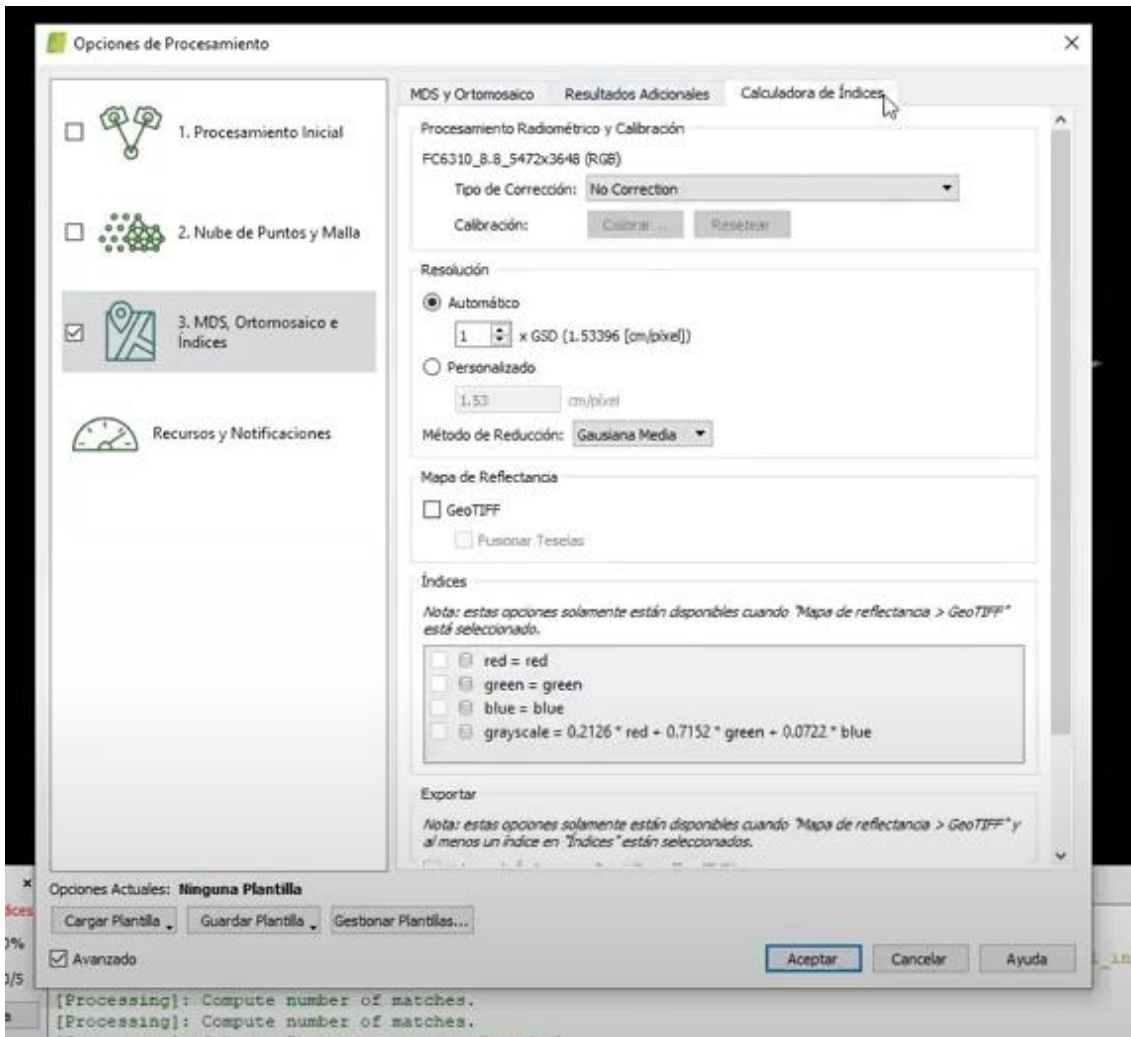


Figura 184. calculadora de índices

Esta parte se usa más con drones multiespectrales y para agricultura. Por lo cual, para este proyecto no nos interesa activar nada más.

Iniciar proceso de MDS, ortomosaico e índices.

Consta de 5 subprocessos diferentes.

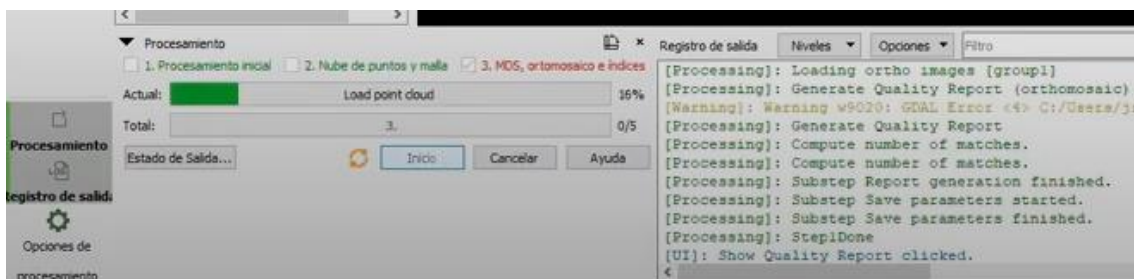


Figura 185. Subprocesos paso 2

## Visualización de la "capa" tipo Ortofotomosaico

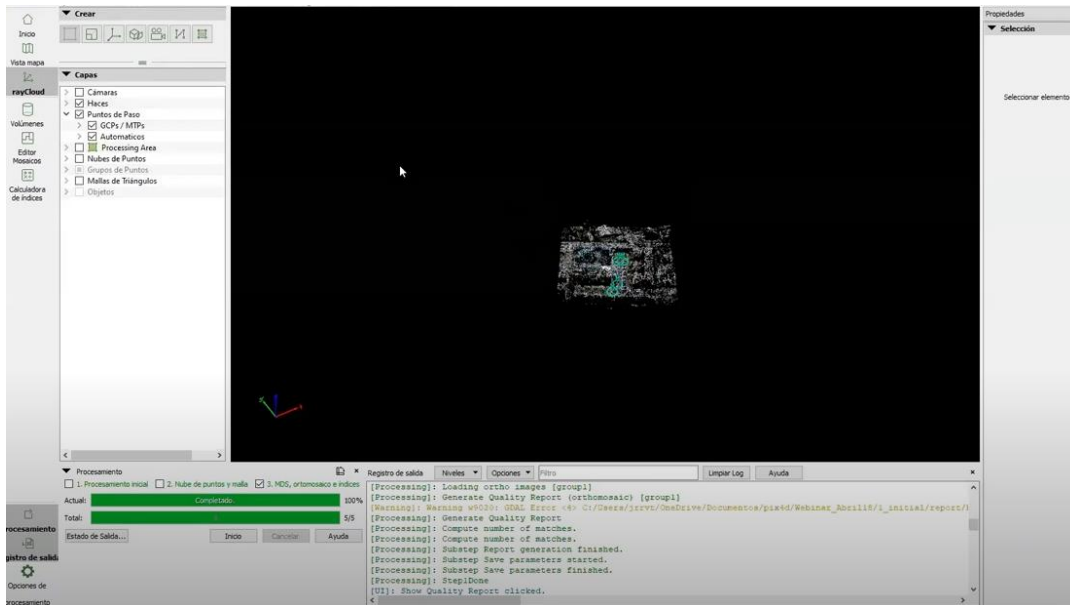


Figura 186.ortomosaico

Editamos ortofoto para darle una mejor imagen o vista.

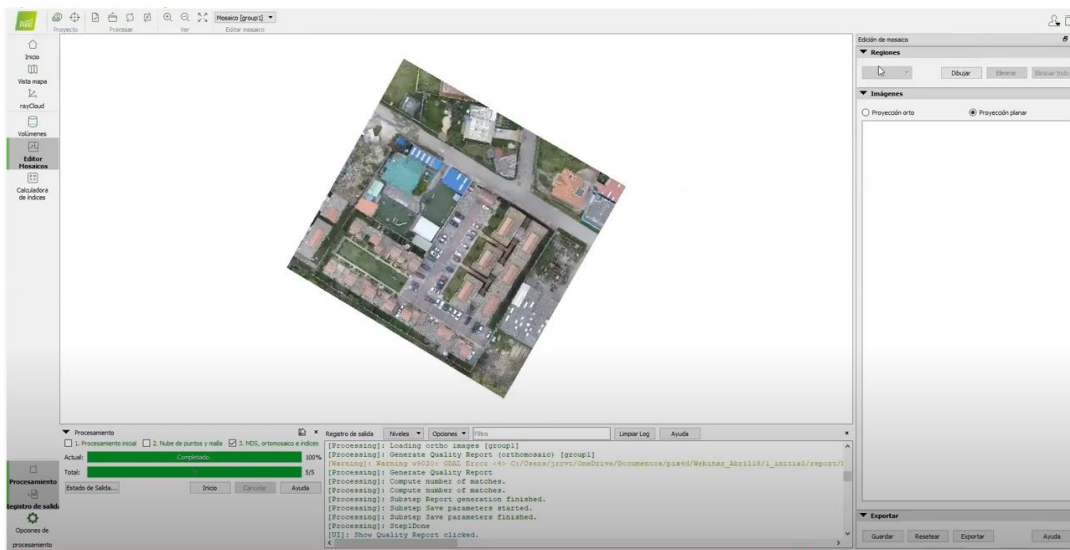
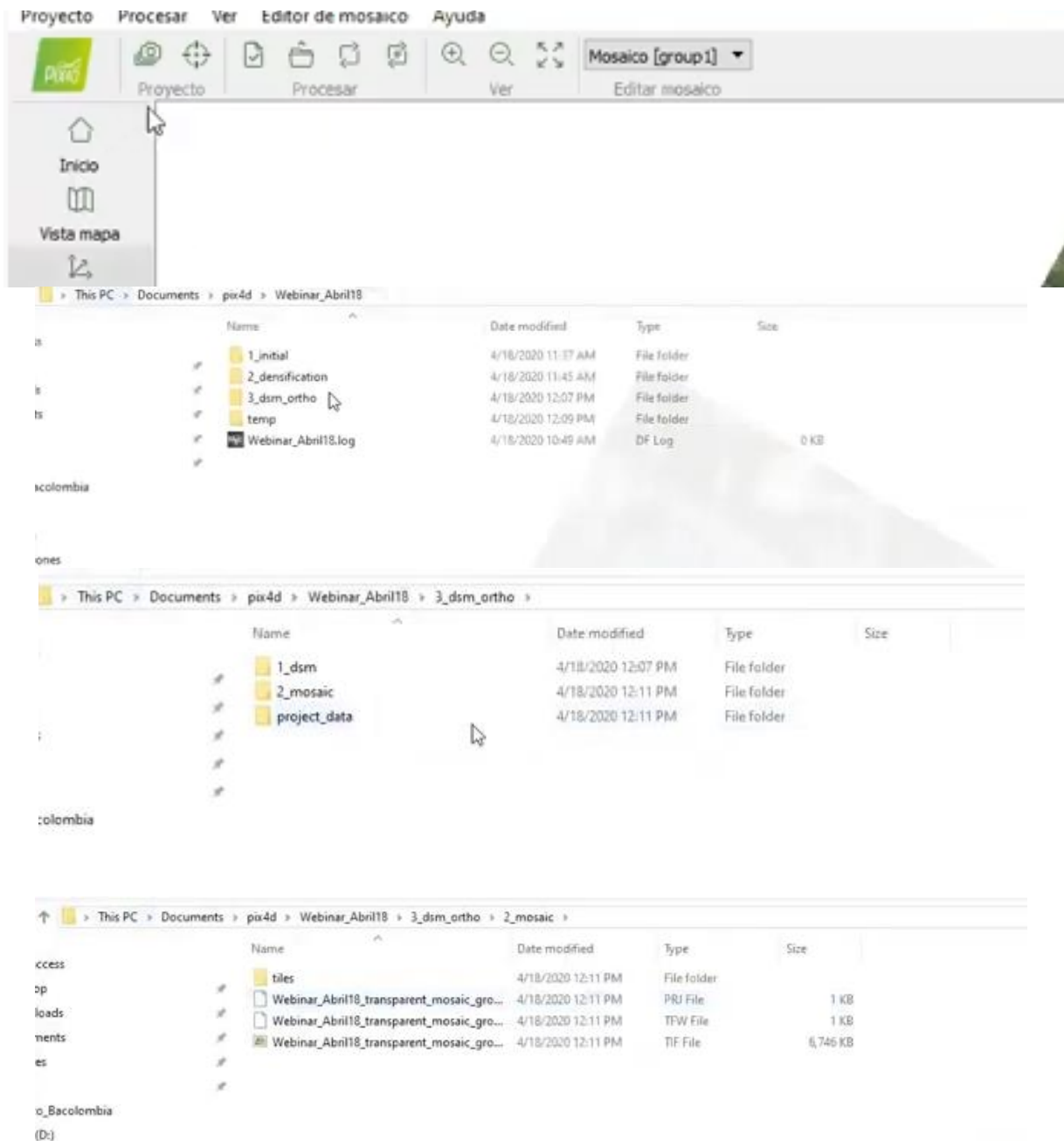


Figura 187. Vista ortomosaico

Seleccionamos la carpeta donde está contenido el proyecto y se abre la información del proyecto.



**Figura 188. Proceso búsqueda y apertura proyecto**

Debido a la forma que hemos seleccionada para procesar los datos el ortomosaico creado es de resolución baja (4 veces el tamaño del pixel)

Se procede a usar un programa aparte para la visualización del ortomapa creado.

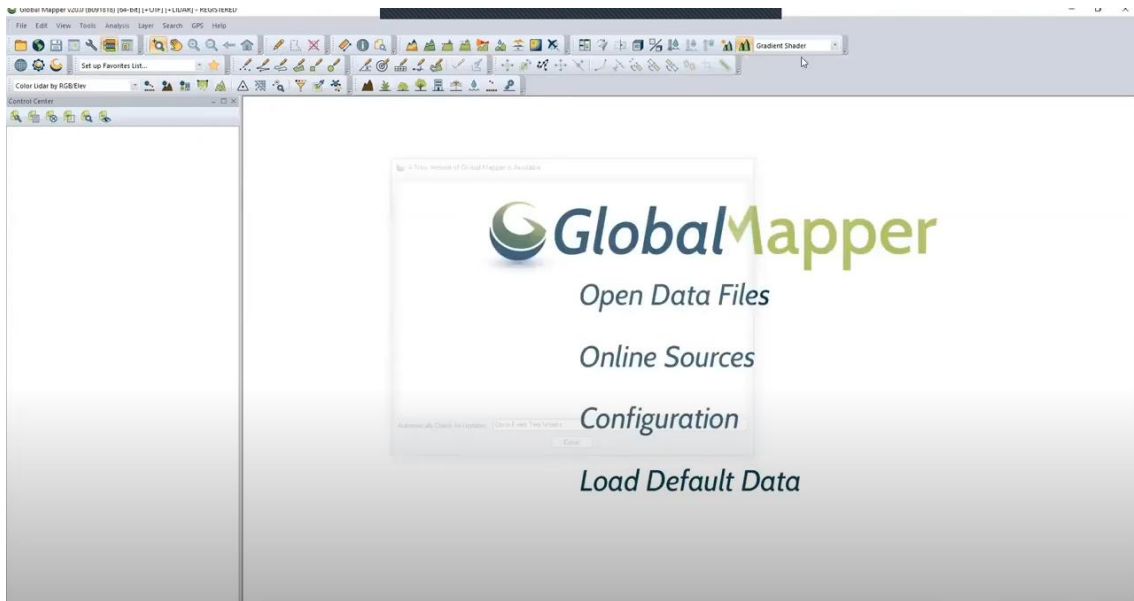


Figura 189. programa pasa visualización del ortomapa.

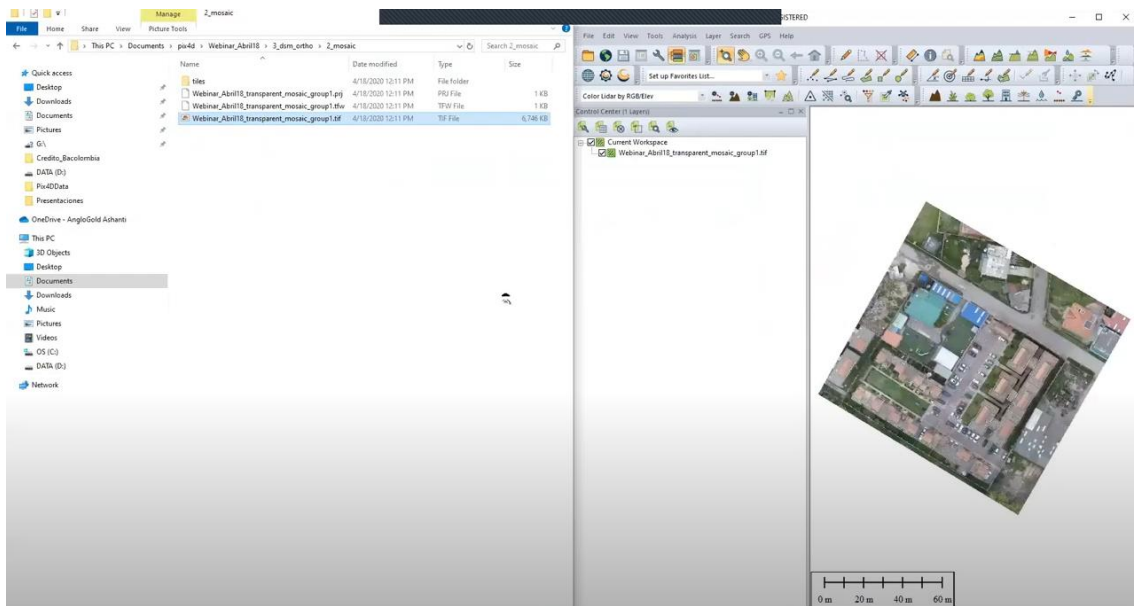


Figura 190. Vista previa y carga del proyecto

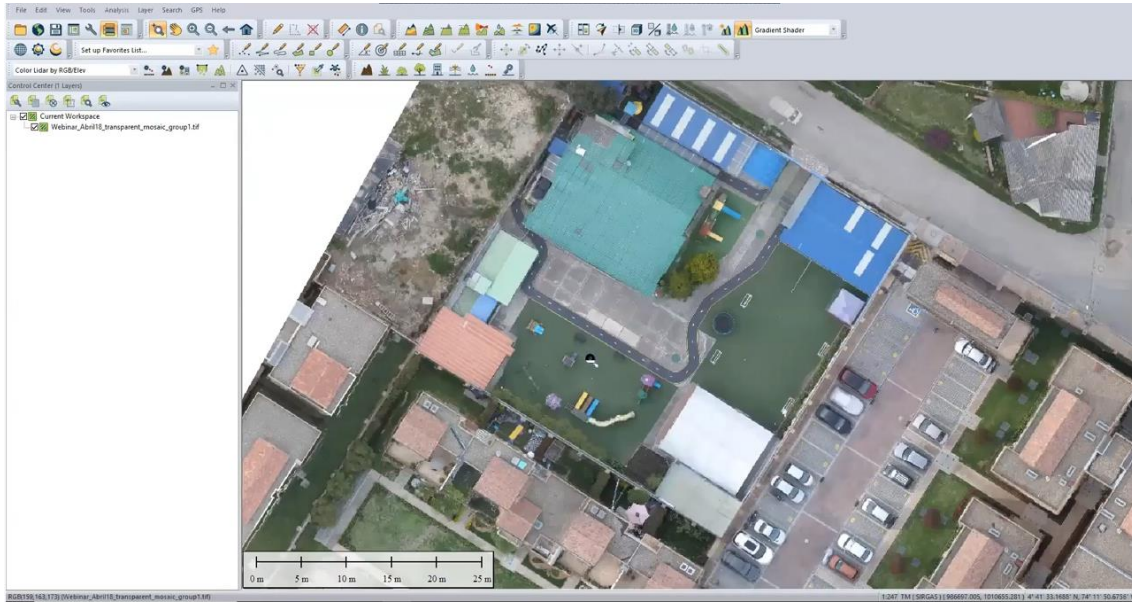


Figura 191.Zoom en otro mapa

Se puede cargar todo el proyecto para visualizar, en este caso cargamos el modelo de elevación

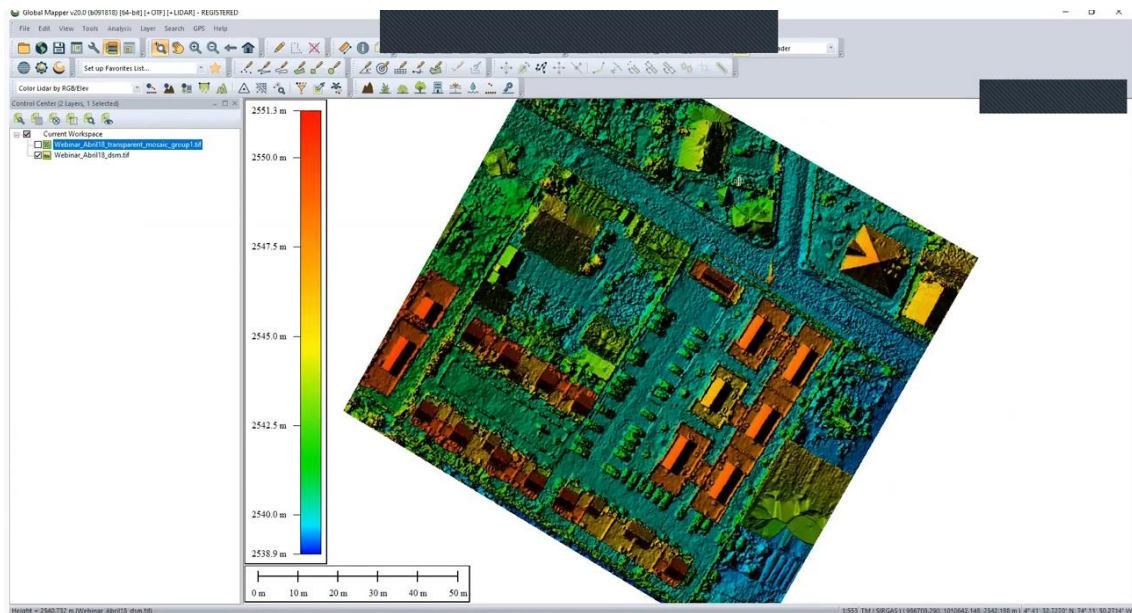


Figura 192.modelo de elevación

#### 4.2.3.2. Obtaining Photogrammetric Data by Using Non-Professional Uav[65]

En este caso de estudio presentado por el Departamento de Geodesia, Cartografía y Gestión del Territorio, Universidad Nacional de Chernivtsi, Ucrania, se realiza la toma fotográfica aérea y su posterior procesamiento con drones de bajo costo.

Para este caso, se utiliza el software de planificación aérea DRONEDEPLOY v4.1.0 y un DJI Mavic 2 ZOOM. Se realiza un vuelo a 70m y con una resolución espacial de 0,12m.

Este estudio evalúa la posibilidad del uso de drones no profesionales con el fin de obtener datos fotogramétricos, como base para la elaboración de un plan topográfico y la resolución de problemas que pueden suceder. Se va intentar describir las especificaciones de la obtención de datos mediante UAV, y en particular, los de uso no profesional. Con su posterior procesamiento fotogramétrico.

Se selecciona una zona en donde se encuentran una amplia variedad de elementos topográficos básicos, tales como, estructuras, vegetación y masas de agua. Este estudio cubre el terreno de la escuela Chernivtsi con una superficie de 23.500 m<sup>2</sup>, la elevación absoluta oscila entre 236,7 m (parte occidental) y 230,2 m (parte norte y oriental del macizo) con la concentración de edificios residenciales de gran altura.



Figura 193. Vista aérea de la área de estudio

## METODOLOGIA

El proceso de fotografía aérea se divide en 3 etapas: preparación, reconocimiento de vuelo y post-procesamiento de los datos.

En la fase preparatoria se selecciona y se verifica el dron, por temas durabilidad de baterías se pueden usar varias baterías o varios drones para completar el plan topográfico a escala M 1:1000. Este proyecto se realiza con un dron modelo DJI Mavic 2 Zoom con la ventaja del precio, la forma compacta y las buenas características técnicas.



Está equipado con una batería de 3850 mAh con una duración de vuelo de 31 minutos. Dispone de vuelo de navegación por satélite (GPS+GLONASS), con una precisión de posicionamiento horizontal y vertical de 0,3m y 0,1m. Un sistema óptico especial crea un mapa de vuelo en tiempo real, además, dispone de la función SmartReturnHome (retorno automático al lugar de despegue).



*Figura 194. Dji Mavic 2 Zoom*

Se selecciona una cámara de 12MPi (4.000x3.000 píxeles) con matriz de 1/2,3" de DJI. La distancia focal del objetivo puede oscilar entre 24 y 48 mm, pero para nuestros fines se fija en la marca de 24 mm. Un obturador laminar permite operar a bajas temperaturas (hasta -20 °C).

#### Estudio de campo. Planificación.

En la misma etapa se realiza un borrador y se calcula los parámetros de la fotografía aérea, teniendo en cuenta la altitud óptima y los solapamientos laterales y longitudinales. En general, se opta por un método combinado de fotografía aérea con dron y un examen de campo planificado (PVP) que se obtuvo mediante un estudio GNSS.



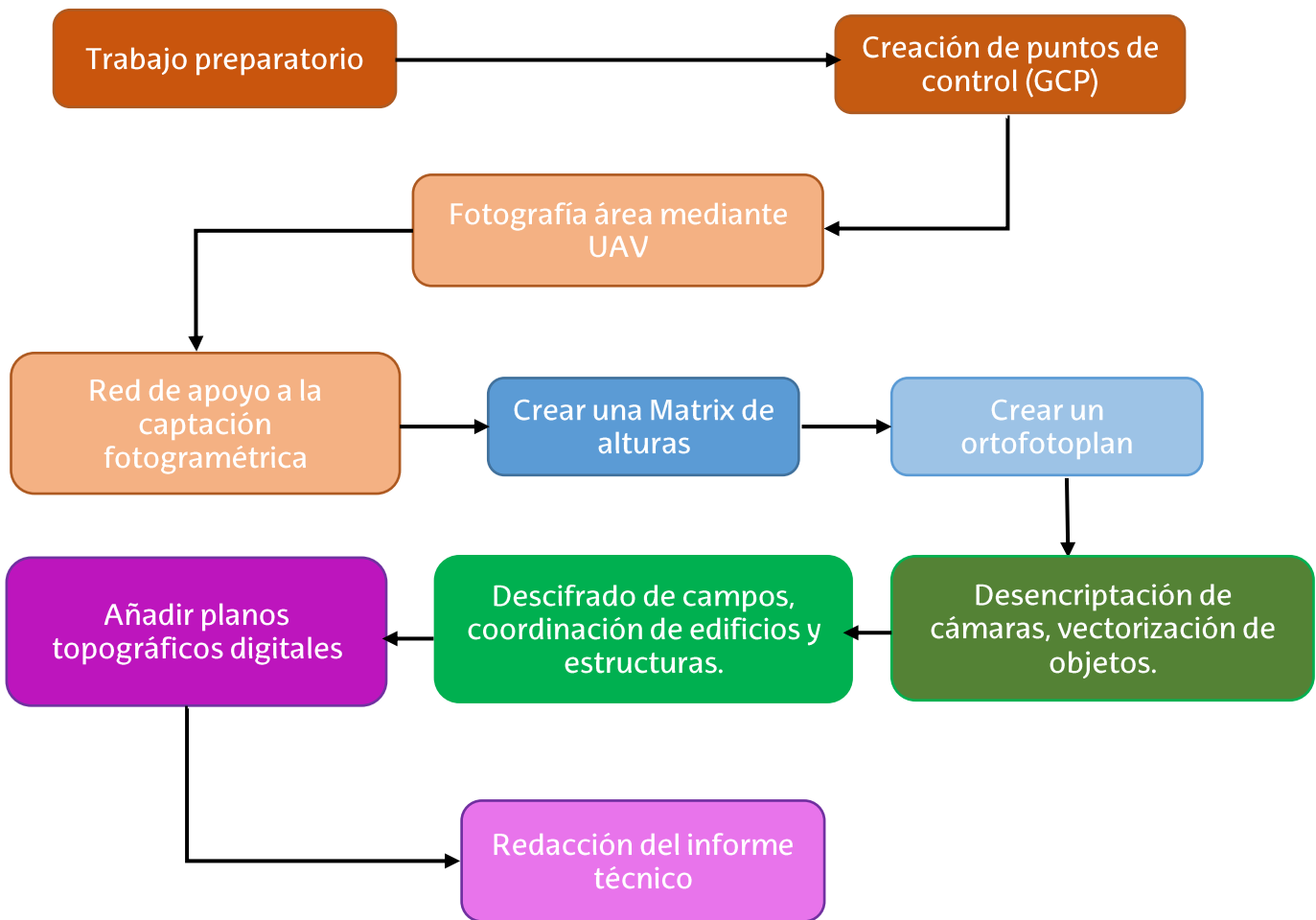


Figura 195. Esquema Trabajo

Para realizar un enfoque combinado, se ha prediseñado, teniendo en cuenta el terreno, el marcado de manera uniforme. Las zonas de sombra y las partes cubiertas por las copas de los árboles han sido bastante problemáticas. Además, en los lugares donde no hay contornos naturales, se han trazado señales artificiales que son marcadores que deben aparecer claramente en las fotos. Como herramienta, se selecciona una pintura en aerosol de tonos claros y oscuros y se realizan marcas en superficies de hormigón, nieve y tierra. Todas las marcas se visualizaron en una imagen raster, una imagen espacial en ArcMap v.10.5



Figura 196. Aspecto de los objetos elegidos como puntos de GCP (puntos de control del terreno): a - marcado de la escotilla de la alcantarilla y su aspecto en el suelo; b - marcado de la frontera y su aspecto en el suelo

Determinamos las coordenadas de los puntos utilizando receptores GNSS ProMark-800 de 2 frecuencias en modo RTK (cinemático en tiempo real). Como es sabido, este modo permite obtener correcciones de medición y determinar la ubicación con precisión centimétrica en tiempo real en la red de estaciones GNSS de referencia.

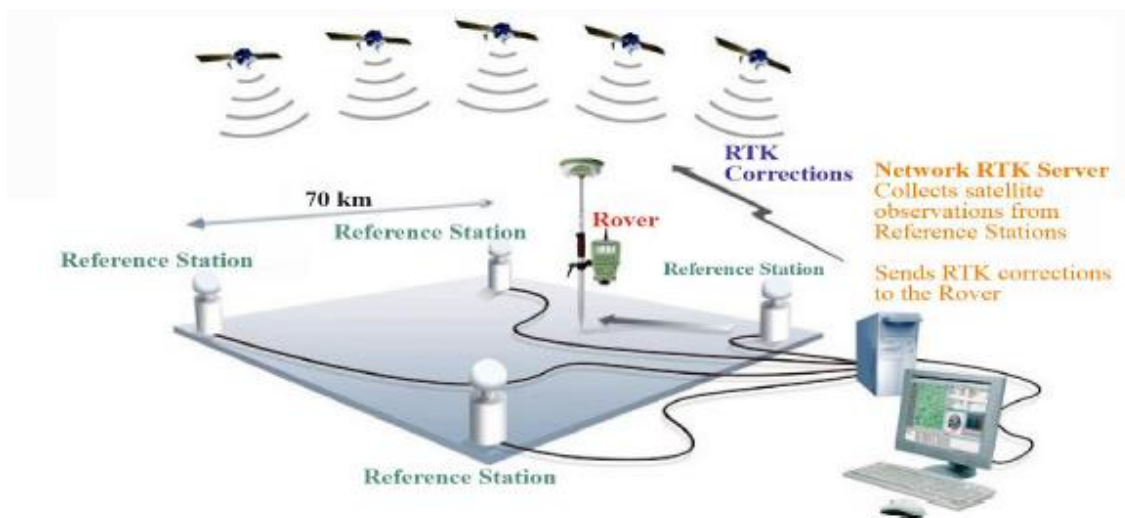


Figura 197. Esquema de obtención de coordenadas en modo RTK

Nº	Descripción	X	Y	Z
GCP 1	Tapa de la alcantarilla en la parte occidental de la escuela	5 420 993,911	5 347 917,970	236,265
GCP 2	Trazado del patio de recreo detrás de la escuela	5 421 086,516	5 347 946,743	233,682
GCP 3	Cruz marcada con pintura cerca de la puerta de fútbol este	5 421 013,425	5 348 009,582	235,742
GCP 4	Paso de Cebra en el semáforo de la calle	5 421 072,625	5 347 845,209	234,124
GCP 5	Esquina de la acera en la parte oeste	5 421 007,802	5 347 942,113	235,954



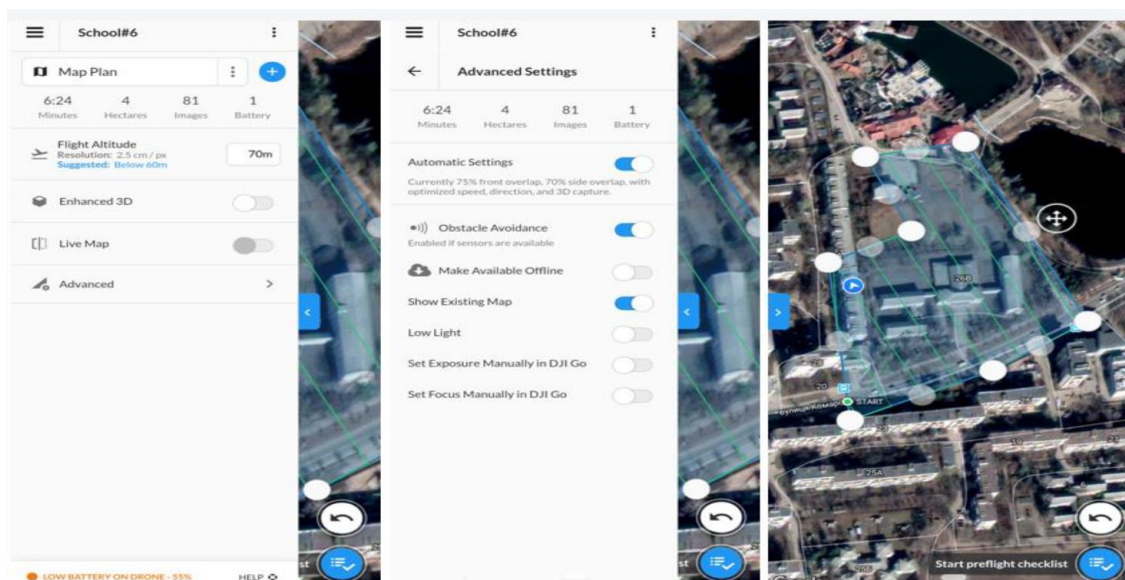
GCP 6	Esquina norte de la escalera al comedor	5 421 039,221	5 347 940,790	234,014
GCP 7	Zona labrada cerca de la valla noreste	5 421 055,427	5 348 070,767	232,244
GCP 8	Centro del círculo en la señalización cerca del equipamiento deportivo	5 421 082,878	5 347 997,345	233,451
GCP 9	Tapa de la alcantarilla fuera de las instalaciones de la escuela, cerca del lago	5 421 133,479	5 347 994,699	229,541
GCP 10	Marcado en la superficie de la nieve en la parte sur de la zona	5 420 999,186	5 347 820,35	236,355

**Tabla 11 DATOS de las marcas de identificación en las instalaciones obtenida por el estudio GNSS (sistema EPSG: 28405 Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone 5)**

Para finalizar con GCP, se representan gráficamente todos los puntos GCP diseñados y son corregidos a medida que de los trabajos de tomas de imágenes avanzan. Mediante el software SIG ArcMap se permite, además de visualización, introducir información de atributos.

### Adquisición de los datos de imagen

Esta esta misma etapa, se procede a la adquisición de imágenes mediante un plan de vuelo. Este plan de vuelo se lleva a cabo mediante un Smartphone (Xiaomi Redmi 4) y la app DroneDeploy. Esta aplicación, en base a los datos iniciales introducidos (la altitud y la velocidad de vuelo), calcula automáticamente el resto de parámetros necesarios para realizar una toma óptima. También se debe le indicar el punto de partida y el punto final o de aterrizaje, así como el área de trabajo en un mapa interactivo.



**Figura 198. La altura de vuelo/ parámetros adicionales / mapa interactivo**

En cualquier caso, se requiere un mínimo de participación por parte del operador. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las especificaciones de la cámara, incluido la lente de enfoque corta que requiere una altitud clara. La resolución espacial original de las imágenes dependerá de este ajuste. Considerando los parámetros de la fotografía aérea y las recomendaciones de uso del dron usado, a una altitud de estudio de 200 m, la

resolución espacial será de 28 cm / píxel, a una altitud de 70 metros, será de 7 cm / píxel, y cuando se reduce a la marca de 35 m, 5 cm / píxel.

Conforme a la escala:	1:5 000	1:2 000	1:1 000	1:500
Resolución espacial del plano de la ortofoto, cm	28	14	7	5
Altitud de la toma, m	200	140	70	35

Tabla 12. Dependencia de la altitud del UAV Dji Mavic 2 Zoom a la resolución espacial

Estos parámetros son clave a la hora de elegir la escala del plano topográfico, ya que debido a la gran altura de los edificios, la altura de vuelo estará limitada por la marca de 30-35 metros (la altura de los edificios adyacentes de 5 y 9 plantas es de 18 y 30 metros, respectivamente).

El área de trabajo cubierta es de 17.000 m<sup>2</sup>, con solapamientos laterales y longitudinales del 70 % y el 75 %, respectivamente. La gran importancia de los solapamientos, especialmente la longitudinal, es uno de los requisitos básicos para el uso de drones. Esto minimizará los errores de solapamiento y guiñada del UAV mediante el procesamiento.

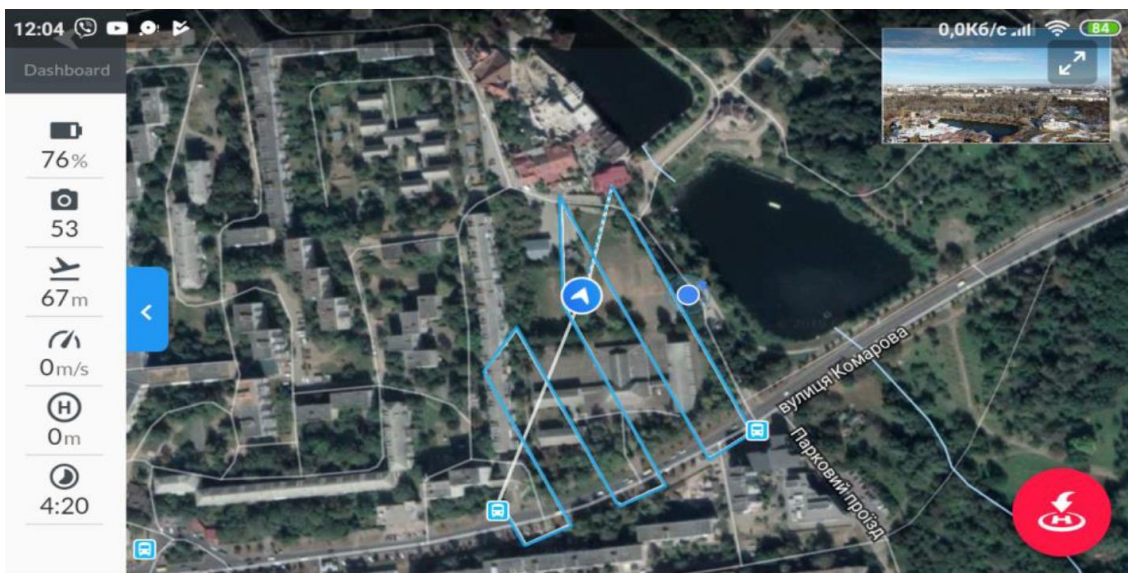
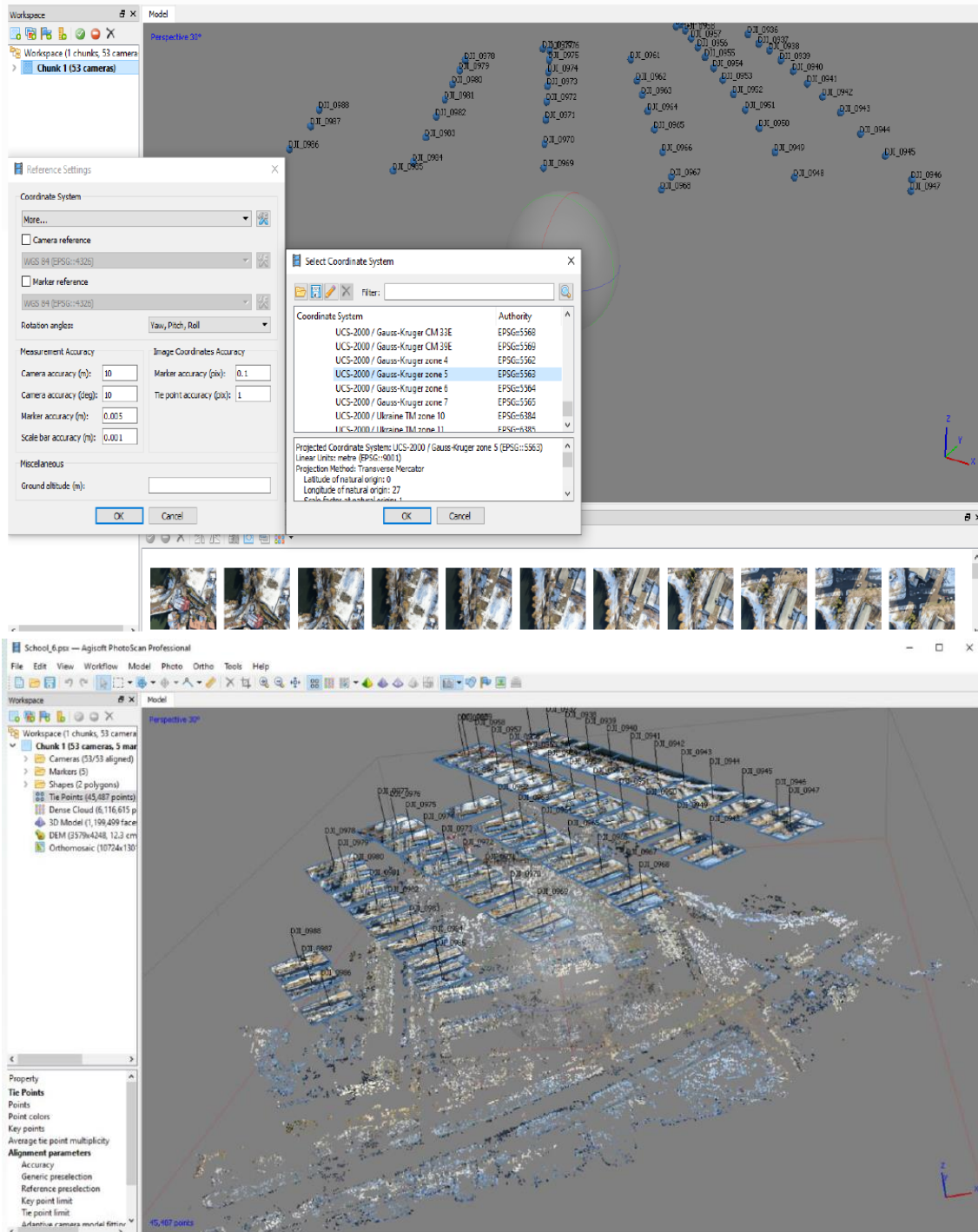


Figura 199. Ruta y proceso de levantamiento visto desde mapa interactivo

### Procesamiento fotogramétrico de las imágenes.

Los pasos siguientes fueron el procesamiento de los resultados y el montaje de una maya aérea. La fotogrametría básica y la construcción de un modelo de fototriangulación se realizaron en el software AgisoftPhotoscan. Este software es una herramienta versátil para generar planos de ortofotos y modelos 3D de la superficie de los objetos de estudio mediante sus imágenes fotográficas.

Se Selecciona el sistema de coordenadas propio de Chernivtsi, se descargan los datos de los centros de las imágenes y se visualizan.



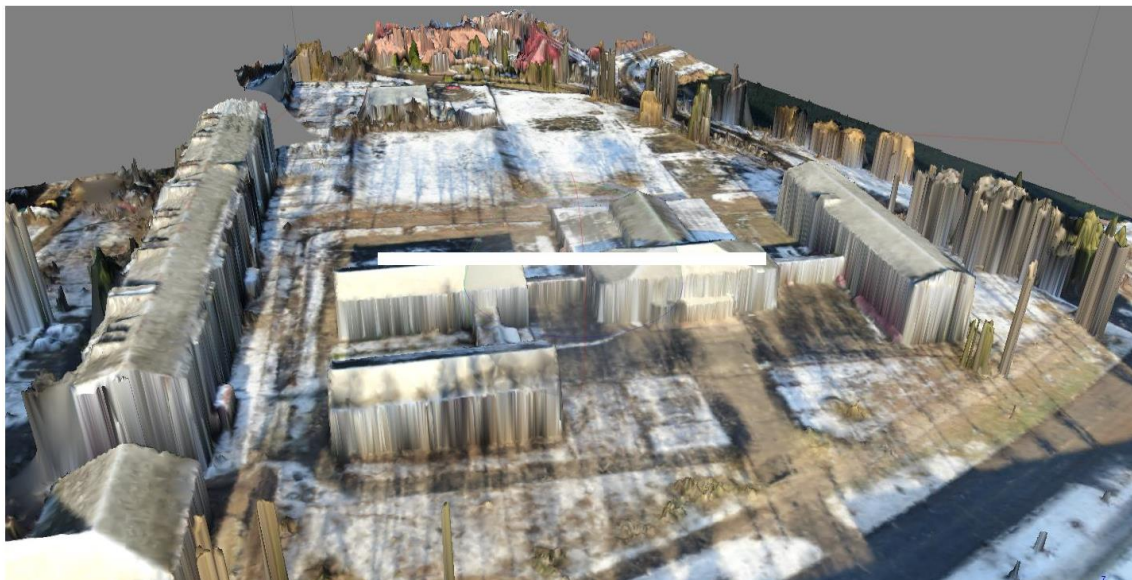
**Figura 200. Sistema de referencia y nube de puntos**

Se crea un modelo de puntos de la superficie terrestre, es decir, una nube densa de puntos que describen el territorio y un conjunto de parámetros de orientación mutua de las fotos. Además, como se dispone de una base de planos terrestres, se establecen marcas de puntos de “anclaje” en las fotos y descargamos sus coordenadas rectangulares.



**Figura 201. Nube densa de puntos con coordenadas**

Se debe tener en cuenta que no siempre es suficiente disponer de un plano ortofotográfico para obtener productos cartográficos precisos. Hay que ver el modelo fotogramétrico obtenido en formato 3D. En particular, hay que ver los puntos que pueden utilizarse para el contorno. Se debe poder realizar mediciones métricas en las coordenadas absolutas del proyecto y realizar diversas operaciones de vectorización y agrupación de la información topográfica. Por lo tanto, en primer lugar, formamos un modelo de terreno en 3D después de una densa nube de puntos.



**Figura 202. Modelo de terreno en 3D**

De acuerdo con los datos anteriores, creamos un mapa de alturas, es decir, un modelo digital del terreno. Este trabajo permite determinar las alturas absolutas de los objetos



con una precisión milimétrica. Los valores se reflejan en el espectro de colores, donde el azul es la marca más baja (lago) y el rojo la más alta (edificios residenciales de 9 pisos).

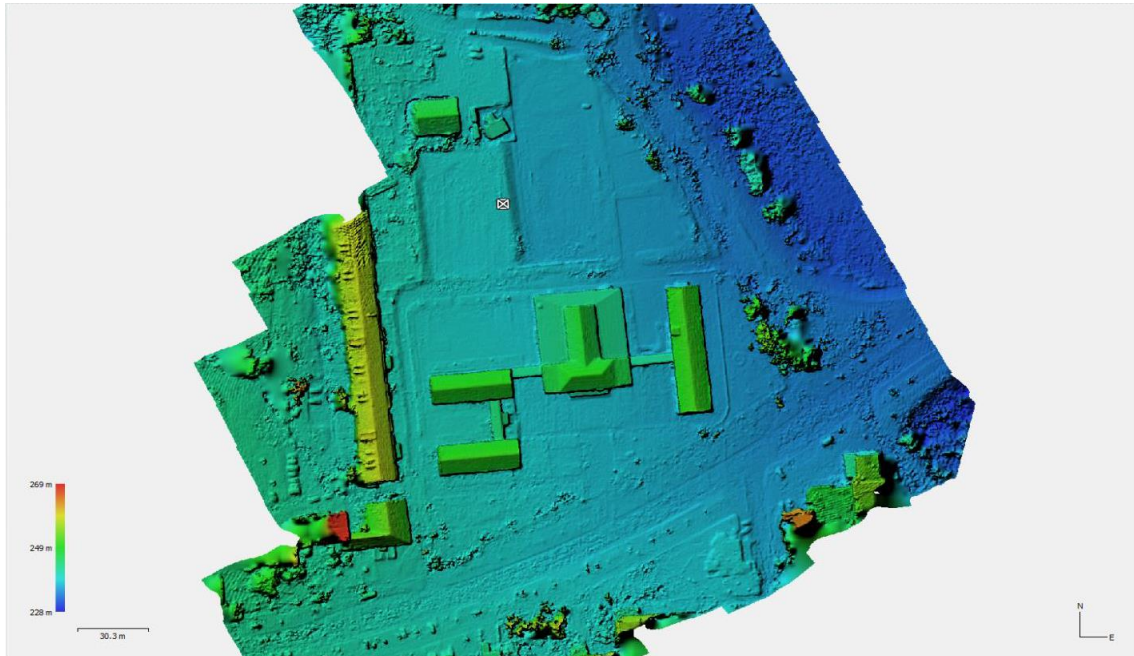


Figura 203. Mapa de alturas

La creación del ortofotoplano mediante fotografía aérea es importante. Al hacerlo, se tienen en cuenta los parámetros y modelos anteriores. El resultado es satisfactoria, a pesar de las sobras que producen los objetos de las imágenes, ya que se pueden realizar más trabajos de análisis sobre el ortoplano.



Figura 204. Ortofotoplano



## 4.2.4. Termografía

### 4.2.4.1. Termografía en plantas fotovoltaicas para detección de fallos. Termografía infrarroja aérea para la detección rápida y de bajo costo de problemas en plantas de energías fotovoltaicas a gran escala. [66]

A medida que las instalaciones aumentan en número y escala, crece la necesidad de métodos novedosos para garantizar la fiabilidad y el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. En fechas próximas entrarán en funcionamiento muchas plantas fotovoltaicas en Brasil (donde se realiza este estudio), la mayoría de ellas utilizan la tecnología de seguimiento de un eje con módulos fotovoltaicos bifaciales, y están situadas en la región noreste del país.

Esta región se caracteriza por los altos niveles de radiación solar (es decir, por encima de 2000 kWh/m<sup>2</sup> de irradiación anual) y el clima es semiárido, además de ser sitios remotos con difícil acceso, incluyendo cientos de kilómetros de carreteras sin pavimentar. Así mismo, el impacto de las altas temperaturas de funcionamiento, la sobreirradiación extrema causados por los efectos de las nubes y la suciedad en la producción de las plantas fotovoltaicas es mucho más extrema en los países cálidos y soleados que en los climas más templados donde la mayoría de las plantas fotovoltaicas están en funcionamiento.

La duración de los módulos fotovoltaicos depende también de los modos de degradación y de los fallos que pueden producirse durante la producción, el transporte y la instalación de los módulos fotovoltaicos.

Otra de las preocupaciones críticas es la calidad de estos módulos fotovoltaicos. Se ha demostrado que los métodos de control de calidad y los ensayos de cualificación adoptados en las normas actuales no son lo suficientemente estrictos para cubrir el esfuerzo de la vida útil y la evolución de las microfisuras que experimentan los módulos fotovoltaicos en condiciones de trabajo.

La identificación temprana de fallas asegura grandes tiempo de actividad y puede evitar cortes o reparaciones costosas. En los últimos años, se han desarrollado métodos y técnicas de inspección avanzados para la evaluación del rendimiento, como el seguimiento en tiempo real, el seguimiento de la curva IV, la termografía infrarroja (IRT) y la electroluminiscencia (EL). El método IRT, como método no destructivo, es una la técnica clave para inspección de fallo y se probado en ser eficaz en la detección de fallos en módulos fotovoltaicos. Es uno de los métodos principales, debido a que requiere un mínimo de instrumentación y se lleva a cabo en condiciones de funcionamiento, sin interrumpir la producción. Sin embargo, requiere mucho tiempo, no es rentable y no es práctico para plantas de energía a gran escala debido a que necesita mano de obra experta y lleva mucho tiempo. Todo lo anterior nos lleva al uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) equipados con cámaras IRT para inspeccionar áreas amplias rápidamente, y esta técnica se conoce como termografía infrarroja aérea (aIRT).

aIRT es una herramienta simple y eficiente para detectar y clasificar fallos. Esta técnica ofrece un fácil reconocimiento de los problemas causados por eventos ambientales como granizos, tormentas de viento o rayos. Además, puede evaluar un mayor número de módulos en poco tiempo sin tener que dejar de producir. El método es aún más





eficiente cuando combina cámaras RGB e IRT en el mismo UAV, lo que permite un análisis simultáneo.

- Estudio de termografía infrarroja aérea (aIRT)

IRT, como se explica en 4.1.4 UAV y Fotogrametría, mide la radiación emitida desde la superficie de cualquier objeto dentro del espectro de longitudes de onda infrarroja 1,4 y 15  $\mu\text{m}$ . Por lo tanto, las pérdidas de energía se mostraran como variaciones de temperatura en las imágenes IRT. Estas diferencias térmicas están estandarizadas en la norma internacional IEC TS 62446-3 versión 1.0.

La combinación entre cámaras IRT y equipos aéreos (UAV) aumenta la rentabilidad y permite inspecciones en sistemas fotovoltaicos montados en techos con acceso limitado o plantas de energía fotovoltaicas a gran escala.

La elección correcta de los equipos de medición para este tipo de inspecciones, se lleva a cabo considerando muchos aspectos. Para la cámara, la resolución es un factor clave por que determina la altura máxima de vuelo, lo que influye en gran medida en los requisitos de tiempo para la inspección. Esto es muy importante, en el caso de plantas a gran escala, porque normalmente las condiciones de irradiación mínima sólo se cumplen durante unas seis horas al día. Otras características importantes son la sensibilidad térmica, la precisión, el rango de temperatura, el peso de la cámara y el tipo de objetivo. Además, del tipo de cámara y el software de cámara que se ofrece. En respecto al sistema UAV, el tiempo de vuelo de la batería, la estabilidad del sistema, la altitud máxima, la duración del vuelo, la carga útil máxima y la compatibilidad total entre los instrumentos son aspectos que hay que tener en cuenta y que repercuten en la calidad del vuelo así como en los costes del equipo.

Este experimento usa dos sistemas de medición diferentes, cada uno de ellos se usa en diferentes lugares de prueba, con el fin de comparar estos dos tipos. El sistema 1 acopla una cámara IRT en un sistema de "bajo peso" o "bajo consumo". La cámara no es radiométrica, lo que significa que la diferencia de temperaturas se realiza con tonalidades grises, pero no proporciona información sobre la temperatura en este punto. Para dotar al sistema 1 de esta cámara, hay que quitar la cámara RGB del UAV y desarrollar un nuevo sistema de transmisión de datos. Por ello, no existe integración entre UAV y la cámara IRT, lo que crea problema para la inspección, como no poder ver imagen de la cámara en el mismo en el mismo dispositivo de control del UAV.

El sistema 2 es un UAV profesional de gama alta disponible comercialmente que integra una cámara IRT radiométrica de alta calidad con una cámara RGB. Este dron es robusto, ofrece mayor calidad de imagen, autonomía de vuelo, estabilidad y aislamiento contra interferencias electromagnéticas. Adicionalmente incluye un software de procesamiento de imágenes que facilita la detección de fallos. Por todo ello, esta solución es mucho más cara que el sistema 1, y esto nos hace pensar que se necesita un equipo más sofisticado. Aunque el coste de los equipos para estos análisis tan importantes es una fracción insignificante de los costes típicos asociados a las centrales fotovoltaicas a gran escala, estos servicios suelen ser ofrecidos y realizados por terceros, a los que representan un coste considerable.



System Features	System 1	System 2
UAV equipment	DJI Phantom 3 Professional	DJI Matrice 200
IRT camera	MicroCAM 2	FLIR Zenmuse XT2
UAV Weight	1,280 g	3,800 g
System flight autonomy	13 min.	20 min.
IRT camera sensitivity	less than 60 mK	less than 50 mK
Spectral range	7 – 17 $\mu\text{m}$	7.5 – 13.5 $\mu\text{m}$
Pixel pitch	17 $\mu\text{m}$ (640x480)	17 $\mu\text{m}$ (640 × 512)
Frame rate	30 FPS	30 FPS
IRT camera weight	80 g	588 g
Transmitter	BosCam FPV Transmitter	Built-in
Antenna	Cloverleaf 5.8 GHz	Built-in
RGB camera	None (removed)	12 MP, 1/1.7" CMOS
Price	US\$ 6,000.00	US\$ 15,000.00

Tabla 13. Datos sistemas usados

▪ Procedimiento de inspección

Para optimizar el tiempo de vuelo, se adquieren videos en vez de imágenes fijas, además esto facilita la detección de fallos. Ayuda a diferenciar entre fallos y los instrumentos de medición usados, ya que el reflejo del sol en ellos puede confundirse como fallos.

Durante el vuelo, el estrés ambiental, como el clima, las turbulencias del aire y el reflejo de la luz solar, pueden influir en la inspección, y en consecuencia, en la calidad de las imágenes aIRT. Las condiciones ideales para monitoreo:

- Orientación del sensor IRT montado en UAV, debe ser perpendicular a los módulos fotovoltaicos y mantenerse constante.
- La altitud del vuelo debe ser al menos de cinco metros para evitar que haya sombras por el dron durante la inspección.
- El estudio debe realizarse en días despejados, luminosos y secos. La velocidad del viento no debe exceder los 4 m/s para que no se creen turbulencias que perturben el vuelo.
- Periodo óptimo para toma de imagen es el medio día, cuando la dirección del sol es más perpendicular a los módulos fotovoltaicos y estos son de seguimiento de un solo eje. La irradiancia debe ser superior a 600 W/m<sup>2</sup>.
- La trayectoria de vuelo debe planificarse de antemano a cada tarea y la ruta debe estar bien documentada.

Para todas las inspecciones, la ruta del UAV es una ruta ortogonal al sistema fotovoltaico de seguimiento en un solo eje, con el fin de y obtener un tiempo de vuelo más corto y una mejor vista de todos los módulos fotovoltaicos.

En la planta de estudio 1, los vuelos se realizaron de forma manual y el análisis de fallos se realizó en tiempo real. Cada vez que un fallo se detectaba, el dron se maniobraba más cerca del módulo dañado, para obtener una mejor visualización y se enviaba un



especialista al lugar del fallo para verificarla, tomar notas y capturar imágenes con cámaras portátil RGB e IRT.

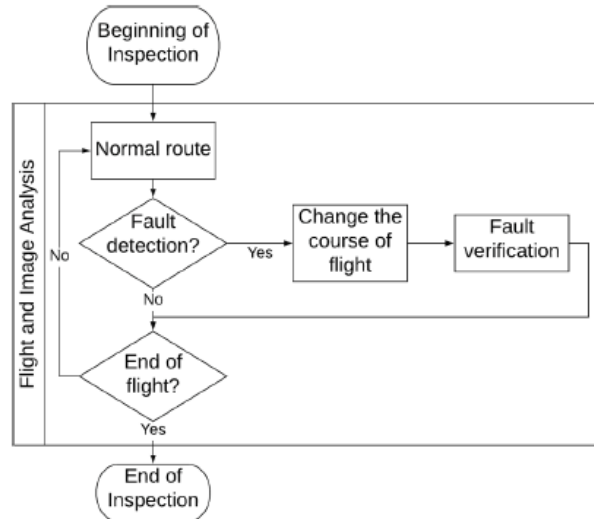
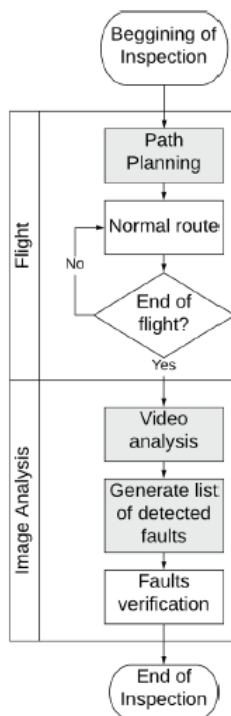


Figura 205. Proceso de análisis de fallos en tiempo real (detección y análisis de los fallos se realizan durante el vuelo).

En las otras 3 plantas de estudio, la ruta es programada y llevada a cabo automáticamente. El análisis de fallos se evaluó después de los vuelo, analizando las imágenes capturadas.



Recuadros grises indican pasos que se pueden realizar en la planta, reduciendo así el tiempo en el lugar.

Figura 206. Proceso análisis de fallos posterior al vuelo



Para realizar la comparación de los sistemas de medición y de los dos métodos de inspección probados, se registró el tiempo de duración de las inspecciones. Esta duración incluye el tiempo de vuelo y el análisis de imágenes tanto del vuelo como la captura manual para verificar esos fallos. Es posible calcular una estimación de la cantidad de MW inspeccionados por persona y día con el fin de tener un KPI o indicador de comparación entre métodos según la cantidad de mano de obra requerida (generalmente por parejas). El enfoque en tiempo real solo se probó utilizando el sistema 1, lo que limita la comparación de la productividad de este método con el enfoque de análisis posterior al vuelo.

– Análisis de imágenes y clasificación de fallos

Los análisis de fallos se realizaron mediante la evaluación del patrón térmico del módulo fotovoltaico, que es uniforme para módulos buenos y que se ve claramente afectado por los fallos en las imágenes IRT. Estos fallos detectados incluyen: grietas, corrosión, cadenas desconectadas, sombreados, suciedad, vidrio roto, entre otros. La clasificación de fallos detectados se realiza en base a IEC TS 62446-3: 2017.

El efecto que estos fallos tienen en una planta, varía en cantidad de pérdida de energía que causan y en los riesgos de daños mayores que podrían conducir a tiempos de inactividad considerables.

Los datos recopilados se procesan y se genera un informe. A través de una planificación precisa del lugar, es posible proporcionar una posición exacta de los fallos del sistema y se puede programar la reparación basándose en un conocimiento completo del sitio.

Lugares de ensayo

Se realiza en 4 plantas fotovoltaicas diferente, cerca de 130MW y más de 600 mil módulos fotovoltaicos individuales. Todas las plantas consisten en seguidores de un solo eje NS, cada uno moviendo algunos cientos de módulos simultáneamente. Esta inspección se realiza en la fase de puesta en marcha.

PV Plant	Location	PV Installed Capacity	PV Technology	Drone used (from Table 1)	Height above sea level	Annual irradiation
1	Rio Grande do Norte (RN)	36.7 MW	CdTe	System 1	50 m	2,150.9 kWh/m <sup>2</sup>
2	Paraíba (PB)	31.2 MW	c-Si	System 1	250 m	2,211.9 kWh/m <sup>2</sup>
3	Paraíba (PB)	31.5 MW	c-Si	System 2	257 m	2,194.7 kWh/m <sup>2</sup>
4	Paraíba (PB)	31.5 MW	c-Si	System 2	257 m	2,194.7 kWh/m <sup>2</sup>

**Tabla 14. Detalle de las plantas**

Estos lugares se ubican en el noroeste de Brasil con clima cálido y altas irradiancia. Los promedios anuales de irradiación en la región superan los 6 kWh/ m<sup>2</sup> por día (más de 2100 kWh/m<sup>2</sup> año) y la temperatura media anual es de unos 26°C.

– ¿Qué conseguimos con estos análisis?

La inspección con el sistema 2 es más rápida y sencilla, debido a la solución integrada que brinda ese equipo. Presenta mejor sistema GPS, lo que hizo que las inspecciones fueran más rápidas y seguras. El sistema 1, siendo una solución adaptada, su transmisión y calidad de imagen han sido inferiores. El sistema 2, ofrece poder tomar imágenes aIRT y RGB simultáneamente, a diferencia del sistema 1.

Las fallas de las subcadenas desconectadas se resaltan en rojo para facilitar la visualización.

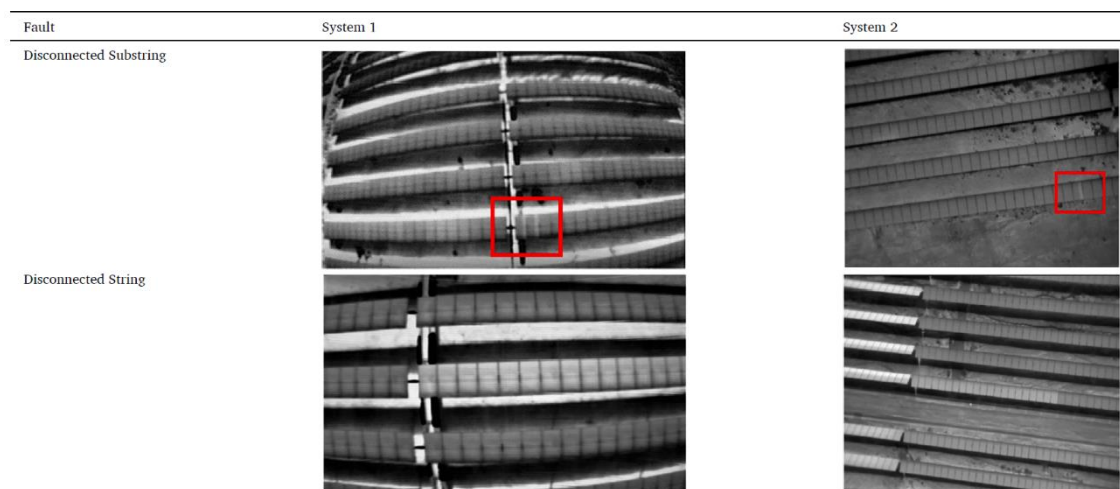


Tabla 15. Resultados de los dos sistemas para detección de fallas comunes.

La peor calidad de imagen y resolución del sistema 1 es clara, además del efecto "ojo de pez", que también dificulta la visualización de fallos,

- Análisis de fallos en tiempo real vs posterior al vuelo.

PV Plant	Drone used	PV Technology	Fault Analysis	Inspection Duration	Flight Altitude	Team Size	MW inspected per person per day
Plant 1	System 1	CdTe	Real-time	9 days	15 m	4 people	1.02
Plant 2	System 1	c-Si	Post-flight	7 days	20 m	2 people	2.23
Plant 3	System 2	c-Si	Post-flight	4 days	30 m	2 people	3.94
Plant 4	System 2	c-Si	Post-flight	4 days	30 m	2 people	3.94

Tabla 16. Resultados de las inspecciones.

En la tabla anterior se presentan la duración de cada inspección, la estimación de la cantidad en MW inspeccionados por persona y día. Se puede ver la alta productividad de las plantas 3 y 4.

Los análisis de fallos llevados a cabo después del vuelo demostraron ser más eficientes. El tiempo de medición fue más largo para el enfoque en tiempo real y exigió el doble de trabajadores. El enfoque en tiempo real complicó la detección de fallas debido a las dificultades de analizar videos en el campo, ya que la pantalla se ve gravemente afectada por el resplandor, los reflejos del sol y la suciedad del suelo. Otra razón para el necesitar más tiempo para el análisis en tiempo real fue que este se realizó en vuelo manual. La ruta automática programada proporciona vuelos más estables y rápidos, pero no permite el análisis en tiempo real, no es viable detenerse en cada fallo detectado. Teniendo en cuenta estos resultados, se sugiere que las inspecciones se realicen con planificación automática de trayectorias de vuelo, programado antes de realizar la inspección y que el análisis de las imágenes se realice inmediatamente después. También existe la posibilidad de repetir el vuelo sobre algunas zonas, con el fin de comprobar resultados ambiguos tras el primer análisis. La planta 1 también fue la única planta de energía que empleó módulos de CdTe de película delgada, que tienen una

eficiencia ligeramente menor y, por lo tanto, se requiere un área más grande para producir la misma cantidad energía.

La duración de inspección también es diferente entre plantas, debido a las diferentes alturas para los vuelos. Las altitudes se definieron de acuerdo a las pruebas iniciales con el objetivo de proporcionar los mejores resultados dados el sistema medición empleado y la tecnología de los módulos. La mayor calidad de imagen del sistema 2 permitió una inspección desde una mayor altitud, lo que aceleró el proceso de inspección. Otro factor que afectó la duración es la presencia de una cámara RGB en el sistema de medición 2, que minimiza el tiempo de estudio de campo gracias que se distinguen los fallos, de la vegetación y suciedad. En el caso de la planta 2, se realizó un vuelo adicional con un UAV RGB, para verificar esos problemas, lo que también lleva a un tiempo extra no solo para el vuelo sino también para el procesamiento de las imágenes RGB. Si opta por realizar limpieza y poda antes del vuelo del dron, se puede ahorrar tiempo debido a que este segundo vuelo se puede eliminar.

Los resultados muestran que los costos de adquisición de un sistema tipo 1, no compensa el tiempo de inspección adicional requerido para esta solución.

- Hot spot causados por la suciedad y la vegetación

Los problemas más comunes son los puntos calientes creados por suciedad y la vegetación como resultado de sombreado de las células fotovoltaicas. Esto afectó a algunos cientos de módulos durante las inspecciones. Cuando se encuentra un punto caliente en un módulo fotovoltaico sucio, el procedimiento consiste en limpiar el módulo y reevaluar el patrón térmico y saber si el punto caliente fue causado por la suciedad o daño real. Estos problemas no se contabilizan como fallo en la generación eléctrica en este análisis, pero si causan pérdidas de energía y crean riesgos de incendio.



Figura 207. Patrón de suciedad creada por el viento sobre muchos módulos de c-SI tomadas con el sistema 2.

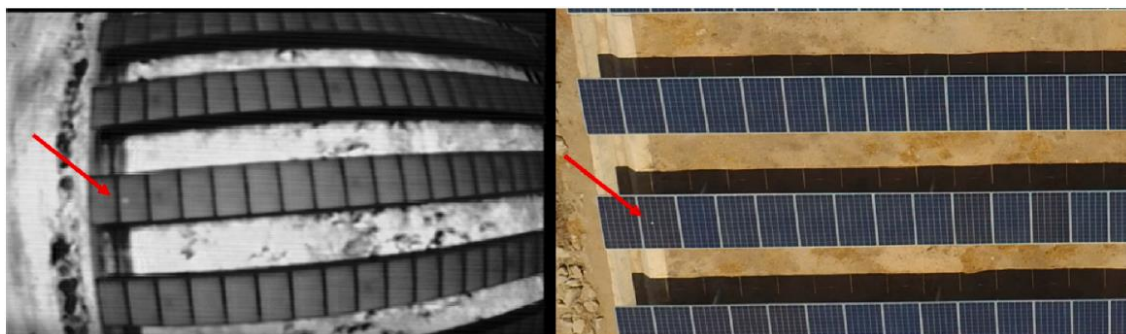


Figura 208. Excrementos de aves sobre modulo c-SI tomada con el sistema2.

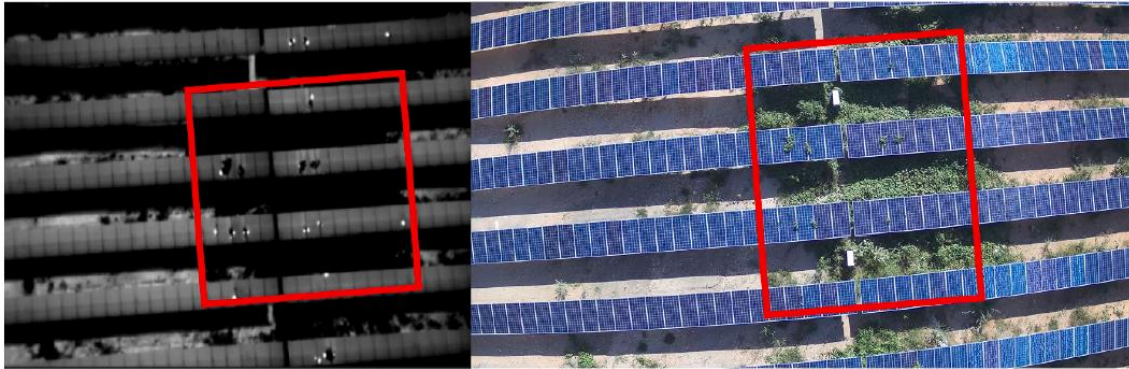


Figura 209. Vegetación sobre muchos módulos de C-Si tomados por el sistema 2.

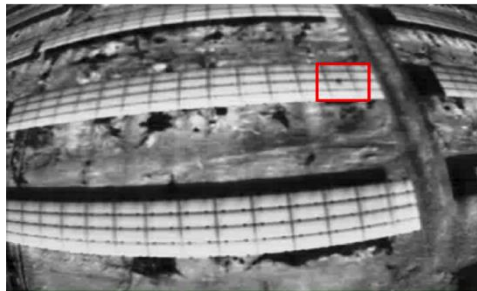


Figura 210. Vegetación sobre muchos módulos de CdTe tomados por el sistema 1.

– Defectos más comunes detectados

- Subcadenas desconectadas: desconexión de las cadenas de células del módulo dentro de la caja de conexiones, lo que provoca que un tercio del módulo esté en circuito abierto.
- Cadenas desconectadas: interrupción de la conexión de una cadena completa con el sistema, debido a fallos de conexión, fusibles o problemas de las cajas de cadenas, provocando que muchos módulos estén en circuito abierto.
- Módulos con vidrios rotos: módulos con el vidrio frontal roto debido a golpes con piedras u otros objetos durante la construcción o estrés térmico debido a otros fallos que generan puntos calientes.
- Módulos con defectos de puntos calientes: puntos de mayor temperatura sobre los módulos causados por fallos como puntos de deslaminado, grietas debidas a tensiones mecánicas, corrosión, defectos en las juntas soldadas y otros.

PV Plant	Number of detected faults				Number of affected modules				Estimated Power Loss (kW)			
	Disconnected substrings	Disconnected strings	Broken modules	Hot-spots	Disconnected substrings	Disconnected strings	Broken modules	Hot-spots	Disconnected substrings	Disconnected strings	Broken modules	Hot-spots
1	0	26	5	1	0	390	5	1	0	44.85	0.01	0.01
2	86	8	0	2	86	168	0	2	9.46	55.44	0	0.01
3	39	2	5	0	39	30	5	0	4.29	9.90	0.03	0
4	34	1	5	0	34	21	5	0	3.74	6.93	0.03	0
<b>Total</b>	<b>159</b>	<b>37</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>159</b>	<b>609</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>17.49</b>	<b>117.12</b>	<b>0.08</b>	<b>0.02</b>

Tabla 17. Clasificación de los defectos más comunes.

La tabla también estima la pérdida de potencia causada por cada fallo. Para el cálculo de la pérdida de potencia de cada fallo, se utilizó la potencia pico nominal de la hoja de datos de cada módulo, teniendo en cuenta que las subcadenas desconectadas causan una pérdida de un tercio del módulo fotovoltaico, y las cadenas desconectadas causan la pérdida de potencia proporcional al número de módulos en cada cadena. Para el caso de los puntos calientes y los módulos fotovoltaicos de vidrio rotos, se ha utilizado una pérdida de pérdida del 2% de la potencia del módulo fotovoltaico, suponiendo que en la fase de puesta en marcha el impacto del fallo es mínimo. Este impacto puede crecer lineal o exponencialmente con el tiempo si no se soluciona.

Subcadenas desconectadas → Suele ser defecto de fabricación. Después del transporte y la instalación, debido a estrés térmico o mecánico, las cadenas de estas celdas se desconectaron en la caja de conexiones, lo que provocó que el diodo de derivación tomara toda la corriente de la cadena. Además de la pérdida de un tercio de la potencia máxima del módulo fotovoltaico, la falla provoca una tensión innecesaria en el diodo de derivación.

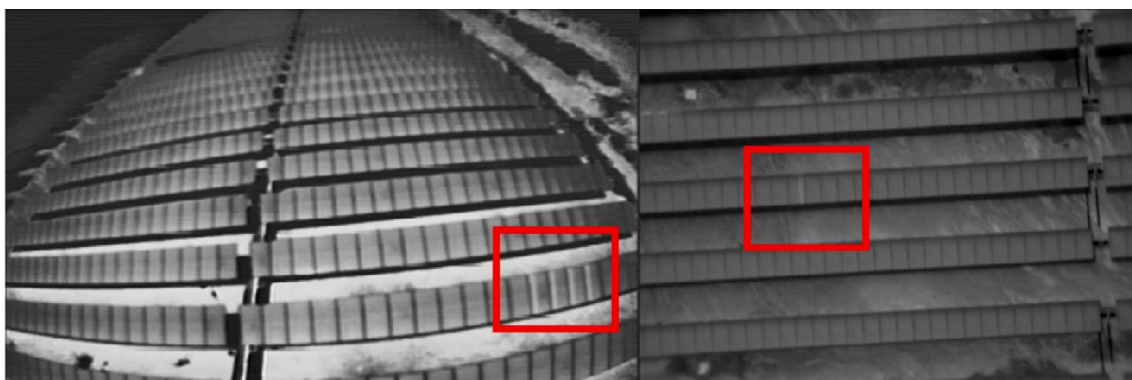


Figura 211. detección de subcadenas de células desconectadas, uno detectado con cada sistema de medición.

El Sistema 2 permite una detección clara de este defecto, y la peor calidad de imagen del Sistema 1 resulta en una detección más difícil.



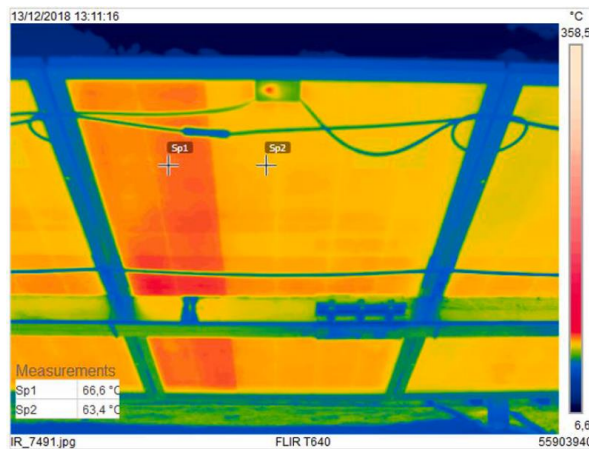


Figura 212 Imagen IRT portátil de un módulo con una subcadena desconectada.

La imagen muestra que la diferencia de temperatura entre las subcadenas afectadas y las no afectadas es de alrededor de 3 K, valor que se ajusta a lo establecido en la IEC 62446-3 (diferencias de 2 a 7 K para subcadenas desconectadas). Este defecto no ocurre en los módulos CdTe, porque los módulos fotovoltaicos de película delgada no suelen tener diodos de derivación que separen el módulo en subcadenas.

Cadenas desconectadas → La desconexión de cadenas es un fallo que causa la mayor fracción de pérdidas de energía en la producción, ya que afecta a muchos módulos a la vez.

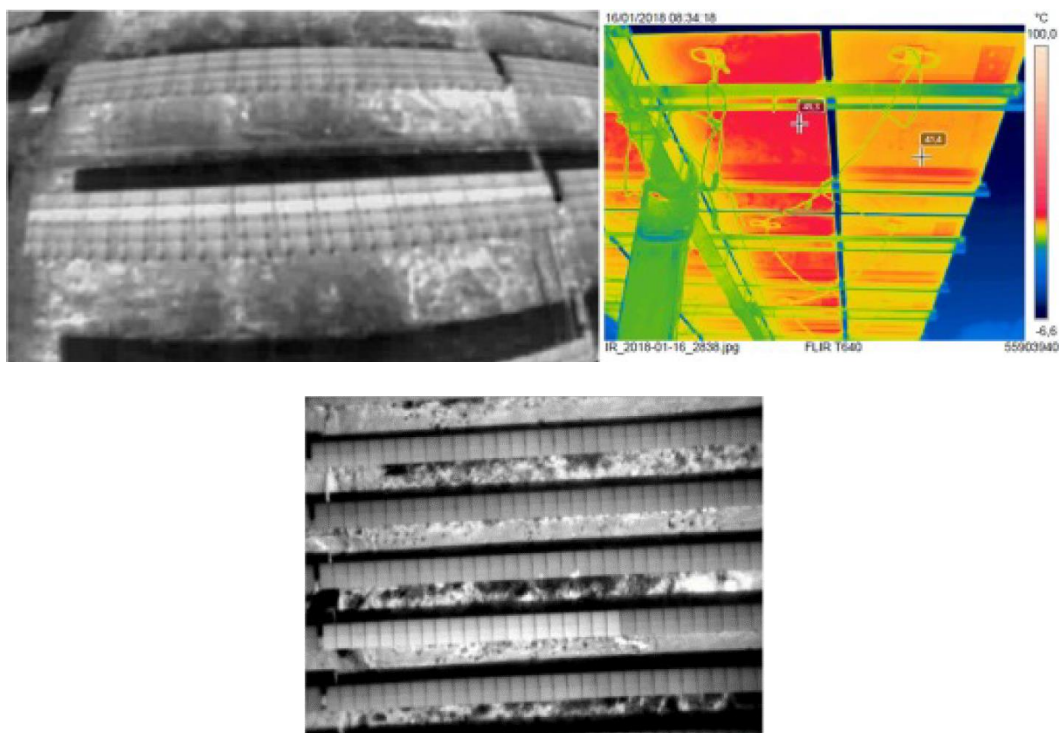


Figura 213. Cadenas desconectas imagen irt aérea y manual.

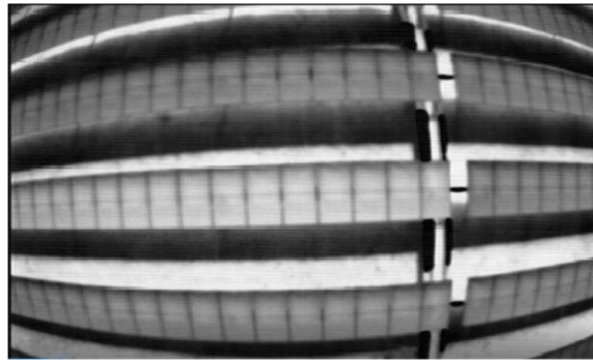


Figura 214. Cadenas desconectadas

La imágenes<sup>1</sup> de las Figura 213 y la Figura 214 la detección es más fácil porque las cadenas están todas conectadas en la misma estructura, lo que contrasta con las que están desconectadas. Por otro lado, para la planta de la imagen 2 de la Figura 213 la inspección debe realizarse por encima de una cierta altura que permita una buena comparación con otras estructuras, para permitir la detección una buena comparación. La imagen IRT de la cadena abierta muestra que la diferencia de temperatura entre desconectadas y conectadas es de unos 4 K, lo que coincide con la norma IEC 62446-3, que afirma que la diferencia de temperatura normal para las cadenas desconectadas desconectados es de entre 2 y 7 K.

Los strings desconectados ralentizan el proceso de inspección, ya que este tipo de efecto enmascara otros fallos. Por lo tanto, es necesario volver a conectar el string y evaluar de nuevo el patrón térmico de los módulos afectados.

Módulos FV rotos y otros puntos caliente en c-SI → Los módulos rotos no se encuentran con tanta frecuencia y fueron causados principalmente por la instalación. Otros tipos de defectos de puntos calientes fueron aún más raros ya que las plantas de energía se conectaron solo por un período de tiempo pequeño. Los fallos que dan lugar a puntos calientes se encuentran con mayor frecuencia en plantas fotovoltaicas que han estado en funcionamiento durante al menos algunos años o que han sufrido eventos climáticos severos.

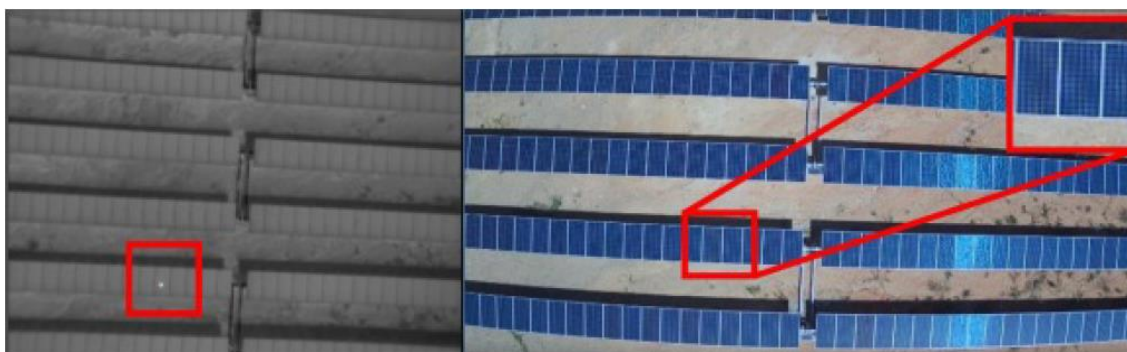


Figura 215. Imagen aIRT del módulo fotovoltaico con vidrios rotos detectados con el Sistema 2 y su equivalente RGB

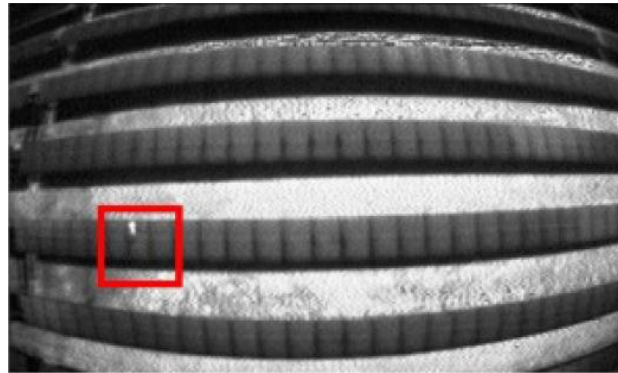


Figura 216. Imagen aIRT del módulo fotovoltaico con vidrios rotos detectados con el Sistema 1.

Módulos FV rotos y otros puntos caliente en cdTe → en las siguientes imágenes se muestran diferentes tipos de defectos creados por puntos calientes.

La figura 217 muestra un ejemplo de un módulo con vidrio roto que resultó en diferencias de temperatura de más de 30 K por encima de la temperatura del módulo, a pesar de que IEC 62446-3 afirma que estos defectos normalmente causan diferencias de 0 a 7 K. Este tipo de la falla se detecta fácilmente porque genera un punto caliente "más brillante", debido a las temperaturas más altas involucradas. Esto permite detectar el defecto desde altitudes superiores a 50 m. La figura 218 también presenta un módulo con vidrios rotos, pero en este caso, solo algunas celdas del módulo fotovoltaico están más calientes que otras y la diferencia de temperatura es mucho menor (alrededor de 4 K), lo que dificulta la detección. La figura 219 muestra un punto caliente que reveló un punto de delaminación en el módulo fotovoltaico. Esta falla es mucho más difícil de detectar debido al pequeño tamaño y la pequeña diferencia de temperatura (menos de 7 K).

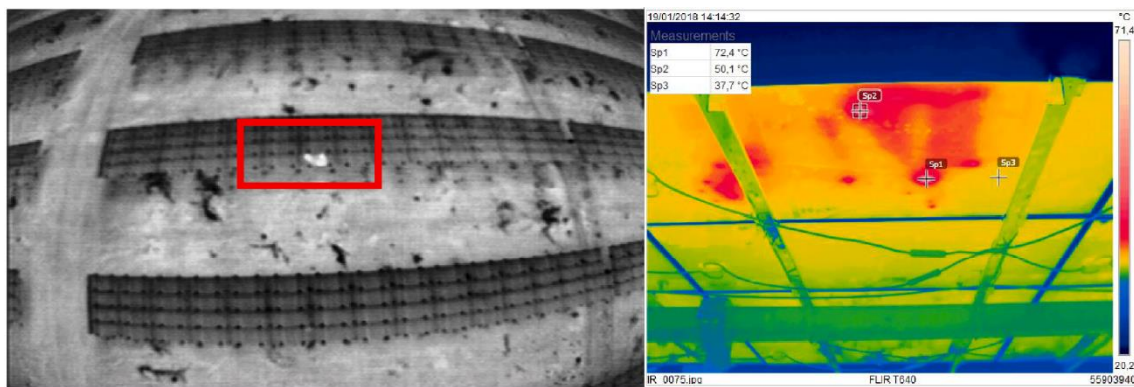
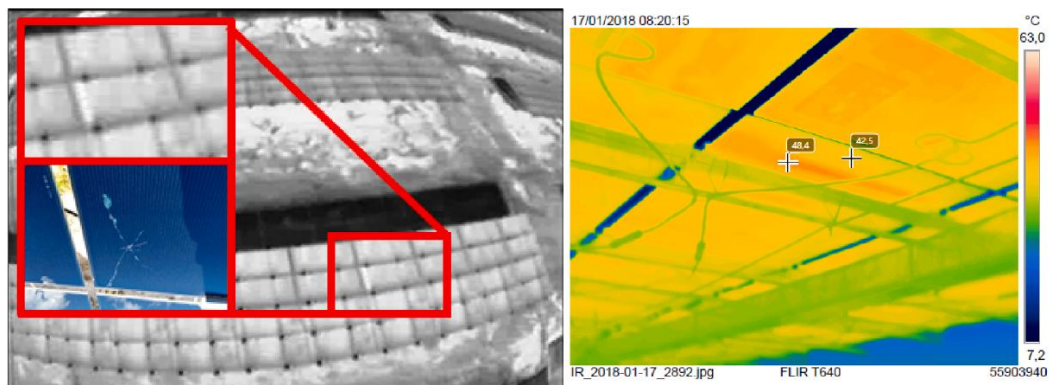
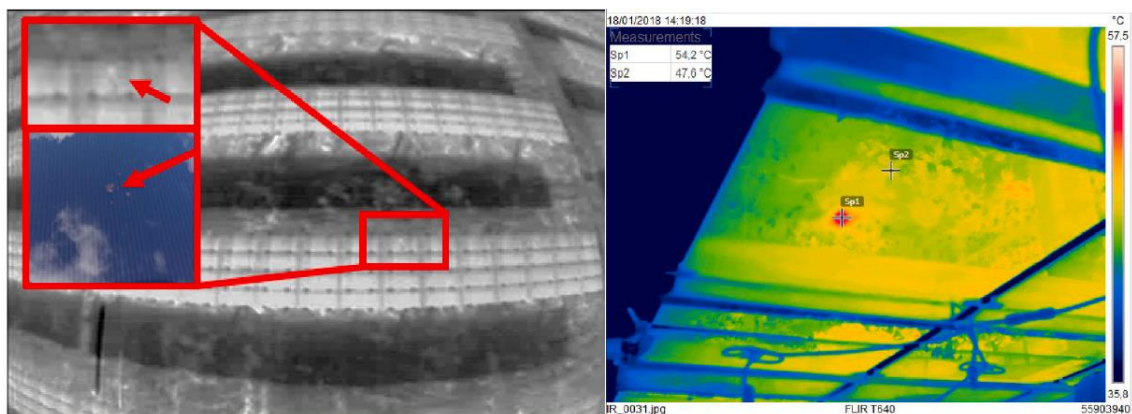


Figura 217. Módulo fotovoltaico con el cristal frontal roto



**Figura 218.**Módulo fotovoltaico con el cristal frontal roto, en el que se ha dañado una célula entera (esquina izquierda del módulo)



**Figura 219.**Módulo fotovoltaico con un punto de deslaminación

Como conclusiones de este estudio, se han probado y comparado dos equipos de medición diferentes y, como se esperaba, el resultado muestra que el Sistema 2 proporcionó una experiencia más rápida y sencilla. Esto se debe a la solución integrada que proporciona el equipo, a la mejor calidad de su cámara y GPS y a la existencia de una cámara RGB en el UAV, lo que permite diferenciar más rápidamente los fallos de la suciedad y la vegetación. Debido a sus ventajas, el Sistema 2 es más caro que el Sistema 1. Sin embargo, los resultados mostraron que este coste se compensa con la reducción del tiempo de inspección y, por tanto, con la reducción de los costes de mano de obra. En cuanto a la comparación de los análisis de fallos en tiempo real con los posteriores al vuelo, los análisis realizados después o entre vuelos resultaron ser más eficaces y requirieron menos tiempo en el lugar. La duración de la inspección también se vio la tecnología de los módulos fotovoltaicos y la calidad de la cámara del sistema de medición empleado.

Los resultados de estas pruebas de vuelo son muy importantes porque muestran los fallos más comunes que pueden producirse en el funcionamiento de las centrales fotovoltaicas y, a partir de ahí, los operadores pueden decidir cómo abordarlas y prevenirlas, maximizando el tiempo de funcionamiento de las centrales fotovoltaicas a escala comercial.

#### 4.2.4.2. Fotogrametría: Procesamiento de Datos Termales en Pix4D Mapper [67]

Vamos a realizar el procesamiento de imágenes termales recogidas mediante PIX4D capture con un dron cámara Zenmuse XT.

Como primer paso se realiza un nuevo proyecto dando un nombre al proyecto, en este caso, Lev\_ térmico y un directorio para guardar todos los datos.

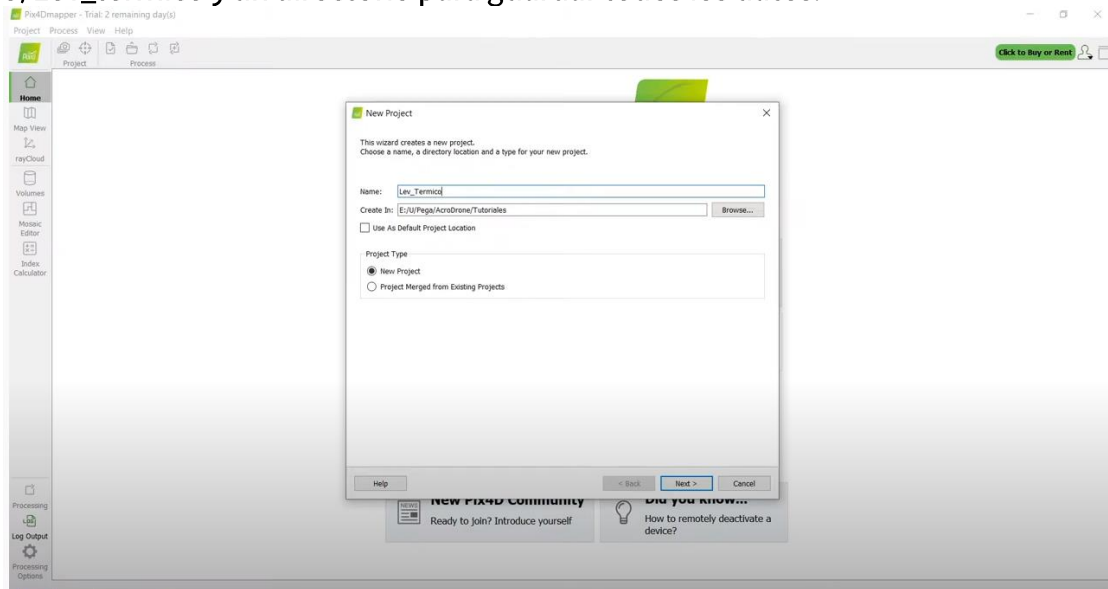


Figura 220.Crear proyecto

Como siguiente paso se cargan las fotos obtenidas por el dron. En este caso, son 152 fotos obtenidas en Alemania con una dron equipado con cámara Zenmuse XT. Después procedemos al siguiente paso.

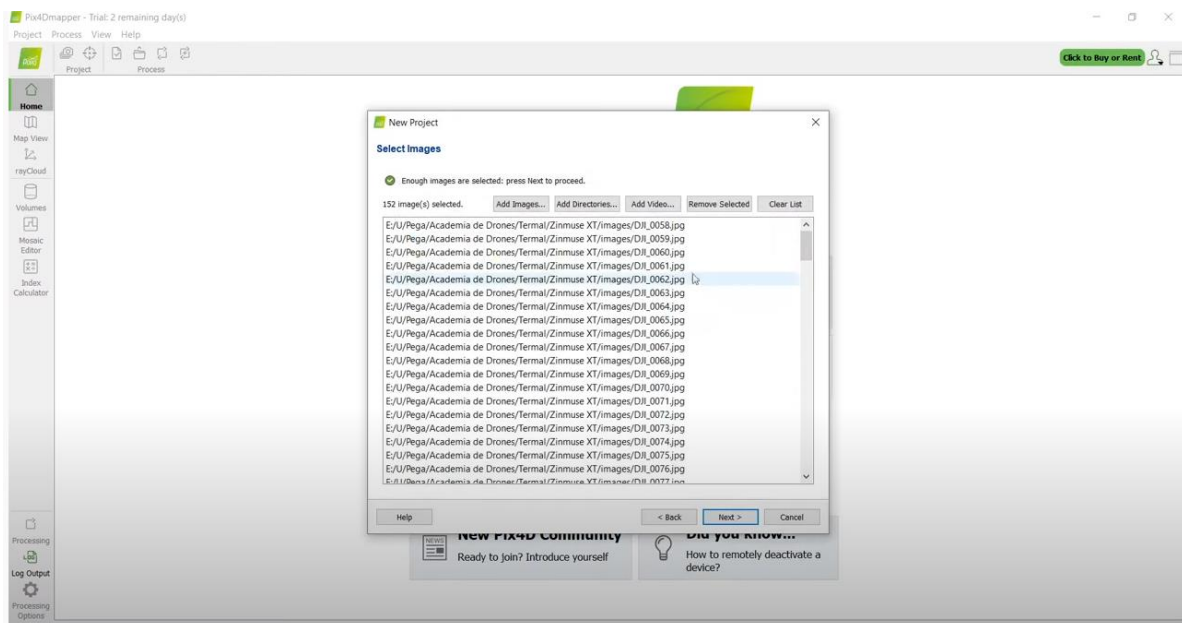


Figura 221.Carga de imágenes a procesar

Al presionar next, detecta que son imágenes termales y las carga esos datos termales además de del archivos exif que proporcionan la geolocalización de esas imágenes y también al modelo.

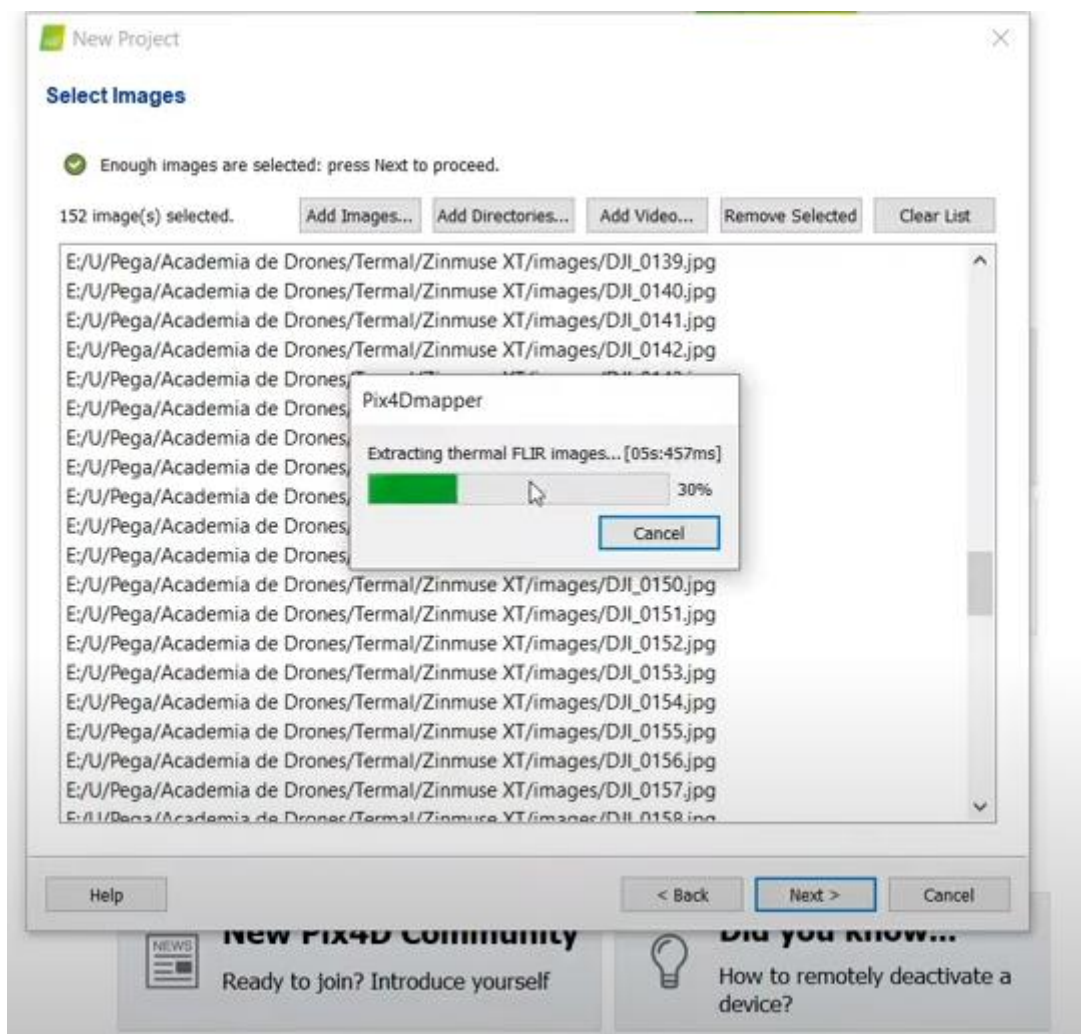


Figura 222.extracción de imágenes termales

Imágenes de la cámara XT (última versión XT2) aparte de cámara termal dispone también de cámara RGB integrada. Se usan en dron DJI 600/200

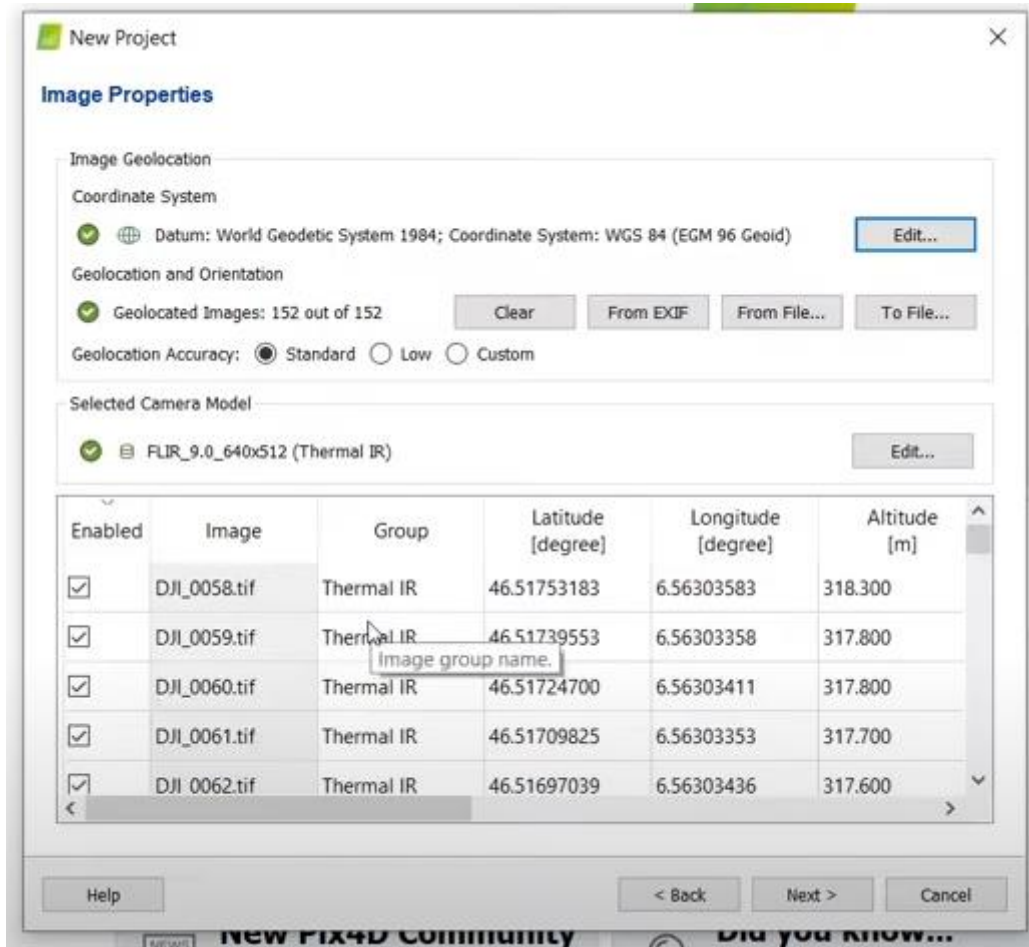


Figura 223. Propiedades de las imágenes cargadas

Se puede ver que el archivo exif se cargó junto con los datos termales, ya que nos dice que las 152 imágenes fueron geolocalizadas y también nos proporciona los datos de posición de todas las imágenes. Seguimos al paso siguiente.

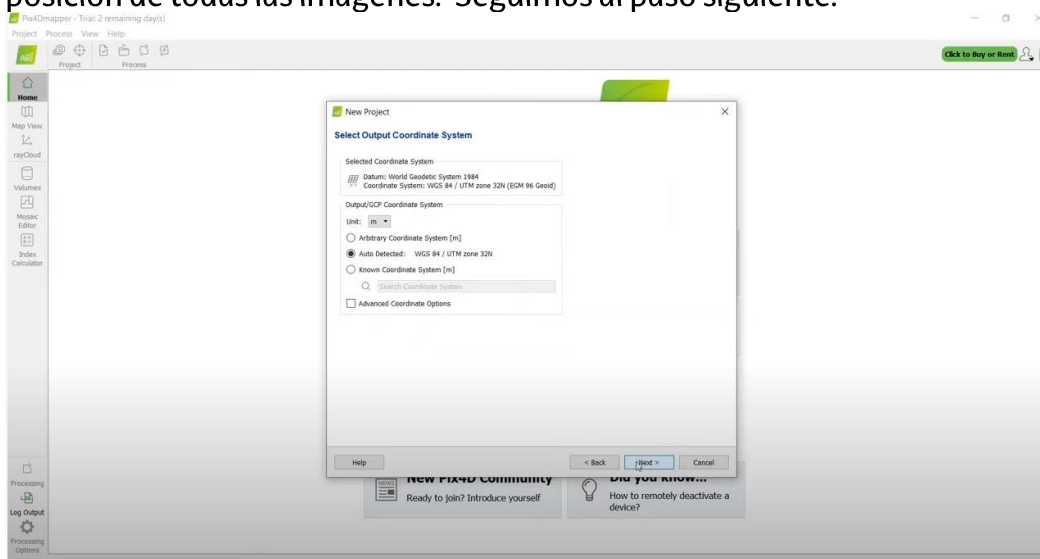


Figura 224. selección coordenadas de salida

En la imagen anterior se puede ver que la auto detección de coordenadas es la correcta y por lo cual, no tenemos que variar nada.

Como en el caso de ortomapas, se disponen de plantillas para agilizar el trabajo de selección de datos

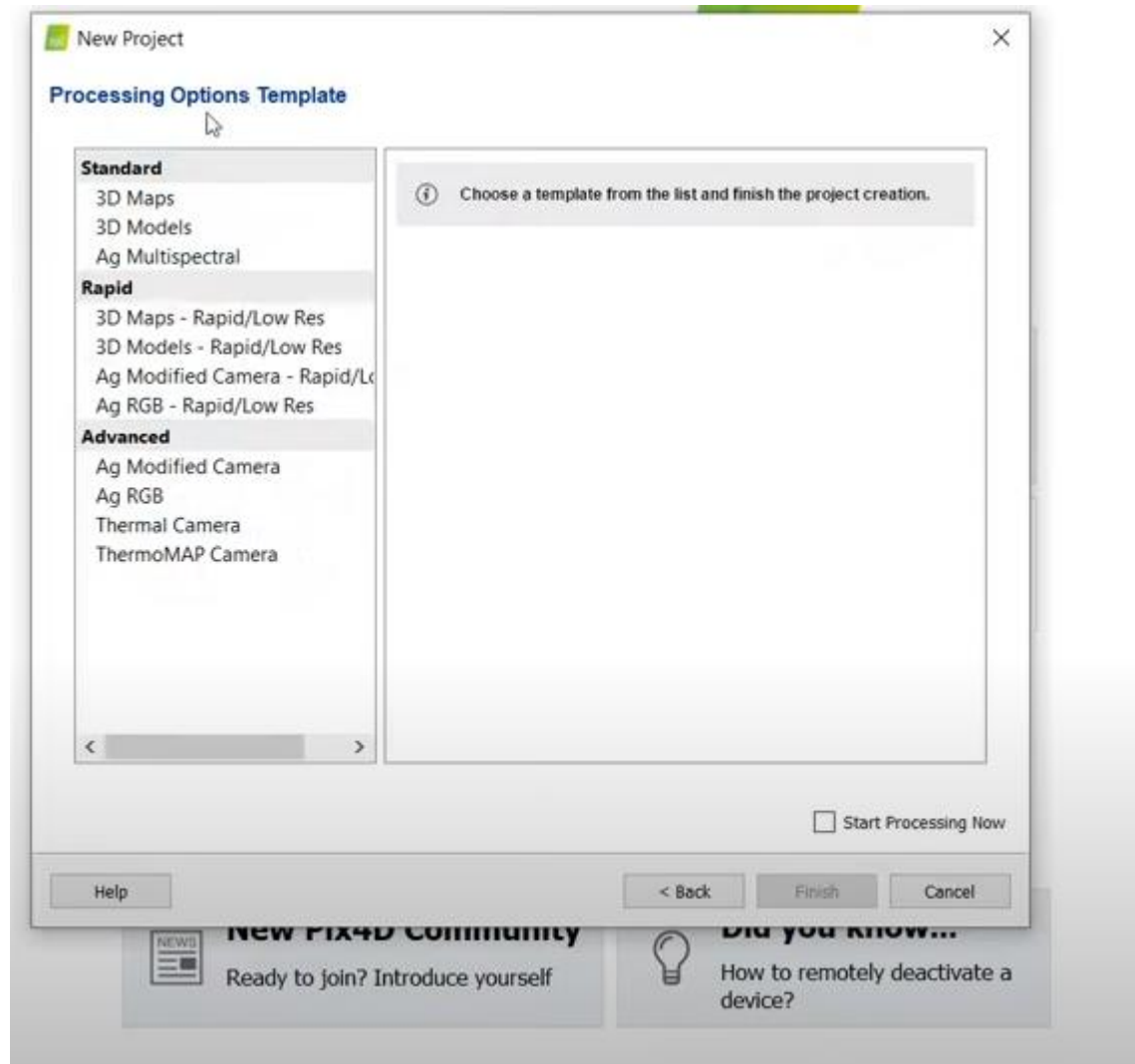


Figura 225.plantillas para trabajos

Estas plantillas de trabajo están explicadas en las tablas 9 y tabla 10 de 4.2.3.1. Pix4d mapper: Mapas georeferenciados desde imágenes.

De todas las opciones que se plantean, en este caso, la mejor opción es la ThermoMAP Camara (Cámara ThermoMAP), ya que no solo nos genera un mapa de reflectancia o mosaico térmico sino que también un índice térmico. Seleccionamos la plantilla y es muy importante que la casilla start processing now este desactivada.



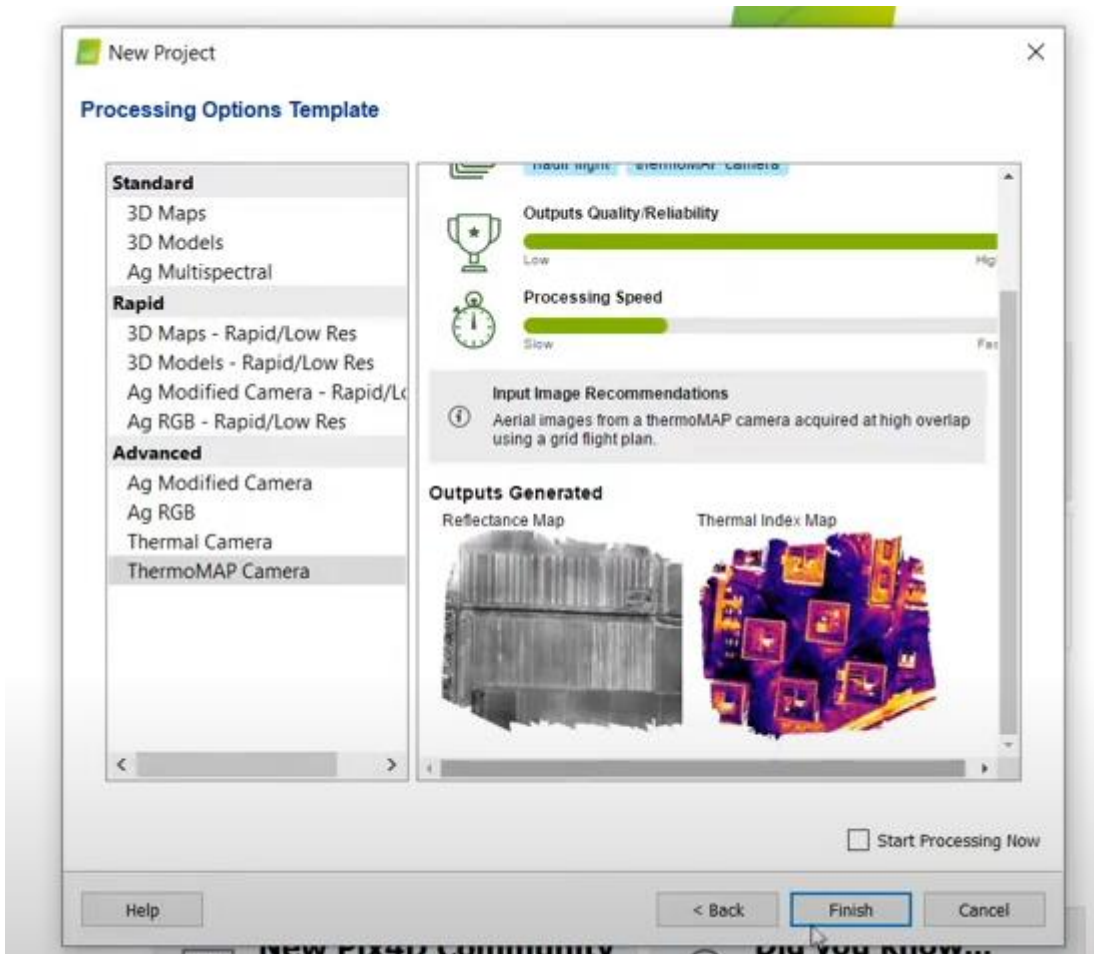


Figura 226. Selección plantilla

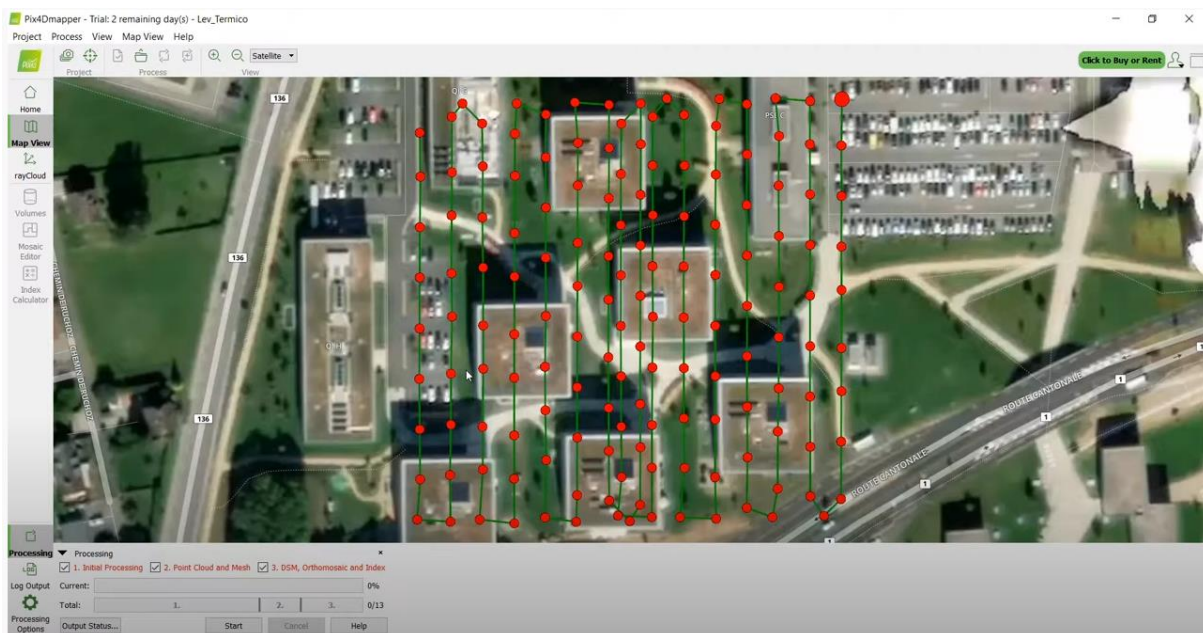


Figura 227.malla de vuelo y mapa base



Proceso inicial de solapamiento de fotos en modo custom: 2 doble (calidad más alta de procesamiento), va a realizar la alineación de las fotografías y va a realizar la búsqueda de puntos en común entre fotos para realizar el modelo o nube de puntos dispersa.

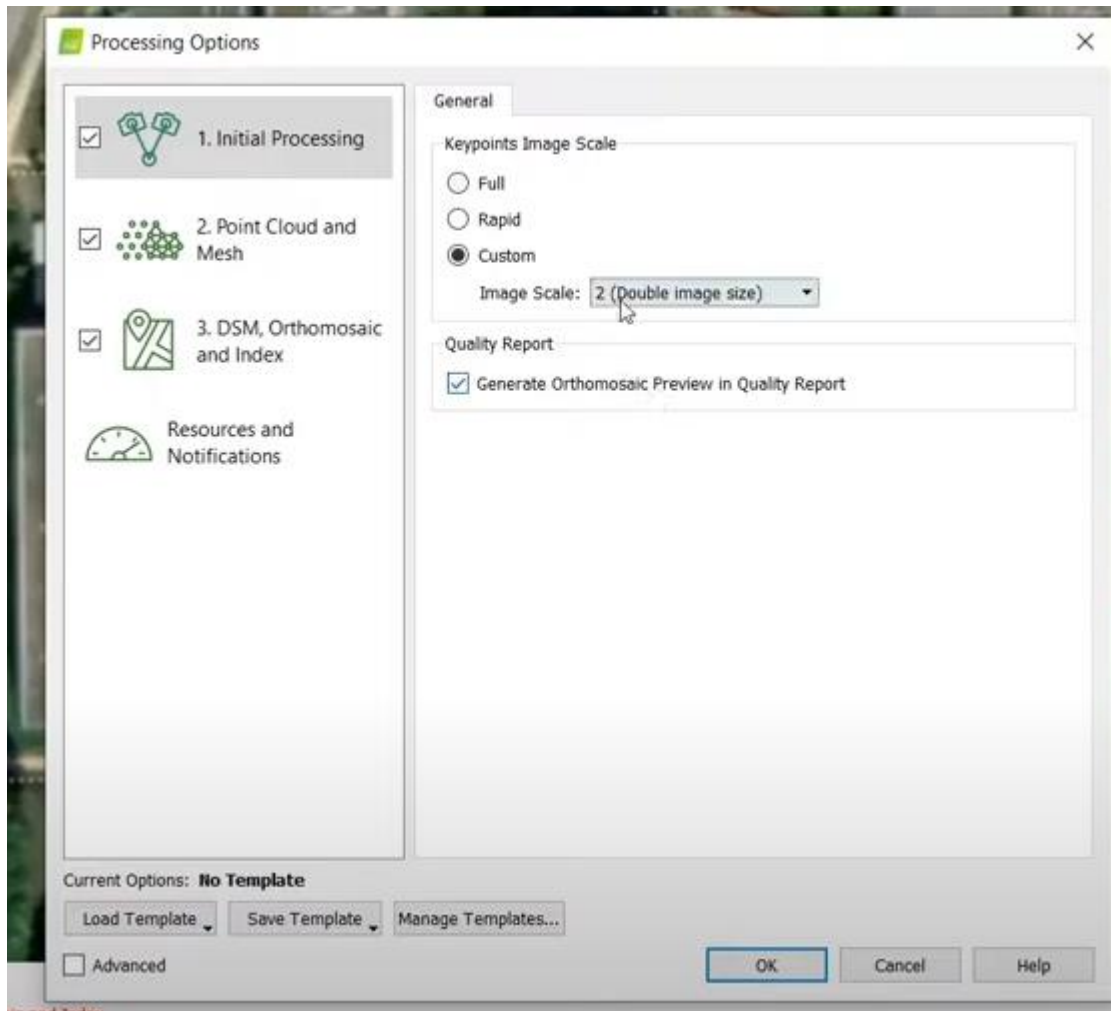


Figura 228. Proceso 1

En este caso no importa el mosaico termal o el modelo de elevación. Las cámaras multiespectrales y las termal no son buenas opciones para hacer modelos 3D. En este caso no se va a obtener buena estereoscopia no son necesarias las nubes de puntos, pero si se generan por que son base de los ortomosaicos, y por lo tanto necesarias para otros procesos. Aun así, se deja la imagen en escala 1:1, la densidad de puntos en High para obtener una buena calidad y el número mínimo de emperamiento de puntos en 5, por el mismo motivo, tener una buena calidad de productos con los que trabajar.

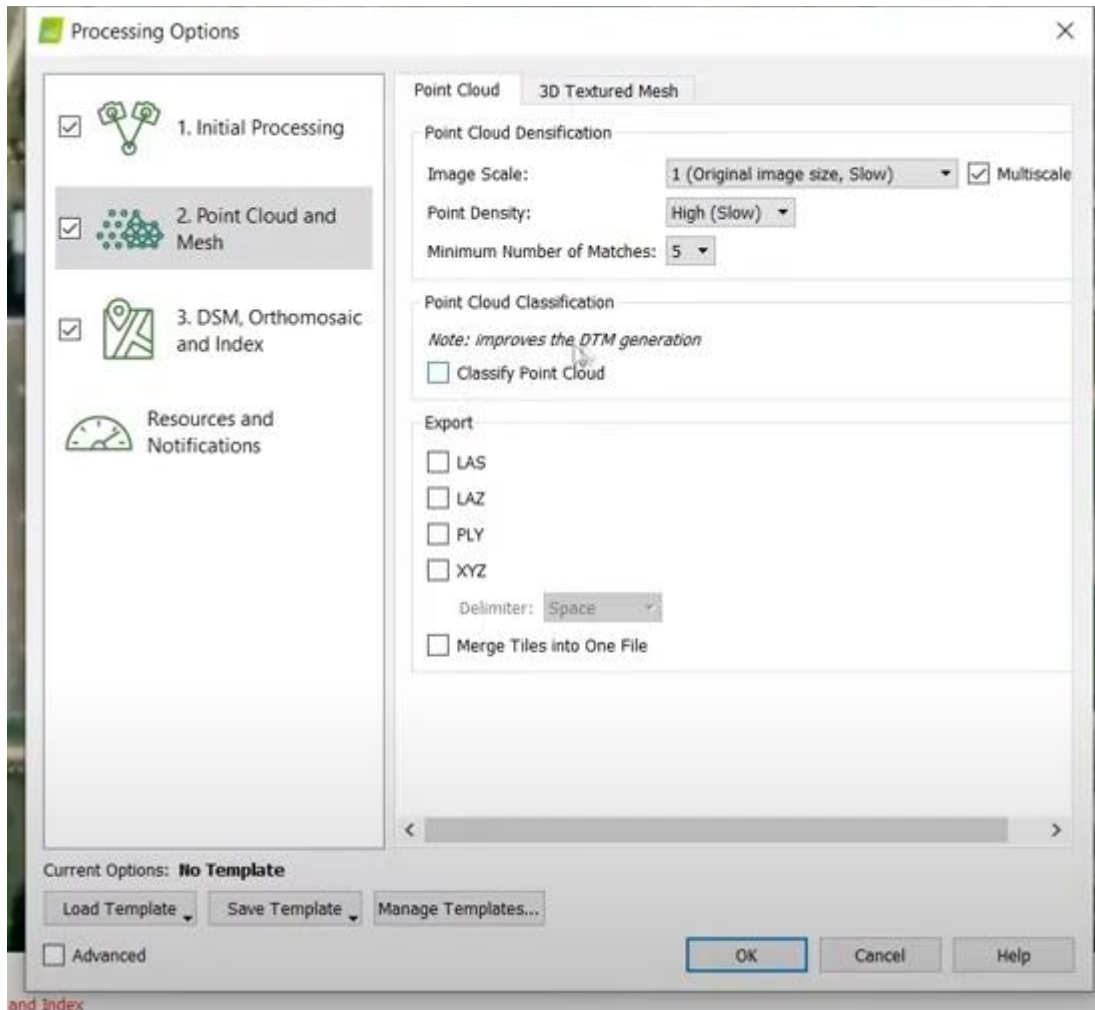


Figura 229.proceso 2

Se usaría la resolución automática y aunque en la imagen anterior este seleccionado custom, la cámara no puede proporcionar un GSD tan pequeño y por ello, va a interpolar el valor. Se generan los geotiff del raster DSM y del ortomosaico, además de usar filtros de suavizado.

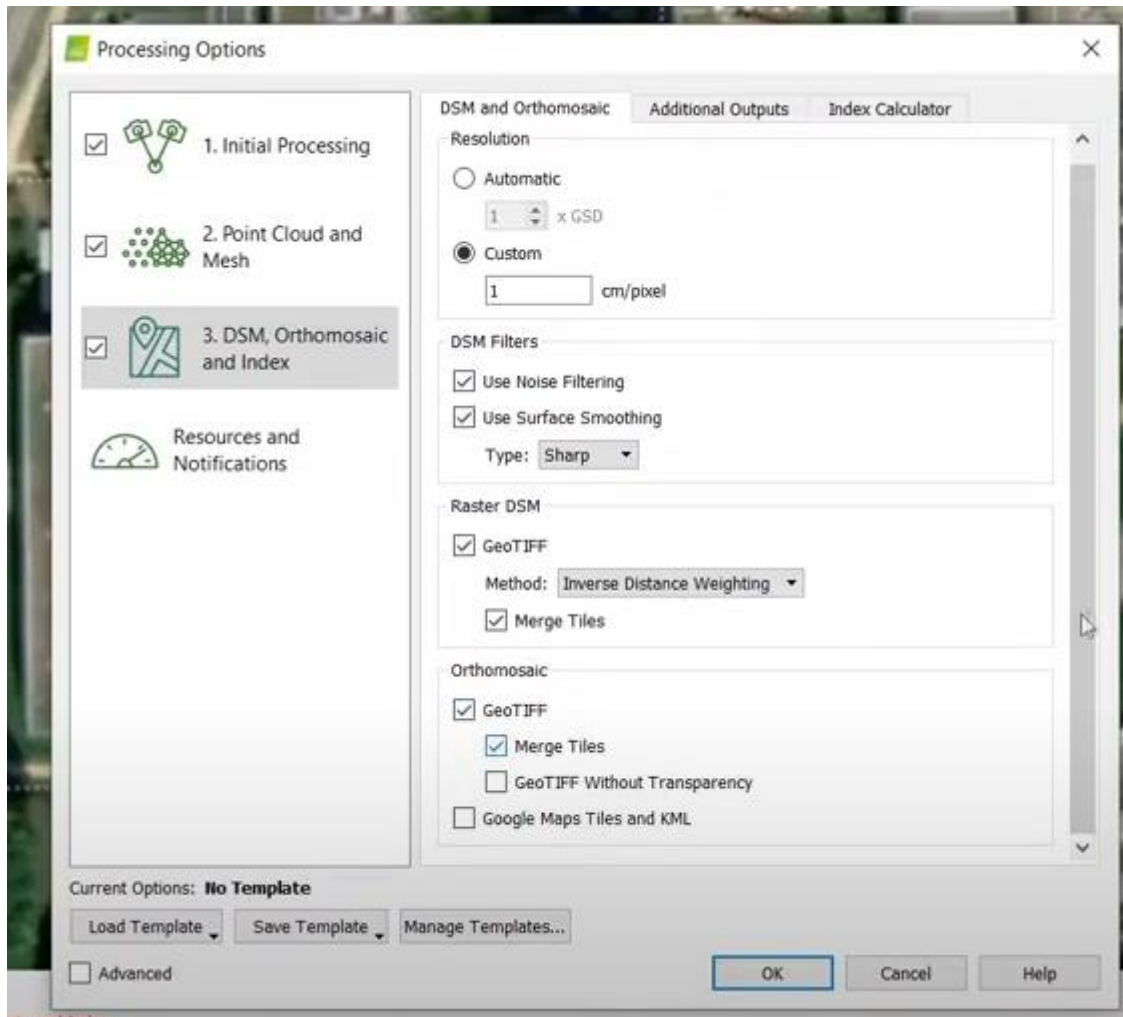
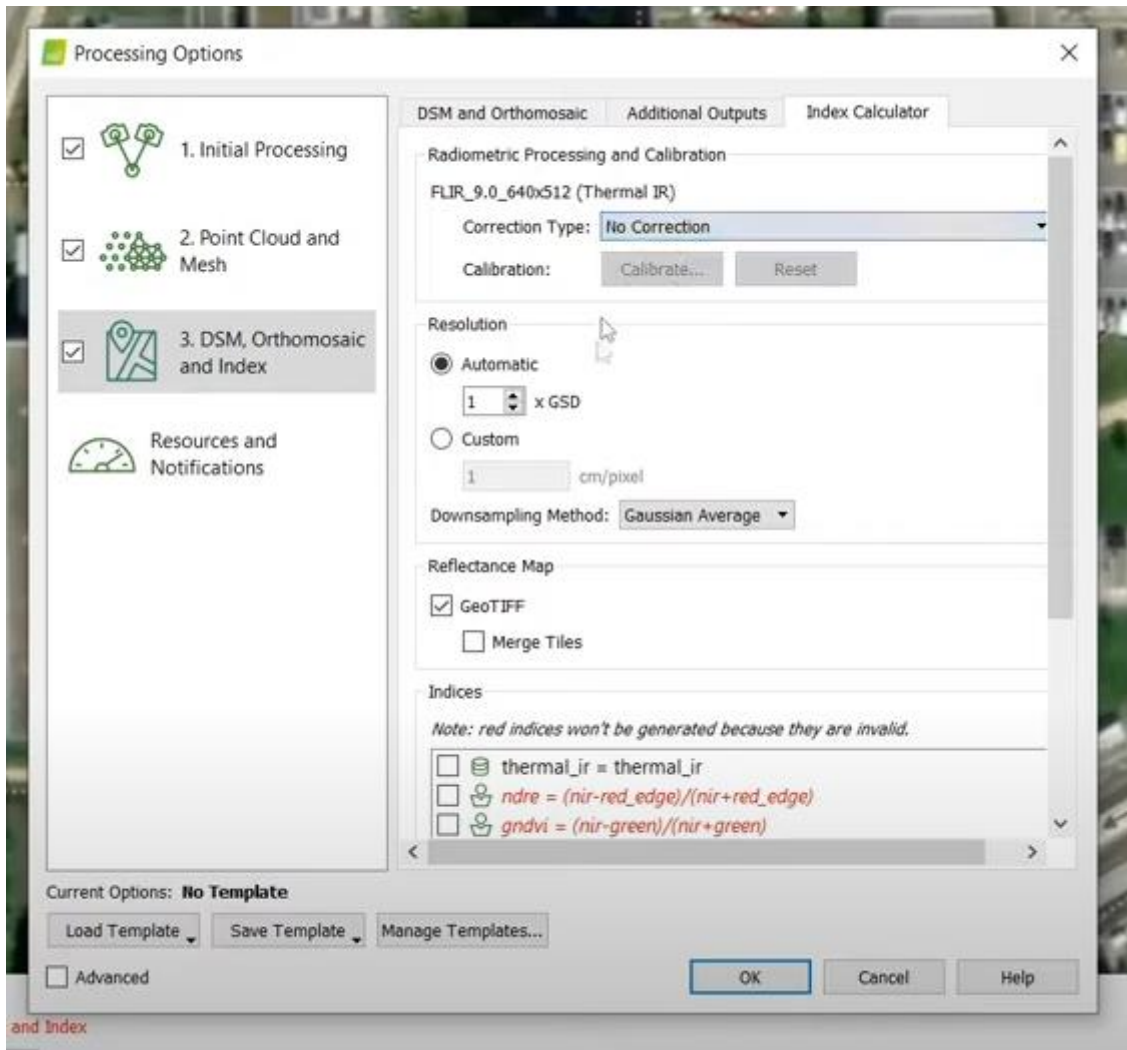


Figura 230.proceso 3

Al no disponer de la imagen de calibración de la cámara, no se pueden seleccionar tipos de corrección, y por ello, se debe de tener en cuenta que se arrojarán valores térmicos anómalos en algunos puntos de los resultados.

Selección de índices termal IR, que es el mapa de reflectancia, y temperatura para que genere el mapa de temperaturas.



and Index

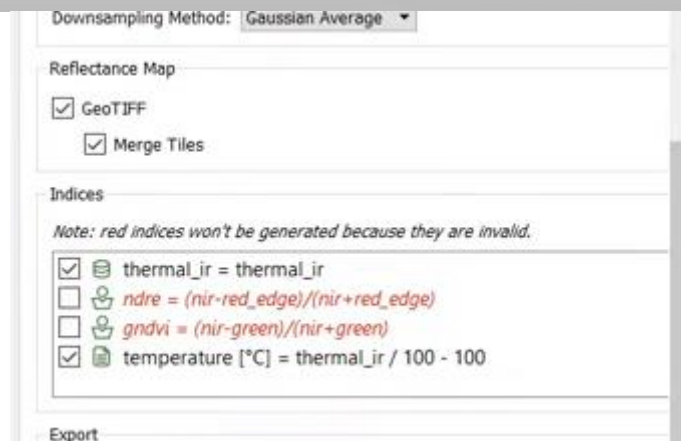


Figura 231.proceso 3 parte 2

Para que pueda trabajar más rápido se le asigna una cantidad de memoria ram, núcleos de procesamiento además de la capacidad de procesado de la tarjeta gráfica.

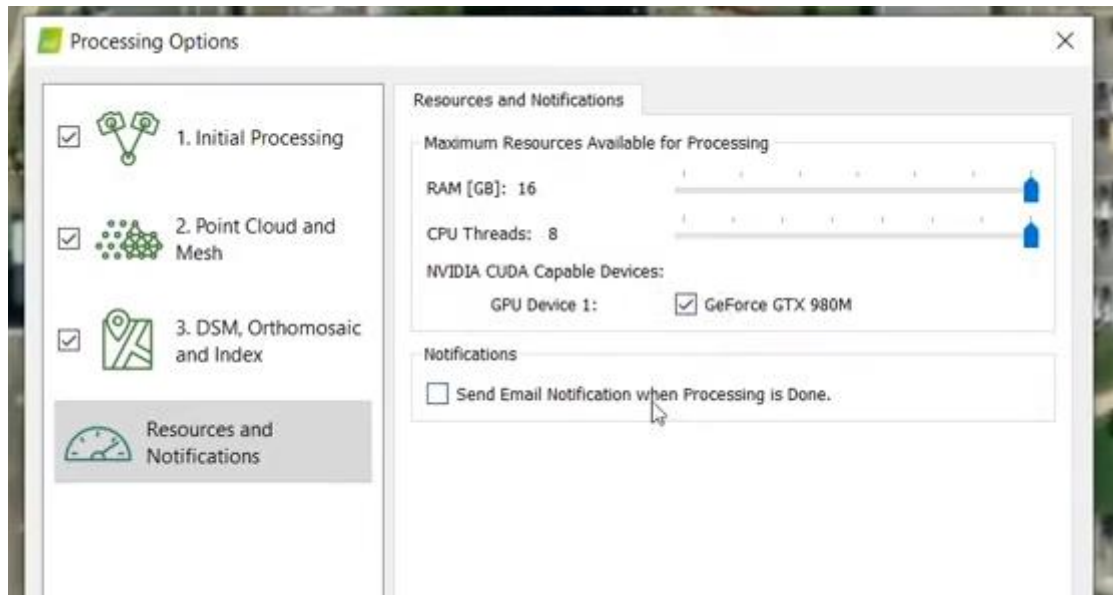


Figura 232. Asignación de recursos

Generación de todos los procesos a la vez.

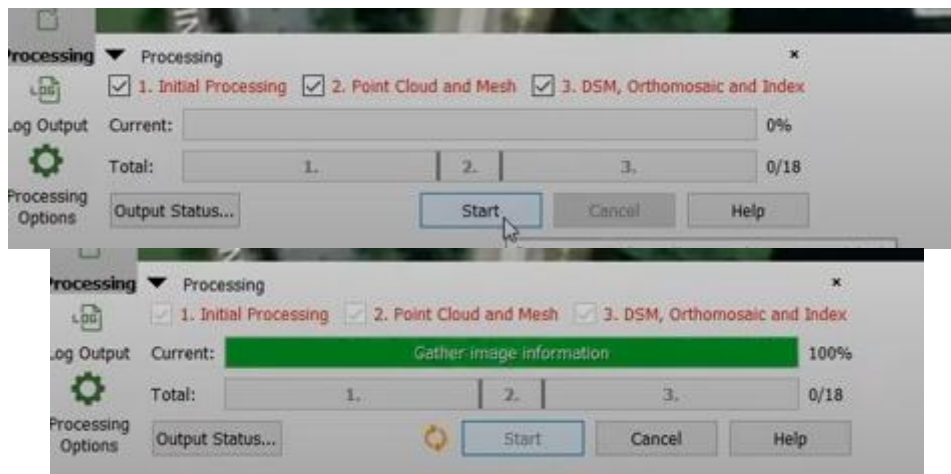


Figura 233. Procesos conjuntos

Finalizado el proceso, nos proporciona un report.



Figura 234. Reporte 1

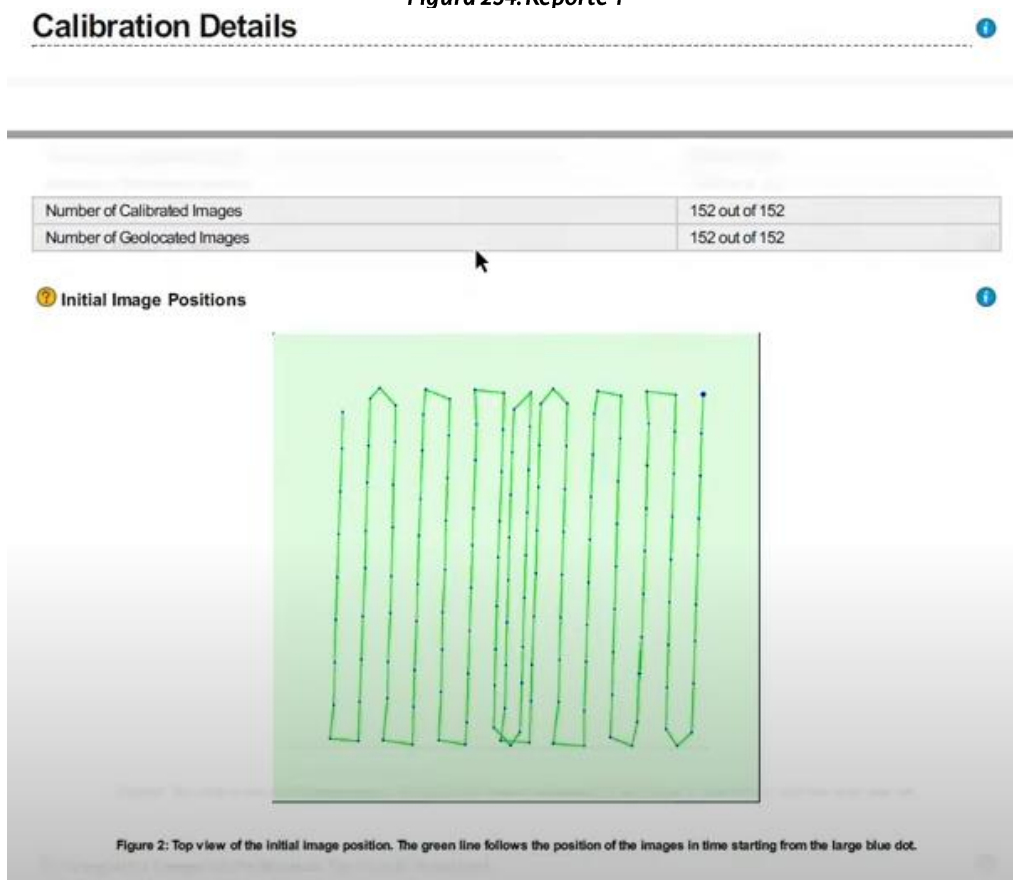


Figura 235. Reporte 2


 Quality Check ?

?	Images	median of 1705 keypoints per image	⚠
?	Dataset	152 out of 152 images calibrated (100%), all images enabled	✓
?	Camera Optimization	1.26% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
?	Matching	median of 861.335 matches per calibrated image	⚠
?	Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

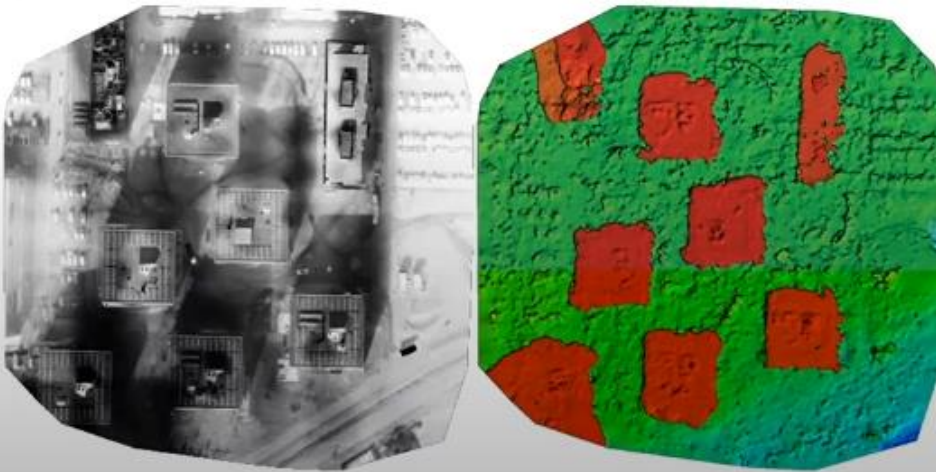
 Preview ?


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Figura 236. Reporte 3

Visualización de productos generados.

Como se ve en la siguiente imagen, una cámara térmica no es una buena opción para realizar levantamiento de nubes 3D



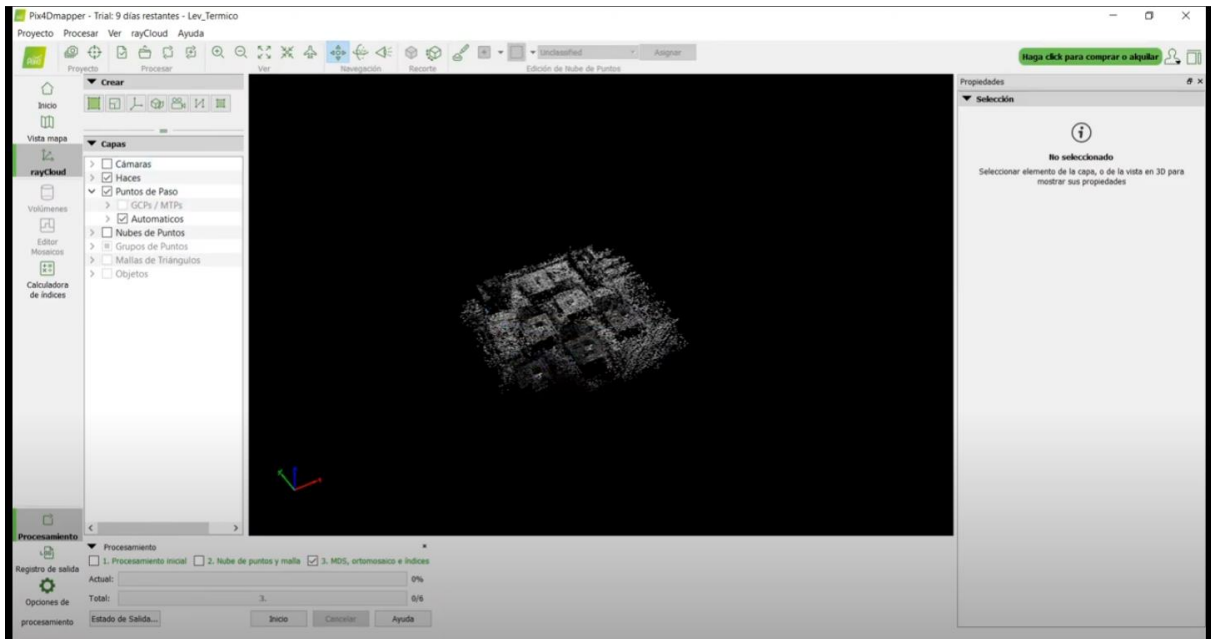


Figura 237. nube de puntos

Lo que interesa en la calculadora de índices

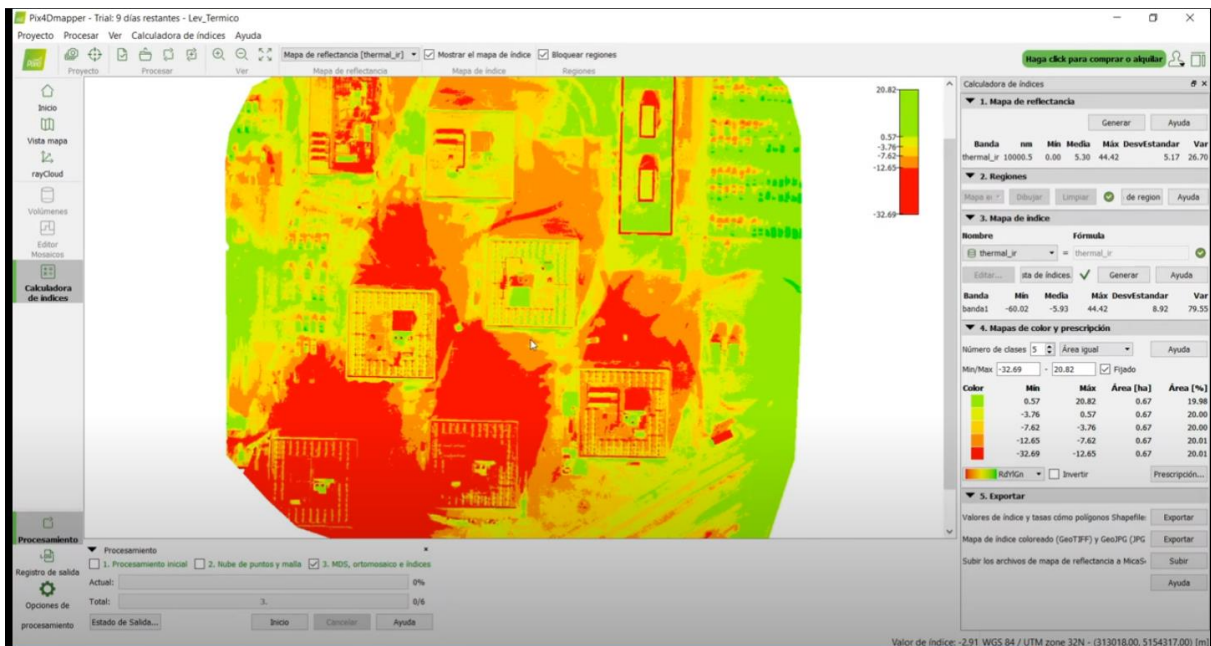


Figura 238. Índice termal

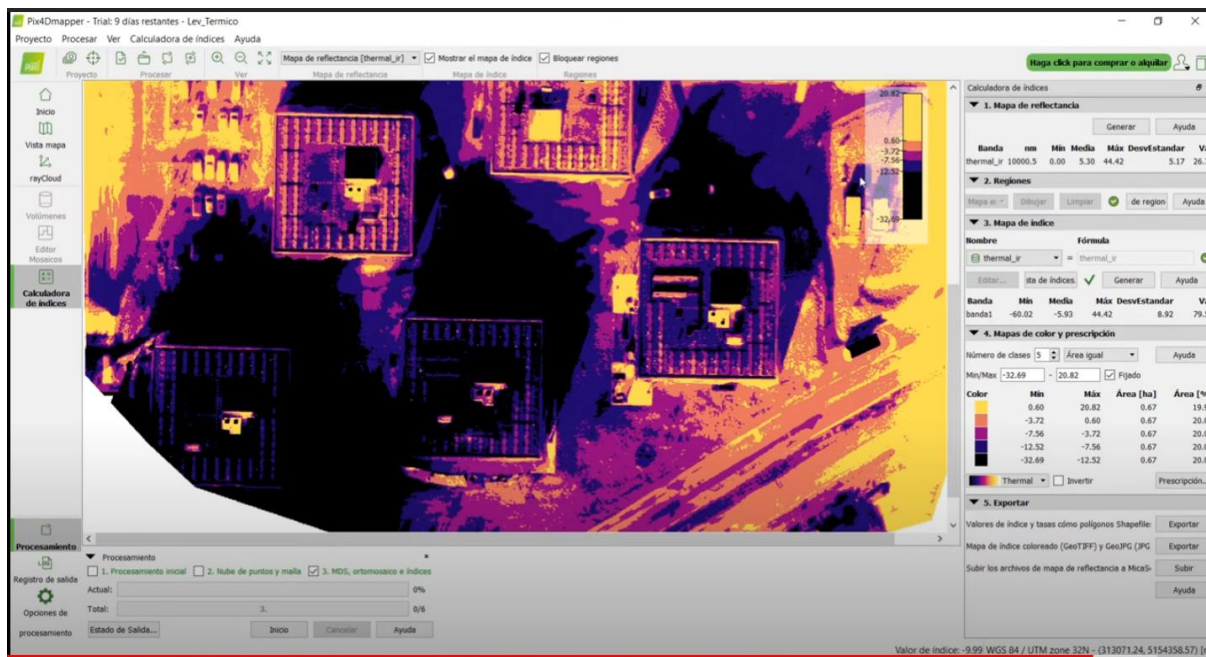


Figura 239. Índice de mapa terma con cambio de escala

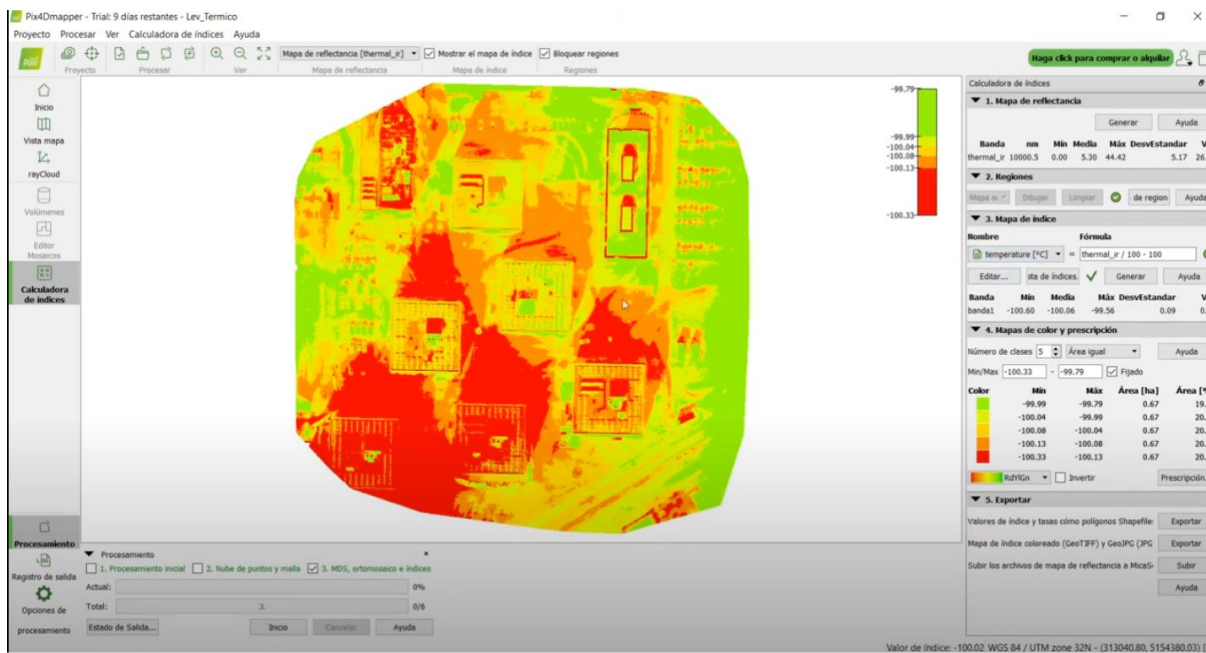


Figura 240. Índice de mapa de temperatura

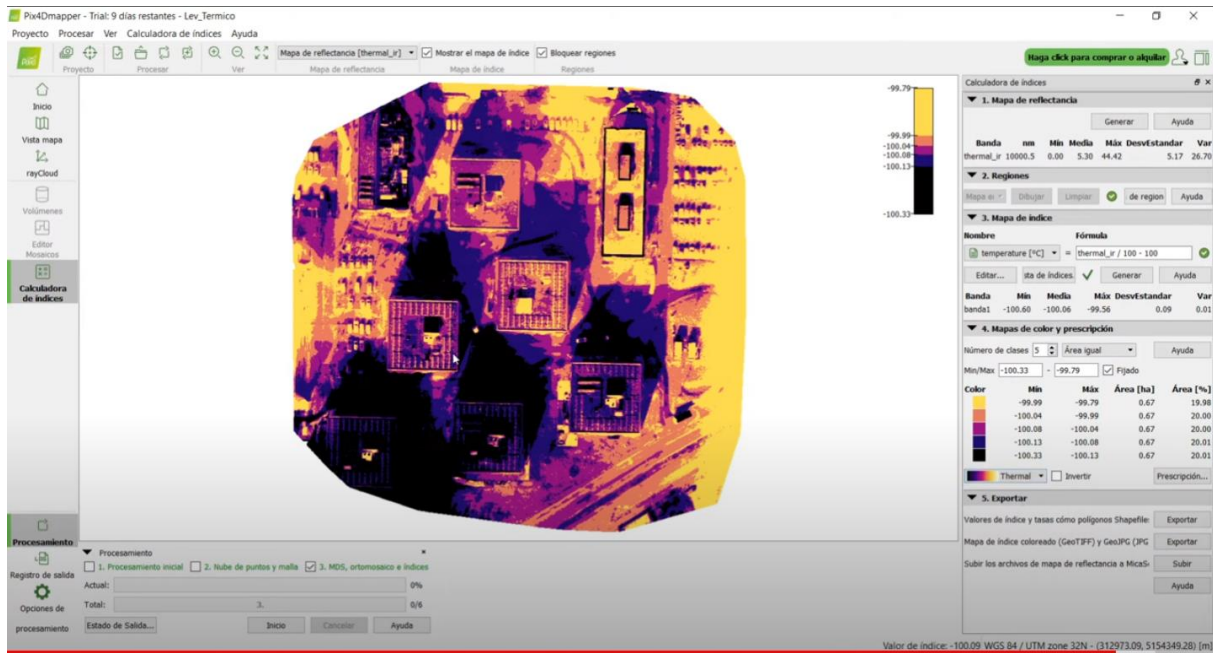


Figura 241. Índice de mapa de temperatura con cambio de escala

Analizando los resultados, se ve a simple vista que son irreales, esto es debido a la falta de calibración de la cámara, por ello, se llega a la conclusión que una cámara termal debe estar perfectamente calibrada con su patrón para poder realizar cualquier medida o toma de datos desde el software.

Se puede visualizar el resultado en otro programa. Este caso QGis, añadiendo las capas que se quiera visualizar

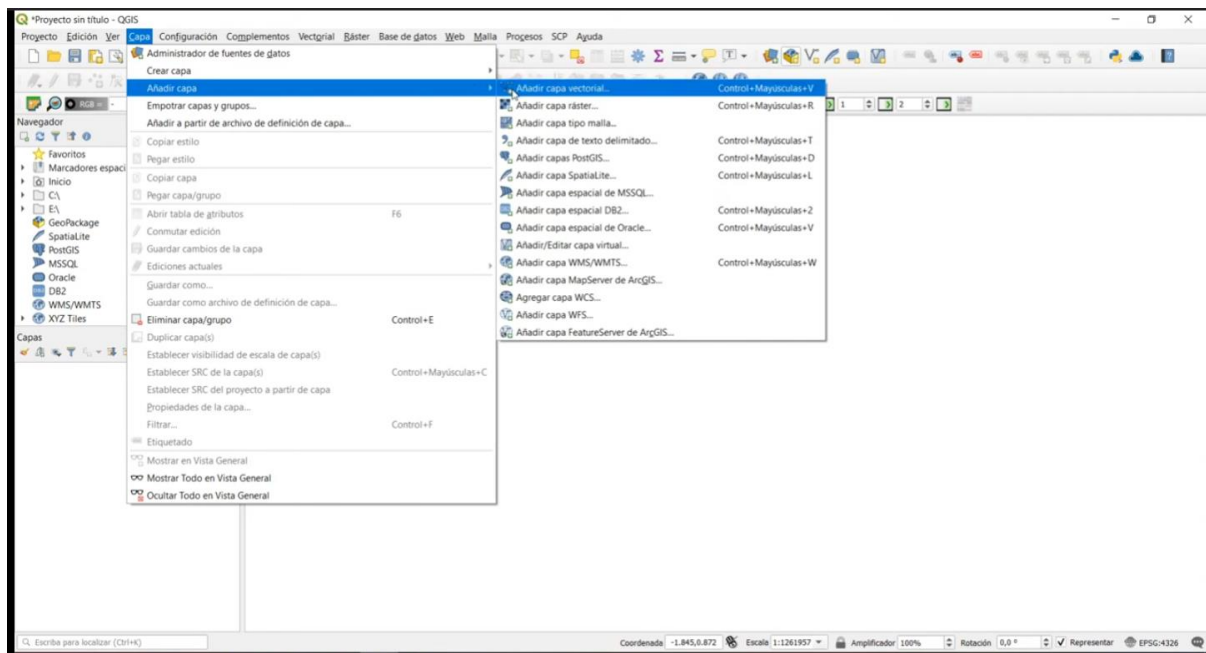


Figura 242. apertura raster en qgis

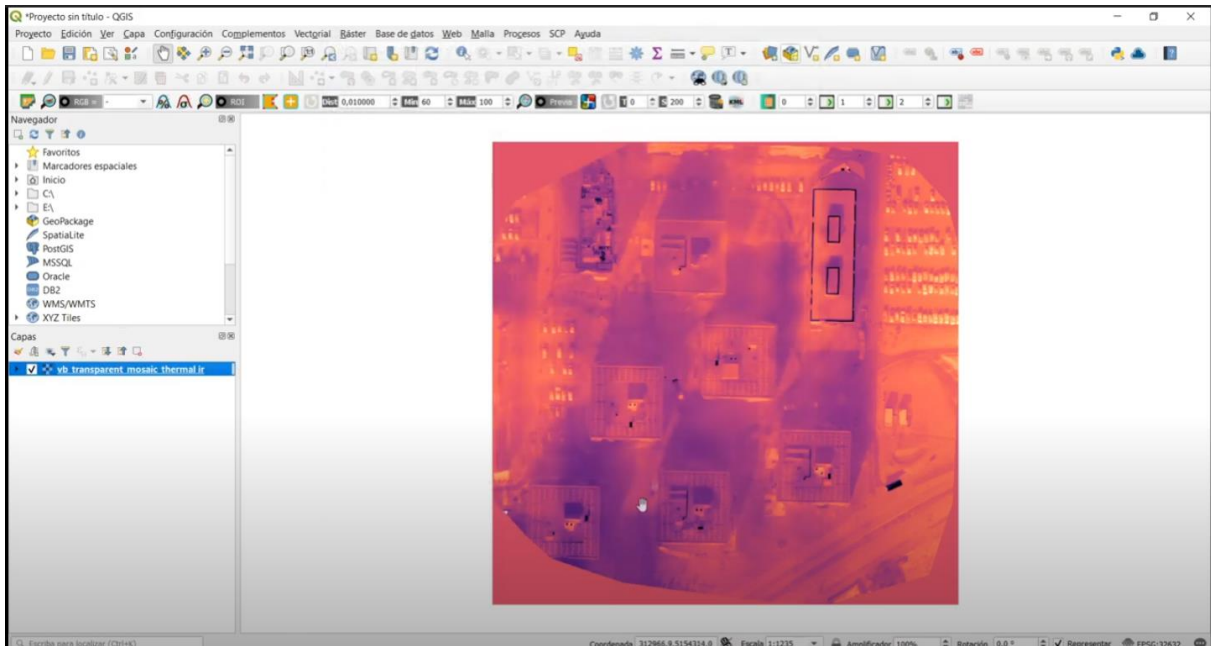


Figura 243. Mosaico termal pero desde QGIS

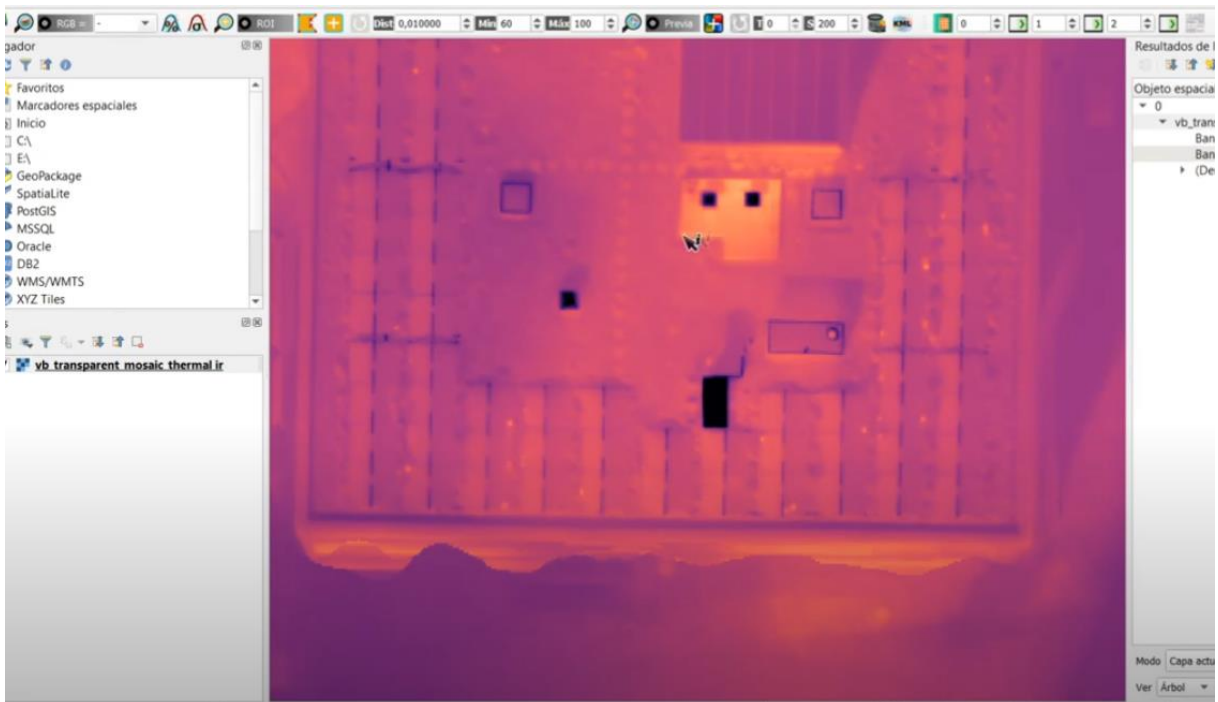


Figura 244. Ejemplo

Haciendo zoom en los datos térmicos, aunque no sean datos numéricos reales, si se puede interpretar la escala. En la figura 244 anterior, se pueden ver patrones de sombras y otros objetos, que debido a la huella térmica, no su valor, se saben que están ahí.



Por ejemplo, las zonas negra que se pueden visualizar, serán, posiblemente objetos contruidos con material que absorben más calor que el resto de ovejos de la imagen. Y se puede concluir, que la sombra más oscura en la parte central superior, esta generada como sombra proyectada de otro objeto, de ahí, su variación de color.



## 5. CONCLUSIONES

Como se ha ido diciendo a lo largo del trabajo, realizar una auditoria energética puede ser tediosa a la vez que costosa. Con las mejoras de los sistemas informáticos y la "amigabilidad" de los entornos de procesado de datos, ese tiempo se acorta considerablemente. Como pega, nos podemos encontrar que, para realizar tomas de datos y el procesado de las imágenes, el personal debe ser cualificado para obtener un trabajo verídico. Además, se debe tener un amplio conocimiento tanto teórico como práctico para saber que realizar con esos datos obtenidos. De cualquier se ha demostrado que el uso de drones no profesionales para levantamientos fotográficos es factible, aun así, la calidad de la obtención de datos siempre será mejor haciendo usando de drones profesionales.

En lo que respecta a la planificación de vuelos, las aplicaciones disponibles en el mercado facilitan ampliamente este trabajo. De una buena planificación de vuelo, depende la calidad del trabajo resultante. En estos momentos, introduciendo únicamente unos pocos datos (tipo de misión, altura de vuelo, traslape...), el programa mismo calcula el resto de datos, lo que es muy cómodo y ahorra tiempo, ya que hace algunos años todos estos parámetros habría que calcularlos a mano. Es muy importante que todas las imágenes estén georreferenciadas, y si no es así, que haya suficientes puntos en común entre fotografías para que la posterior reconstrucción sea válida.

La tecnología láser escáner y LIDAR, aunque está ampliamente desarrollada, sigue siendo costosa para proyectos de pequeña envergadura, aun así, su combinación con otras tecnologías arroja resultados muchos más precisos. Estas tecnologías son mejores cuando se quieren conseguir datos métricos más precisos que mediante la fotogrametría, ya que su toma de datos es más precisa. Por el contrario, procesar esos datos en mucho más lento, también lo es su planificación para obtenerlos.

En el ámbito del uso de drones con cámaras termografías, la obtención de datos precisos tiene mucho que ver con la calibración de la cámara. Una mala calibración hace que los datos obtenidos no sean reales. De todas formas, la detección de fallos y problemas que causen desprendimiento de calor es mucho más rápida usando este tipo de cámaras que usando cualquier otro tipo de tecnología. Colocar cámaras térmicas en UAV, facilita la inspección de grandes zonas en las cuales, es muy difícil realizar este estudio térmico manualmente.

Por otro lado, el uso de drones en espacios cerrados es una técnica poco estudiada ya que conlleva grandes riesgos. Aunque los drones actuales están equipados con sensores anticolidión, volar uno en un espacio cerrado trae muchos problemas de planificación. Se podría usar este tipo de drones en industrias que tuvieran parte en el exterior y tomar los datos de esta menar y la parte bajo techo o interior realizarlo con cámara manual. Los estudios demuestran que la combinación de ambos tipos de obtención de viable, siempre y cuando todas las imágenes estén georreferenciadas y ambas tengan un sistema de coordenadas común.

Aun así, se puede decir, que el uso de UAV para la obtención de datos y dimensionamiento para poder contribuir en la mejora de la eficiencia energética es una gran mejora. Usar este tipo de vehículos acorta el tiempo y disminuye costos.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] "Aplicaciones operativas de los drones en Ingeniería."  
<https://blog.incubicon.com/aplicaciones-operativas-de-los-drones-en-ingenieria> (accessed Sep. 01, 2021).
- [2] "Drones | AESA-Agencia Estatal de Seguridad Aérea - Ministerio de Fomento."  
<https://www.seguridadaaerea.gob.es/es/ambitos/drones> (accessed Sep. 01, 2021).
- [3] "Normativa europea de UAS/drones | AESA-Agencia Estatal de Seguridad Aérea - Ministerio de Fomento."  
<https://www.seguridadaaerea.gob.es/es/ambitos/drones/normativa-europea-de-uas-drones> (accessed Sep. 01, 2021).
- [4] "Normativa de Drones en España 2021: Todo lo que debes saber | One Air."  
<https://www.oneair.es/normativa-drones-espana-aesa/> (accessed Sep. 01, 2021).
- [5] "Fotogrametría - Wikipedia, la enciclopedia libre."  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Fotogrametría> (accessed Sep. 01, 2021).
- [6] "Fotogrametría aérea con Drones » Topoingra."  
<https://www.topoingra.com/2018/03/08/fotogrametria-aerea-con-drones/> (accessed Sep. 01, 2021).
- [7] "Fotogrametría aérea con drones - ACG DRONE."  
<https://acgdrone.com/fotogrametria-aerea-con-drones/> (accessed Sep. 01, 2021).
- [8] "Ventajas e inconvenientes de la fotogrametría con drones - Drone Spain."  
<https://dronespain.pro/fotogrametria-con-drones/> (accessed Sep. 01, 2021).
- [9] "ventajas fotogrametría con drones." <https://www.aredron.com/ventajas-de-la-fotogrametria-con-drones/Tipos-de-fotogrametria> (accessed Sep. 01, 2021).
- [10] "4D Metric Topografía, Laser Scanner y Digitalización 3D."  
<https://www.4dmetric.com/drones-y-topografia/Estudio-de-mercado> (accessed Sep. 01, 2021).
- [11] E. X. Quirós rosado ÍNDICE, "Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil."
- [12] "La Distancia Focal Explicada con Ejemplos." <https://www.dzoom.org.es/la-distancia-focal-todo-lo-que-necesitas-saber-explicado-con-ejemplos/> (accessed Jun. 07, 2021).
- [13] "relacion con la escala fotográfica y la distancia focal de la cámara."  
<http://www.fao.org/3/t0390s/T0390S08.htm> (accessed Sep. 01, 2021).
- [14] R. Orellana Ramírez, "Apuntes Fotogrametría básica APUNTES DE FOTOGRAMETRÍA," 2006.
- [15] juan antonio perez, "apuntes fotogrametría 2."  
<http://redgeomatrica.rediris.es/cartoprofesores/Fotogrametria/Apuntes-de-Fotogrametr%92a-II.pdf> (accessed Sep. 01, 2021).



- [16] "Exposición en Fotografía: La Guía Definitiva - Capítulo 2 | PhotoPills." <https://www.photopills.com/es/articulos/guia-exposicion-fotografia-2> (accessed Sep. 01, 2021).
- [17] "Histograma escala de grises imagen Bárbara. Figura 19. Histograma... | Download Scientific Diagram." [https://www.researchgate.net/figure/Figura-18-Histograma-escala-de-grises-imagen-Barbara-Figura-19-Histograma-escala-de\\_fig17\\_321176830](https://www.researchgate.net/figure/Figura-18-Histograma-escala-de-grises-imagen-Barbara-Figura-19-Histograma-escala-de_fig17_321176830) (accessed Sep. 01, 2021).
- [18] "Diferencias entre un DSM, DEM & DTM | El blog de franz." <https://acolita.com/diferencias-dsm-dem-dtm/> (accessed Sep. 01, 2021).
- [19] Alonso, "7 El Modelo Digital de Terreno (MDT)." [https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node47\\_tf.html](https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node47_tf.html).
- [20] "Hidráulica Fácil." <https://www.hidraulicafacil.com/> (accessed Sep. 01, 2021).
- [21] "Diferencias entre un Modelo Digital de Superficie (MDS) y un Modelo... | Download Scientific Diagram." [https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Diferencias-entre-un-Modelo-Digital-de-Superficie-MDS-y-un-Modelo-Digital-del\\_fig6\\_303838466](https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Diferencias-entre-un-Modelo-Digital-de-Superficie-MDS-y-un-Modelo-Digital-del_fig6_303838466) (accessed Sep. 01, 2021).
- [22] "Plan Nacional de Ortofotografía Aérea." <https://pnoa.ign.es/mds-lidar> (accessed Sep. 01, 2021).
- [23] "apuntes fotogrametria 3." <http://redgeomatrica.rediris.es/cartoprofesores/Fotogrametria/ApuntesFotogrametria3.pdf> (accessed Jun. 06, 2021).
- [24] "¿Qué es trimmear? ¿Cómo corregir dirección si un dron se va de lado y no se estabiliza?" <https://www.wikiversus.com/electronica-y-gadgets/drones/trimmear-como-corregir-direccion-dron-se-va-lado-no-se-estabiliza/> (accessed Sep. 04, 2021).
- [25] "▷ Cómo planificar el vuelo del dron: trayectoria, ángulo cámara, altura..." <https://www.aerial-insights.co/blog/como-planificar-capturas-de-dron/> (accessed Jul. 18, 2021).
- [26] "¿Qué tipos de vuelo puedo realizar con mi dron? - Gis&Beers." <http://www.gisandbeers.com/tipos-de-vuelo-puedo-realizar-dron/> (accessed Aug. 08, 2021).
- [27] "TOP 6 de errores que no debes de cometer en tus vuelos con drones." <https://www.aerial-insights.co/blog/6-errores-en-vuelos-con-drones/> (accessed Sep. 01, 2021).
- [28] "5 errores habituales de vuelos con drones para cartografía." <https://www.nosolosig.com/articulos/531-5-errores-habituales-de-vuelos-con-drones-para-cartografia> (accessed Sep. 01, 2021).
- [29] "10 errores comunes al volar su dron - GoDron Tienda de Drones." <https://tienda.godron.mx/10-errores-comunes-al-volar-su-dron/> (accessed Sep. 01, 2021).
- [30] A. Barrientos, J. Del Cerro, P. Gutiérrez, R. S. Martín, A. Martínez, and C. Rossi, "Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones."
- [31] "▷ Tipos de drones: ¿Cuántos tipos de drones existen en el mercado?"





- <https://www.aerial-insights.co/blog/tipos-de-drones> (accessed Sep. 04, 2021).
- [32] "DJI - Página oficial." <https://www.dji.com/es> (accessed Sep. 04, 2021).
- [33] "Parrot | Líder europeo de drones profesionales." <https://www.parrot.com/es> (accessed Sep. 04, 2021).
- [34] "Drone Mapping Software | Drone Mapping App | UAV Mapping | Surveying Software | DroneDeploy." <https://www.dronedeploy.com/> (accessed Sep. 04, 2021).
- [35] "Professional photogrammetry and drone mapping software | Pix4D." <https://www.pix4d.com/> (accessed Sep. 04, 2021).
- [36] "6 aplicaciones para planificar el vuelo de tu dron - Aerial Insights." <https://www.aerial-insights.co/blog/6-aplicaciones-para-planificar-el-vuelo-de-tu-dron/> (accessed Sep. 04, 2021).
- [37] "Los mejores programas de fotogrametría de 2021 | All3DP." <https://all3dp.com/es/1/mejores-programas-fotogrametria/#agisoft-metashape> (accessed Sep. 04, 2021).
- [38] "Professional Edition." <https://www.agisoft.com/features/professional-edition/> (accessed Sep. 04, 2021).
- [39] "Termografía Infrarroja \* PITK en el espectro infrarrojo." <https://pitkgroup.com/termografia/> (accessed Sep. 04, 2021).
- [40] "TIPOS DE TERMOGRAFÍA." <https://coggle.it/diagram/XzwLREXhP6Hjmh-Y/t/tipos-de-termografia> (accessed Sep. 04, 2021).
- [41] "aplicaciones\_de\_la\_termografia.pdf." [https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://pitkgroup.com/wp-content/uploads/docs/aplicaciones\\_de\\_la\\_termografia.pdf](https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://pitkgroup.com/wp-content/uploads/docs/aplicaciones_de_la_termografia.pdf) (accessed Sep. 04, 2021).
- [42] "▷ Cámaras termográficas para drones: qué son y cómo funcionan - 2019." <https://www.aerial-insights.co/blog/camaras-termograficas-para-drones/> (accessed Sep. 04, 2021).
- [43] "Cámaras termográficas en drones - Drone Spain." <https://dronespain.pro/camaras-termograficas-en-drones/> (accessed Sep. 04, 2021).
- [44] "Aplicaciones de los drones a la ingeniería: la termografía aérea en la inspección y detección de infraestructuras." <https://blog.structuralia.com/aplicaciones-de-los-drones-a-la-ingenieria-la-termografia-aerea-en-la-inspeccion-y-deteccion-de-infraestructuras> (accessed Sep. 04, 2021).
- [45] "Guía sobre termografía aplicada en energía renovable." <http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2012/05/Guía-sobre-termografia.pdf> (accessed Sep. 04, 2021).
- [46] "Tienda DJI - Sensores y cámaras - Distribuidor DJI." <https://grupoacre.es/catalogo-categoria/drones-y-sensores-distribuidor-dji/> (accessed Sep. 05, 2021).
- [47] "Fotogrametría versus Escáner Láser: pros y contras."



- <https://www.bimnd.es/fotogrametriaversusescaner3d/> (accessed Aug. 17, 2021).
- [48] "Fotogrametría y escáner láser - Global - Mediterránea&Geomática."  
<https://www.globalmediterranea.es/fotogrametria-y-escaner-laser/> (accessed Aug. 16, 2021).
- [49] A. Sledz, J. Unger, and C. Heipke, "Thermal IR imaging: Image quality and orthophoto generation," in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, Sep. 2018, vol. 42, no. 1, pp. 413–420, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-1-413-2018.
- [50] "Tecnología LiDAR."  
<http://www.grupoalava.com/ingenieros/productos/tecnologia-lidar/> (accessed Sep. 04, 2021).
- [51] "¿Cómo funciona el mapeo de los UAV 3DLiDAR? - Recursos y conocimientos | YellowScan." <https://www.yellowscan-lidar.com/es/knowledge/how-lidar-works/> (accessed Aug. 17, 2021).
- [52] "¿Qué es la tecnología LiDAR y cómo funciona? | El blog de franz." <https://acolita.com/que-es-la-tecnologia-lidar-y-como-funciona/> (accessed Sep. 04, 2021).
- [53] "Programas para procesamiento de nubes de puntos - Wikipedia, la enciclopedia libre."  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Programas\\_para\\_procesamiento\\_de\\_nubes\\_de\\_puntos](https://es.wikipedia.org/wiki/Programas_para_procesamiento_de_nubes_de_puntos) (accessed Aug. 19, 2021).
- [54] "LIDAR - Wikipedia, la enciclopedia libre." <https://es.wikipedia.org/wiki/LIDAR> (accessed Sep. 04, 2021).
- [55] "Levantamiento LIDAR-Fotogramétrico mediante UAV de ala rotativa." <https://www.rpas-drones.com/levantamiento-lidar-fotogrametrico-uav-ala-rotativa/> (accessed Aug. 17, 2021).
- [56] "Programas para procesamiento de nubes de puntos - Wikipedia, la enciclopedia libre."  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Programas\\_para\\_procesamiento\\_de\\_nubes\\_de\\_puntos](https://es.wikipedia.org/wiki/Programas_para_procesamiento_de_nubes_de_puntos) (accessed Sep. 04, 2021).
- [57] "LIDAR vs fotogrametría: ¿qué tecnología es mejor? - [2019]." <https://www.aerial-insights.co/blog/lidar-vs-fotogrametria/> (accessed Aug. 17, 2021).
- [58] "Qué es la tecnología LiDAR y cómo puedo utilizarla | Digital Trends Español." <https://es.digitaltrends.com/inteligente/que-es-la-tecnologia-lidar/> (accessed Sep. 04, 2021).
- [59] "Getting Started Index – Support." <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557359-Getting-Started-Index> (accessed Aug. 25, 2021).
- [60] K. Krajníková, J. Smetanková, P. Mésároš, and M. Behún, "Different Approaches in Building Digitization Through the Use of 3D Laser Scanning," *EAI/Springer Innov. Commun. Comput.*, pp. 143–158, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-40176-4\_9.
- [61] "Saaty – El blog de Víctor Yepes." <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/saaty/> (accessed Sep. 07, 2021).
- [62] "Digital Twin del edificio basado en BIM orientado a la eficiencia energética y



- mantenimiento predictivo del edificio • CONSTRUIBLE.”  
<https://www.construible.es/comunicaciones/comunicacion-digital-twin-edificio-basado-bim-orientado-eficiencia-energetica-mantenimiento-predictivo-edificio>  
(accessed Sep. 04, 2021).
- [63] L. Etxepare, I. Leon, M. Sagarna, I. Lizundia, and E. J. Uranga, “Advanced Intervention Protocol in the Energy Rehabilitation of Heritage Buildings: A Miñones Barracks Case Study,” *Sustain.* 2020, Vol. 12, Page 6270, vol. 12, no. 15, p. 6270, Aug. 2020, doi: 10.3390/SU12156270.
- [64] “Webinar Pix4d mapper: Mapas georeferenciados y modelos 3D de alta precisión desde imágenes - YouTube.” <https://www.youtube.com/watch?v=bw7TVdebC4Q>  
(accessed Aug. 22, 2021).
- [65] K. Darchuk, P. Sukhyj, I. Kostaschuk, S. Bilokrynitskiy, and V. Sabadash, “Obtaining Photogrammetric Data by Using Non-Professional Uavs,” *Rev. Int. Geogr. Educ. Online*, vol. 11, no. 2, pp. 232–245, Aug. 2021, Accessed: Sep. 04, 2021. [Online]. Available: <https://rigeo.org/submit-a-menucript/index.php/submission/article/view/174>.
- [66] A. Kirsten Vidal de Oliveira, M. Aghaei, and R. Rütther, “Aerial infrared thermography for low-cost and fast fault detection in utility-scale PV power plants,” *Sol. Energy*, vol. 211, pp. 712–724, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.09.066.
- [67] “Fotogrametría: Procesamiento de Datos Termales en Pix4D Mapper - YouTube.” [https://www.youtube.com/watch?v=i5c\\_Y6Vgu7E](https://www.youtube.com/watch?v=i5c_Y6Vgu7E) (accessed Sep. 04, 2021).



**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INVESTIGACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y  
SOSTENIBILIDAD EN INDUSTRIA Y TRANSPORTE**

**TRABAJO FIN DE MASTER**

***UAV EN LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA  
ENERGÉTICA***

**7. ANEXOS**

## PLIEGO DE CONDICIONES .PNOA

PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA REALIZACIÓN EL VUELO FOTOGRAMÉTRICO DE 2019 DE EUSKADI.

---

<p><b>PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA REALIZACIÓN DEL VUELO FOTOGRAMÉTRICO DE 2019 DE EUSKADI.</b></p>
--

### ÍNDICE:

1. OBJETO Y CARACTERÍSTICAS GENERALES .....	2
2. VUELO FOTOGRAMÉTRICO DE 22CM EN 2019 .....	3
3. PLAZOS .....	4
4. ENTREGAS .....	5
ANEXO I: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PNOA ADAPTADAS A EUSKADI PARA VUELO FOTOGRAMETRICO DIGITAL .....	6



## 1. OBJETO Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

El objeto del siguiente Pliego de Prescripciones Técnicas es la definición de las condiciones y de los trabajos a realizar correspondientes al vuelo fotogramétrico de la Comunidad Autónoma del País Vasco para año 2019.

Se realizará una cobertura completa de la Comunidad Autónoma para el año 2019 con un **GSD = 22 cm**.

Se ha de tener en cuenta que el vuelo y sus productos derivados, además de cumplir los requisitos del presente Pliego y sus Anexos, se realizarán conforme a las **especificaciones técnicas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA)**.

Todos los trabajos se llevarán a cabo bajo la supervisión del **Servicio de Información Territorial del Gobierno Vasco que realizará la función de Dirección Técnica**, y deberán ser consensuados y aprobados por ésta.

Se realizará un **control de calidad externo** del vuelo, para comprobar que todos los trabajos y productos a entregar cumplen con las especificaciones técnicas PNOA y las propias de este Pliego, de forma que la empresa deberá subsanar las deficiencias encontradas en el plazo establecido.

La empresa adjudicataria realizará las **entregas parciales** que determine la Dirección Técnica, de forma que se puedan ir efectuando las tareas de control de calidad externo paralelamente y se pueda avanzar en las tareas de difusión del vuelo y postproceso para generar las ortofotografías y Modelos Digitales correspondientes.

El trabajo se realizará en el **Sistema Geodésico de Referencia ETRS89**, adoptado como sistema oficial en España por el *Real Decreto 1071/2007 del 27 de julio*. Este sistema de referencia está materializado en la Comunidad Autónoma del País Vasco por la Red GPS/GNSS de Euskadi. El sistema de referencia altimétrico es el nivel medio del mar en el mareógrafo de Alicante. Para la transformación de altitudes elipsoidales a ortométricas se utilizará el modelo de geoide EGM2008-REDNAP (adaptación del geoide mundial EGM08 a España) que suministra el Instituto Geográfico Nacional.

Las especificaciones de los procesos a ejecutar y los productos a entregar están detallados en el Anexo I:

- **ANEXO I: “ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PNOA ADAPTADAS A EUSKADI PARA VUELO FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL”**

En caso de que existiese alguna duda de interpretación de alguno de los apartados, se consultará previamente con la Dirección Técnica.



## 2. VUELO FOTOGRAMÉTRICO DE 22CM EN 2019

Se deberá realizar **un vuelo fotogramétrico digital completo (RGB+IR)** para obtener la cobertura de fotografía aérea del País Vasco en el año 2019, incluyendo el apoyo fotogramétrico y la aerotriangulación.

El vuelo se realizará con una **cámara fotogramétrica digital en formato matricial** y deberá cumplir las precisiones necesarias para su posterior utilización en la elaboración de **ortofotografías de 0,25m** y en la **restitución de cartografía 1:5.000** según la Especificación de la Base Topográfica Armonizada 1:5.000 (BTA5) elaborada por Comisión de Normas Cartográficas del Consejo Superior Geográfico.

El **tamaño de píxel será de 0,22 m** para el vuelo a realizar en 2019.

Deberán prepararse los fotogramas y la información necesaria, para que una vez finalizada la aerotriangulación se pueda publicar lo antes posible el vuelo (y la denominada ortofoto rápida). Esto implicará disponer lo antes posible los fotogramas en formato ECW, con la información RGB e Infrarrojo cercano.

El **ámbito geográfico** para todas las fases de los trabajos y los productos resultantes de **vuelo fotogramétrico (2019)** son las hojas completas 1:10.000 de la Comunidad Autónoma del País Vasco, incluyendo los enclaves de Treviño (Burgos) y Valle de Villaverde (Cantabria), más alguna hoja suplementaria debido a su proximidad, representadas en el siguiente gráfico. Un total de 309 hojas 1:10.000 según el corte de establecido en base al *REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España*.







## **4. ENTREGAS**

Se entregarán **seis (6) copias definitivas para el vuelo fotogramétrico de 2019** de todos los productos exigidos correctamente etiquetados. Tres **(3)** de ellas con todos los productos del vuelo, y otras tres **(3)**, en la que cada una contendrá los productos relativos de cada uno de los Territorios Históricos de la CAPV.

La empresa irá entregando a la Dirección Técnica el material y la documentación del vuelo de forma periódica y continua para permitir que el control de calidad externo se vaya realizando paralelamente a la ejecución del vuelo. La frecuencia de dichas entregas las indicará la Dirección Técnica.

La empresa mantendrá permanentemente informada a la Dirección Técnica de la evolución y posibles incidencias de los trabajos.

### **4.1. PROPIEDAD DE LOS TRABAJOS**

---

Tanto la **información auxiliar** entregada a la empresa adjudicataria por parte de la Dirección Técnica, como los **resultados y productos finales** derivados de los trabajos ejecutados por el adjudicatario, son y serán propiedad exclusiva del Gobierno Vasco.

En ambos casos, la empresa adjudicataria no podrá facilitar dicha documentación a terceros ni utilizarla para fines propios sin autorización previa.

En Vitoria – Gasteiz, a 23 de febrero de 2019



PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA REALIZACIÓN EL VUELO FOTOGRAMÉTRICO DE 2019 DE EUSKADI.

---

**ANEXO I: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS  
PNOA ADAPTADAS A EUSKADI PARA  
VUELO FOTOGRAMETRICO DIGITAL**



MINISTERIO DE FOMENTO  
 DIRECCIÓN GENERAL DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PNOA ADAPTADAS A EUSKADI PARA VUELO FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL**

Versión 131203

*PNOA*  
 Plan Nacional de Ortofotografía Aérea



**EUSKO JAURLARITZA**  
**GOBIERNO VASCO**



**EUSKO JAURLARITZA** **GOBIERNO VASCO**

INGURUMEN, LURRALDE PLANGINTZA eta ETXEBIZITZA SAILA  
 DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE, PLANIFICACIÓN TERRITORIAL y VIVIENDA

Tamaño de pixel: **0,22 m**



**Descripción de este documento:**

Título	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PNOA ADAPTADAS A EUSKADI PARA VUELO FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL
Tema	Especificaciones Técnicas para el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea
Estado	Definitivo
Objetivo	Armonización de los procesos, datos y documentos realizados en el marco del PNOA, entre distintos organismos y empresas
Descripción	Listado resumido de especificaciones de obligado cumplimiento por los organismos participantes y las empresa contratistas en la realización de los trabajos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea
Documentos relacionados	Nomenclatura de carpetas y ficheros. Informes descriptivos de las distintas fases de producción



Apartado	Ítem	Fase / Parámetro	Especificaciones	Detalles
<b>1. SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA</b>				
	a	Sistema Geodésico de Referencia	ETRS89	Todo el trabajo se realizará en ETRS89, basándose exclusivamente en la Red GPS/GNSS de Euskadi ( <a href="http://www.geo.euskadi.eus">www.geo.euskadi.eus</a> ) o vértices REGENTE de la Red Geodésica Nacional
	b	Altitudes elipsoidales	Se utilizarán únicamente altitudes elipsoidales referidas al elipsoide GRS80 en todos los procesos de cálculo	
	v	Transformaciones de altitudes elipsoidales a ortométricas	Se realizarán utilizando el modelo de geode que suministrará el Instituto Geográfico Nacional (EGM2008-REDNAP)	
	f	Proyección cartográfica	UTM	Referido al Huso 30
	r	Huso UTM a emplear	30	
	g	Distribución de hojas	La distribución 1:5.000 empleada será la división en 8 x 8 de las hojas MTN50 oficiales	El corte de hojas se obtendrá aplicando con un rebase de 50 metros con respecto a las cuatro esquinas teóricas, redondeado a múltiplos de 10 m. Las coordenadas de las esquinas de hoja serán las oficiales aprobadas por el Consejo Superior Geográfico (Comisión de Normas Cartográficas) La Dirección Técnica facilitará los listados de coordenadas correspondientes a: - Esquinas de hojas - Cortes de hojas (con el rebase mínimo)
	g	Modelo de geode	Para realizar la transformación de cotas elipsoidales a ortométricas, se utilizará el modelo de geode EGM2008-REDNAP (Adaptación del geode mundial EGM08 a España)	La Dirección Técnica entregará las herramientas de transformación y los ficheros del modelo de geode
<b>2. VUELO FOTOGRAMÉTRICO</b>				
<b>2.1. Cámara fotogramétrica y equipos auxiliares</b>				
	a	Cámara	Fotogramétrica digital matricial	En las ofertas, se especificarán detalladamente las cámaras (marca y modelo) y accesorios (sensores, conos, plataformas, etc...) que se utilizarán en los trabajos
	b	Formato de los fotogramas	La imagen pancromática deberá tener unas dimensiones de al menos 12.000 filas, y la imagen multispectral una resolución al menos 5 veces inferior	Aproximadamente
	c	Campo de visión transversal	Mayor de 50° y menor de 80° sexagesimales	Aproximadamente
	d	Calibración de la cámara	antigüedad < 24 meses	Realizada por el fabricante de la cámara o centro autorizado por el mismo. Las empresas licitantes entregarán copia de los certificados de calibración con las ofertas
	e	Control automático de la exposición	obligatorio	
	f	Resolución espectral del sensor	- 1 banda situada en el pancromático - 4 bandas situadas en el azul, verde, rojo e infrarrojo cercano	
	g	Resolución radiométrica	De al menos 12 bits por banda	
	h	Sistema FMC	En las cámaras de formato matricial, será obligatorio. Se admitirá la compensación del avance del avión por medio de TDI (Time Delay Integration) u otros métodos previa consulta y aceptación por parte de la dirección técnica	FMC: Forward Motion Compensation
	i	Plataforma giroestabilizada automática	Uso obligatorio	Según instrucciones del fabricante de la cámara
	j	Ventana fotogramétrica	- Cristales que cumplan con las recomendaciones del fabricante de la cámara (espesor, acabado y material). - Con sistema amortiguador que atenua las vibraciones del avión. - No obstruya el campo de visión para el FOV definido y la montura empleada.	Según instrucciones del fabricante de la cámara

Apartado	Ítem	Fase / Parámetro	Especificaciones	Detalles
	k	Sistema de navegación basado en GPS	<b>Uso obligatorio</b> - Equipo de GPS doble frecuencia de al menos 1 ó 2 Hz - Sincronizado con la cámara mediante el registro de eventos	Debe permitir: - planificar el vuelo, determinando los centros de fotos - navegación en tiempo real - control automático de disparo - registro de eventos - registro de datos de captura de cada imagen En las cámaras matriciales en caso de la solución GPS no sea absoluta, será necesaria la realización de <b>pasadas transversales</b> de modo que queden garantizadas las precisiones de aerotriangulación.
	l	Sistema inercial (IMU/INS)	<b>Uso obligatorio</b> - Frecuencia de registro de datos $\geq 200$ Hz - Deriva $< 0,1^\circ$ / hora	Debido a la obligatoriedad del uso de sistemas IMU / INS, no será necesario realizar pasadas transversales. En las cámaras matriciales en caso de <b>fallo del sist. Inercial durante el vuelo</b> , será necesaria la realización de <b>pasadas transversales</b> de modo que queden garantizadas las precisiones de aerotriangulación.
<b>2.2. Vuelo y cobertura fotográfica</b>				
	a	Planificación del vuelo	La empresa adjudicataria entregará la planificación del vuelo en los 7 días posteriores a la formalización del contrato	La Dirección Técnica podrá hacer observaciones a dicha planificación. Se deberán indicar las estaciones de referencia GPS a utilizar durante el vuelo.
	b	Fechas	El vuelo no podrá comenzar antes de la previa autorización por parte de la Dirección Técnica, y nunca antes del 1 de mayo del año correspondiente, con el fin de garantizar una altura del sol adecuada para la realización de estos trabajos.	La dirección técnica determinará el rango de fechas óptimas y el de fechas aceptables para cada zona de vuelo en función de las condiciones agroclimáticas y fenológicas de dicha zona
	c	Horario	Tal que la altura del Sol sobre el horizonte sea $\geq 40$ grados sexagesimales	Evitar horas que propicien reflexiones especulares y "hot spot" en la zona útil de cada fotograma
	d	Condiciones meteorológicas	- Tiempo claro, sin nubes, niebla, bruma, nieve, zonas inundadas y en general cualquier condición meteorológica adversa  - Evitar vuelos al mediodía en julio y agosto en días de "calima"	
	e	Tamaño de píxel y altura de vuelo	Se realizará cada pasada a una altura de vuelo tal que se cumplan simultáneamente estas dos condiciones: 1) El tamaño de píxel medio para toda la pasada será de 0,22 m +/- 10 % 2) No habrá más de un 10 % de fotogramas en cada pasada con píxel medio del fotograma mayor de 0,25 m	En zonas montañosas con fuertes pendientes, estos porcentajes se podrán variar, previa aprobación de la planificación de vuelo por la Dirección Técnica y siempre que el tamaño medio del píxel para toda la pasada, sea $< 0,25$ m
	f	Dirección de las pasadas	Dirección Este - Oeste (siguiendo paralelos)  Se podrán proponer otras configuraciones de vuelo diferentes a la Dirección Técnica, la cual decidirá si son viables las propuestas realizadas	No se permitirán discrepancias $> 3^\circ$ entre pasadas consecutivas

Apertado	Ítem	Fase / Parámetro	Especificaciones	Detalles
	g	Recubrimiento longitudinal	80%	- Variaciones admitidas +/-3% - En ningún caso quedarán zonas sin recubrir estereoscópicamente
	h	Recubrimiento transversal	≥ 30% medio En zonas montañosas, se aumentará el número de pasadas o se realizarán pasadas intercaladas de forma que en ningún punto del fotograma el recubrimiento sea inferior al 30%	- Margen de recubrimiento mínimo del 15% en el extremo Norte y Sur de la zona de trabajo.
	i	Número de pasadas por hoja MTN25	- Uniformemente distribuidas por Hoja MTN25 en toda la zona a volar - El recubrimiento transversal resultante no debe ser inferior al 30 %	En zonas de montaña, y en función del análisis de la Planificación del vuelo, se añadirán pasadas intercaladas, y/o se aumentarán el número de pasadas por hoja MTN25 a 5 ó 6
	j	Longitud máxima de una pasada longitudinal	3 hojas MTN50. Se permitirá hacer pasadas más largas, previa aprobación por parte de la dirección técnica, con objeto de cubrir longitudinalmente toda la extensión a volar.	No se realizarán pasadas más largas para evitar variaciones cromáticas excesivas en los mosaicos y disminuir los efectos de la proyección UTM en el ajuste del bloque.
	k	Pasadas interrumpidas	En cámaras de formato matricial, deberán conectarse al menos con 4 fotogramas comunes.	Para garantizar al menos 2 pares estereoscópicos comunes. Ambas tomas se deberán realizar con la misma cámara.
	l	Superficie de agua en cada fotograma	< 20%	Cuando sea necesario se incrementará el recubrimiento longitudinal de algunas fotos ó el transversal de alguna pasada. Adicionalmente, en zona costera con pendiente acusada, se planificará una pasada tal que el eje de vuelo sea exterior a la línea de costa. Esta limitación no se aplicará a fotografías del extremo de la pasada sobrantes que no intervingan en la AT y que puedan estar orientadas con garantías empleando GPS/INS
	m	Desviaciones de la trayectoria del avión	< 50 m de la planificada	En el caso de realizar vuelo simultáneo con LIDAR, las desviaciones deberán ser <15 m
	n	Desviaciones de la vertical de la cámara	< 4°	grados sexagesimales
	o	Diferencias de verticalidad entre fotogramas consecutivos	< 4°	grados sexagesimales
	p	Deriva no compensada	< 3°	grados sexagesimales
	q	Cambios de rumbo entre fotogramas consecutivos	< 3°	grados sexagesimales
	r	Zona a recubrir	- La zona a volar cubrirá hojas 1:10.000 completas - Se detalla en gráfico que proporcionará la Dirección Técnica	- Se mantendrá un margen de recubrimiento mínimo del 15% en los extremos Norte y Sur de la zona de trabajo - Existencia de al menos 2 fotocentros en los principios y finales de pasada que coincidan con los extremos Este y Oeste de la zona de trabajo.

Apartado	Ítem	Fase / Parámetro	Especificaciones	Detalles
2.3.	<b>Toma de datos GPS en vuelo</b>			
a	Distancia entre receptores		< 40 km	
b	Estaciones de referencia		Se utilizarán las estaciones de la Red GPS de Euskadi (www.geo.euskadi.eus), la de la red de Estaciones Permanentes del Instituto Geográfico Nacional u otras estaciones que se encuentren más próximas (a menos de 40 km) previa aprobación de la Dirección Técnica	En caso de utilización de estaciones no permanentes, se enlazará con la Red Regente u otras redes aprobadas por la Dirección Técnica
c	Precisión de Postproceso de la trayectoria		RMSE ≤10 cm (X,Y,Z)	Precisión absoluta aplicable al cálculo de los centros de proyección del vuelo fotogramétrico. En el caso de que los centros de proyección no hayan podido ser medidos correctamente durante el vuelo, para calcular las coordenadas del centro de proyección de cada fotografía a partir de las coordenadas de la antena, se incorporará el vector excentricidad de la antena (offset) al cálculo de la aerotriangulación.
2.4.	<b>Procesado de los datos GPS e IMU</b>			
a	Procesado de la trayectoria		Se procesará independiente de forma relativa cada pasada o perfil con el objeto de conseguir la precisión requerida. En el caso de que se opte por un procesado absoluto de la trayectoria de toda la misión, se deberá asegurar que se cumple con la precisión relativa.	
b	Precisión de las Orientaciones Externas		Se determinarán las orientaciones externas (posición y orientación) de cada imagen, del cálculo con filtro Kalman de los datos de la trayectoria (posición y velocidad) obtenida del GPS, de los datos de la orientación obtenidos con el sensor IMU, de los ángulos corregidos por la plataforma estabilizada, del vector de excentricidad de la antena (offset) y del vector del centro de rotación de la plataforma estabilizada al centro de proyección de la cámara.  La <b>precisión angular</b> en la determinación de la actitud para vuelos con GPS/IMU, no debe conducir a errores angulares superiores a 0,005° (Balanceo y Cabeceo, Roll and Pitch) y 0,008° (Guiñada, Yaw), garantizando los siguientes valores RMS: - RMSE (X,Y,Z): 2 * GSD/Vuelo - Libre de Y-Paratajes (= Tamaño del pixel del sensor)	Las alturas calculadas serán elipsoidales
2.5.	<b>Procesado de las imágenes digitales</b>			
a	Radiometría		Las imágenes procesadas deben hacer un <b>uso efectivo de todos los bits</b> según cada caso. Se evitará la aparición de niveles digitales vacíos en el caso de la imagen de 8 bits (< 10%). No se admitirán imágenes que tengan una saturación superior a <b>0,5% para cada banda</b> en los <b>extremos del histograma</b>	
b	Orientación de las imágenes.		Pasadas Este - Oeste: Los ficheros TIFF mantendrán la orientación original de la toma fotográfica, debiendo contener los ficheros TFW los parámetros de la orientación del fotograma.  En las pasadas Este-Oeste, <b>el borde superior de las imágenes de fotogramas en formato comprimido (ECW) será el más próximo al N</b> , debiéndose aplicar un giro de 180° a las imágenes que no cumplan este requisito. El giro será de 180° para evitar que aparezcan <b>cuñas blancas</b> en la imagen, si se aplica el correspondiente a los parámetros de orientación.	
2.6.	<b>Productos a entregar del vuelo fotogramétrico</b>			
a	Planificación del vuelo		1) Bases de datos Access según el modelo proporcionado por la Dirección Técnica, con la información correspondiente a <b>líneas de vuelo, fotogramas, coordenadas de puntos principales</b> .  2) Fichero shape generado a partir de la base de datos correspondiente a la <b>zona de vuelo</b> , que contenga las siguientes capas:  - <b>Puntos principales</b> , asociados a la base de datos del vuelo, con su número de fotografía respectivo - <b>Estaciones de referencia GPS a utilizar durante el vuelo</b> - <b>Huellas de fotogramas</b> , asociados a la base de datos del vuelo, con su número de fotografía respectivo.	Se proporcionará una planificación de vuelo con un software específico que programe los centros de todas las imágenes y el resto de las características del vuelo, de acuerdo con las especificaciones del presente pliego.



Apartado	Ítem	Fase / Parámetro	Especificaciones	Detalles
	b	Gráficos y datos del vuelo realizado	<p>1) Bases de datos Access según el modelo proporcionado por la Dirección Técnica, con la información correspondiente a <b>líneas de vuelo, fotogramas, coordenadas de puntos principales</b>.</p> <p>2) Fichero shape generado a partir de la base de datos correspondiente a la <b>zona de vuelo</b>, que contenga las siguientes capas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Puntos principales</b>, asociados a la base de datos del vuelo, con su número de fotograma respectivo</li> <li>- <b>Estaciones de referencia GPS utilizadas durante el vuelo</b></li> <li>- <b>Huellas de fotogramas</b>, asociados a la base de datos del vuelo, con su número de fotograma respectivo y la fecha de la toma de cada uno de los fotogramas.</li> </ul>	
	c	Gráfico de seguimiento del vuelo	Se entregará <b>obligatoriamente con una periodicidad semanal</b> , un fichero shape que represente la progresión del vuelo realizado.	
	d	Ficheros GPS-IMU del vuelo originales y procesados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ficheros <b>RINEX</b> de la <b>estación base de referencia GPS</b> y del receptor conectado a la cámara, con el <b>registro de eventos</b> correspondiente, fichero de registros IMU y ficheros resultantes del procesado GPS-IMU.</li> <li>- Ficheros de texto con los <b>registros de la plataforma giroestabilizada</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sincronizados los <b>tiempos de observación</b>, con intervalo máximo de 1 segundo</li> <li>- Mediante un informe se indicarán las estaciones de referencia que se han utilizado en cada día de cálculo</li> </ul>
	e	Fotogramas digitales RGBI de 8 bits en formato TIFF	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ficheros de 4 bandas Rojo, Verde, Azul, Infrarrojo cercano, con máxima resolución geométrica, después del "pansharpning" si fuera necesario, en ficheros de 8 bits.</li> <li>- Formato TIFF 6 plano (no "Tiled"), sin cabecero GeoTIFF (para evitar discrepancias con el TFW correspondiente)</li> </ul>	- En sensores lineales, se realizarán <b>cortes de la imagen</b> de la pasada cuyo <b>tamaño de fichero sea aproximadamente de 1 GB. Se entregará el proyecto con nivel de procesado L0 y preparado para cargarlo directamente en los paquetes fotogramétricos</b>
	f	Ficheros TFW de georreferenciación aproximada de cada fotograma digital de 8 bits	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para cada fichero de imagen digital, se calculará un fichero TFW de georreferenciación aproximada del mismo, basándose en los datos GPS/IMU de vuelo (ETRS89).</li> <li>- El tamaño de píxel de cada imagen será el promedio del tamaño de píxel de toda la pasada</li> <li>- La georreferenciación se realizará en proyección UTM, en el <b>huso en el que se encuentre la hoja MTN50</b> a la que corresponda el fotograma.</li> <li>- El fichero TFW contendrá los parámetros de orientación de la imagen para visualizarla con su <b>orientación correcta</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El cálculo del <b>TFW aproximado</b> se realizará teniendo en cuenta la posición (X,Y,Z) del <b>punto de disparo</b>, la altitud del <b>punto nadiral</b> y el tamaño de píxel.</li> <li>- Estos ficheros se entregarán junto con los fotogramas digitales, <b>tan pronto como estén disponibles, para permitir la utilización del vuelo.</b></li> </ul>
	g	Fotogramas RGBI en formato ECW georreferenciado	Se entregará una versión de cada fotograma, a plena resolución, con las 4 bandas RGBI, comprimido con ratio de compresión nominal de 1:10 en formato ECW, procedente del fichero TIFF RGBI. El ECW estará georreferenciado según el fichero TFW anterior.	El fichero ECW contendrá en la cabecera la información del <b>sistema geodésico de referencia (ETRS89)</b> y de la <b>proyección cartográfica NUTM30</b> .
	h	Base de datos de estaciones GNSS utilizadas	Base de datos Access según el modelo proporcionado por la Dirección Técnica	
	i	Certificado de calibración de las cámaras y objetivos empleados	<p>Con las ofertas técnicas se entregará una copia</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Antes de empezar el vuelo, se entregará una copia y se mostrará el original. Que incluya:</li> <li>- Certificado de calibración de la cámara y todos sus objetivos completo y vigente en el momento de la realización del proyecto.</li> <li>- Vectores GNSS - Cámara-plataforma</li> </ul>	
	j	Calibración del sistema integrado Cámara digital GPS/ INS	<p>Con las ofertas técnicas se entregará una copia</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De la calibración del sistema integrado cámara-GNSS/ INS realizado en un polígono de calibración</li> <li>- Parámetros de calibración de los sensores cámara-GNSS/ INS utilizados durante el proyecto</li> </ul>	Se entregará a la Dirección Técnica un nuevo certificado de calibración del sistema integrado, en el caso de que se produzca un cambio de aeronave.
	k	Vectores de excentricidad	Se suministrará el vector de excentricidad de la antena del receptor con respecto a la cámara, incluyendo un gráfico que muestre la dirección de los ejes	
	l	Informe descriptivo del proceso de vuelo	Según documento "Informe VUELO COMBINADO.xls" proporcionado por la Dirección Técnica	





Apartado	Ítem	Fase / Parámetro	Especificaciones	Detalles
2.7	<b>APOYO DE CAMPO</b>			
2.7.1.	<b>Configuración de los bloques de aerotriangulación</b>			
	a	Tamaño mínimo de un bloque	2 hojas MTN50 en longitudinal x 2 hojas MTN50 en transversal	Otras configuraciones diferentes deberán ser consultadas previamente con la dirección técnica
	b	Tamaño máximo de un bloque	3 hojas MTN50 en longitudinal x 3 hojas MTN50 en transversal	Otras configuraciones diferentes deberán ser consultadas previamente con la dirección técnica
2.7.2.	<b>Instrumentos a emplear</b>			
	a	Receptores GNSS	Equipos de <b>doble frecuencia</b>	
2.7.3.	<b>Ejecución de los trabajos</b>			
	a	Distribución de puntos de apoyo, si los centros proyectivos se han procesado de manera absoluta	Apoyo de campo para aerotriangulación con datos GNSS de vuelo sin pasadas transversales: - Puntos dobles en las esquinas del bloque - Un punto de chequeo en cada esquina de hoja MTN50	Estarán situados fuera de la zona a ortoproyectar para evitar extrapolaciones en la zona de trabajo
	b	Distribución de puntos de apoyo, si los centros proyectivos se han procesado de manera relativa	Apoyo de campo para aerotriangulación con datos GNSS de vuelo con pasadas transversales: - Puntos dobles en las esquinas del bloque - Un punto de chequeo en cada esquina de hoja MTN50	Las pasadas transversales se podrán reemplazar por cadenas de puntos de apoyo situados en las zonas de solape entre pasadas Estarán situados fuera de la zona a ortoproyectar para evitar extrapolaciones en la zona de trabajo
	c	Distribución de puntos de apoyo, si los centros proyectivos no se han medido/procesado correctamente durante el vuelo	Apoyo convencional: - Puntos dobles en las esquinas del bloque - Un punto por cada 3 modelos en la primera y última pasada - Un punto por cada 5 modelos en el resto de las pasadas	
	d	Estaciones de referencia	Se utilizarán las estaciones de la Red GPS de Euskadi ( <a href="http://www.geo.euskadi.eus">www.geo.euskadi.eus</a> ), la de la red de Estaciones Permanentes del Instituto Geográfico Nacional, o previo consulta con la dirección técnica, vértices de la Red REGENTE del IGN u otras estaciones que hayan sido observadas por método estático, a partir de REGENTE o de redes autonómicas oficiales enlazadas con REGENTE.	- Al reducir las altitudes, tener en cuenta que las altitudes de los vértices REGENTE se refieren a la Cabeza del pilar, no a la plataforma (VER RESEÑAS Y PRESENTAR A LA DIRECCIÓN TÉCNICA LAS EMPLEADAS) - Las observaciones que se realicen para establecer enlaces con las redes oficiales, tendrán una duración mínima de 1 hora.
	e	Método de observación de los puntos de apoyo	- Método de posicionamiento <b>estático rápido</b>	
	f	Condiciones de observación de los puntos de apoyo	- Líneas base < 20 km en 90% de los casos - Número de satélites: ≥ 5 - Precisión en posición PDOP < 6 - Máscara de elevación > 15º sexagesimales - Tiempo de observación > 10 minutos - Mínimo de 120 épocas registradas	Tres coordenadas en posición Condicionado por el método y equipo utilizado, n° y geometría de los satélites
	g	Bases de datos de puntos de apoyo preexistentes	Podrán ser utilizados puntos de apoyo que pertenezcan a bases de datos de organismos cartográficos oficiales, siempre que cumplan las siguientes condiciones:  - Que la ubicación de puntos esté de acuerdo con la distribución establecida en este pliego de especificaciones técnicas - Que hayan sido observados mediante técnicas GNSS en ETRS89, cumpliendo con las especificaciones PNOA	



Apartado	Ítem	Fase / Parámetro	Especificaciones	Detalles
<b>2.7.4. Precisiones</b>				
	a	Precisión de las líneas-base	5 mm ± 1 parte por millón (mm/Km)	
	b	Precisión de los puntos de apoyo	- Planimetría: <b>RMSE ≤ 0,10 m</b> - Altimetría: <b>RMSE ≤ 0,15 m</b>	RMSE: Random Mean Square Error (Error Medio Cuadrático)
<b>2.7.5. Resultados finales</b>				
	a	Planimetría	Coordenadas UTM (ETRS89)	
	b	Altimetría	Cotas ortométricas	Ver apartados 1.c y 1.d Para los puntos de apoyo de archivo, se recalcularán las cotas ortométricas con el nuevo modelo de geoides EGM2008-REDNAP. Si no se dispone de las alturas elipsoidales, se calcularán éstas previamente a partir de las cotas ortométricas considerando el modelo de geoides empleado en los cálculos iniciales.
<b>2.7.6. Productos a entregar</b>				
	a	Fotogramas pinchados	Fotogramas digitales con: - los puntos de apoyo y chequeo señalados y rotulados - las estaciones GNSS de referencia o los vértices REGENTE empleados rotulados	
	b	Ficheros GNSS del apoyo	- Fichero de las observaciones brutas GNSS registradas - Ficheros ASCII en formato RINEX - Un fichero para cada vértice REGENTE y cada punto de apoyo	No será necesario si se utilizan las bases de datos a que hace referencia el apartado 2.3.f
	c	Cálculo líneas base	Fichero ASCII con el resultado del cálculo de las líneas base	No será necesario si se utilizan las bases de datos a que hace referencia el apartado 2.3.f
	d	Cálculo y compensación de las coordenadas de los puntos de apoyo	Fichero ASCII	No será necesario si se utilizan las bases de datos a que hace referencia el apartado 2.3.f
	e	Gráficos del apoyo	Gráficos en formato shp de los puntos de apoyo y chequeo generado a partir de la bdd y vértices empleados.	Elementos que deben figurar en los gráficos: - Posición exacta de los Puntos de Apoyo fotogramétrico y su número de orden - Posición de los vértices geodésicos empleados con su identificador
	f	Reseñas de puntos de apoyo y vértices o estaciones de referencia desde las que se han realizado observaciones	Con los siguientes elementos: - Coordenadas UTM X, Y. Huso cartográfico. - Cota ortométrica y altura elipsoidal. - Sistema de referencia (ETRS89 ó REGCAN2001). - Datos y fotografías del Vértice Geodésico o estación de referencia desde el que se ha realizado la medición (una general y otra de detalle donde se pueda observar la colocación de la antena sobre el pilar). - Fotografías del punto de control levantado. - Altura de antena y del elemento observado. - Croquis y reseña original de campo del elemento con indicación del Norte	
	g	Base de datos de puntos de apoyo	Según modelo proporcionado por la dirección técnica	Está integrada en una tabla incluida en la base de datos de aerotriangulación
	h	Informe descriptivo del proceso de apoyo de campo	Según documento "... Informe POSTPROCESO vuelo combinado.xls" proporcionado por la Dirección Técnica.	



Apartado	Ítem	Fase / Parámetro	Especificaciones	Detalles
<b>2.8 AEROTRIANGULACIÓN</b>				
<b>2.8.1. Ejecución de los trabajos</b>				
	a	Método	Obligatoriamente digital, utilizando parámetros GNSS / IMU de vuelo Sistema de referencia altimétrico: se utilizarán exclusivamente <b>cotas ortométricas</b> , tanto en el proceso de cálculo como en los resultados finales	
	b	Medición de puntos de enlace	Mínimo <b>12 puntos de enlace</b> en cada modelo (2 en cada zona de Von Grüber)	Garantizando que <b>al menos 1 punto</b> de cada zona de solape transversal que enlace modelos, enlace también pasadas.
	c	Ajuste del bloque	<b>Ajuste simultáneo por haces de rayos, con parámetros GNSS / IMU</b>	
	d	Zona a recubrir	<b>Todas el ámbito de trabajo</b>	
	e	Puntos de chequeo	Como comprobación del cálculo de la aerotriangulación, se incluirán puntos de chequeo de precisión al menos 1/3 del RMS final del producto, para lo que podrían emplearse los proporcionados por la dirección técnica.	
	f	Desviación estándar a priori de los puntos de apoyo y centros de proyección	La desviación estándar a priori de los P.A se establecerá entre 1/3 y 1/2 del tamaño del píxel. La desviación estándar a priori de los Centros de Proyección se establecerá entre 0,10 m y 0,15 m.	
<b>2.8.2. Precisiones</b>				
	a	Precisión interna del ajuste del bloque	<b>RMSE &lt; 1/2 del tamaño del píxel del sensor (micras)</b>	
	b	Precisión planimétrica final	<b>RMSE &lt; GSD (metros)</b>	GSD: Ground Sample Distance (tamaño del píxel en el terreno -metros-)
	c	Precisión altimétrica final	<b>RMSE &lt; GSD (metros)</b>	
	d	Residuo máximo en los puntos de control	<b>&lt; 1,5 veces el GSD</b>	
<b>2.8.3. Productos a entregar</b>				
	a	Datos del cálculo de la aerotriangulación	Ficheros de <b>entrada y salida</b> del cálculo	Con toda la información de ajuste, residuos, coordenadas resultantes, etc...
	b	Gráficos del canevas	En formato shp con la posición exacta de los puntos del canevas, generados a partir de la bbdd de AT	
	c	Base de datos del vuelo aerotriangulado	Parámetros de orientación de los fotogramas (X, Y, Z, Q, Φ, K) En caso de sensor de barrido, ficheros de soporte, orientación y calibración (*.sup, *.ads, *.odf.adj, *.cam)	Según <b>criterio de signos y orígenes y formato</b> que entregará la dirección técnica
	d	Informe descriptivo del proceso de aerotriangulación	Según documento "... Informe POSTPROCESO vuelo combinado.xls" proporcionado por la Dirección Técnica.	


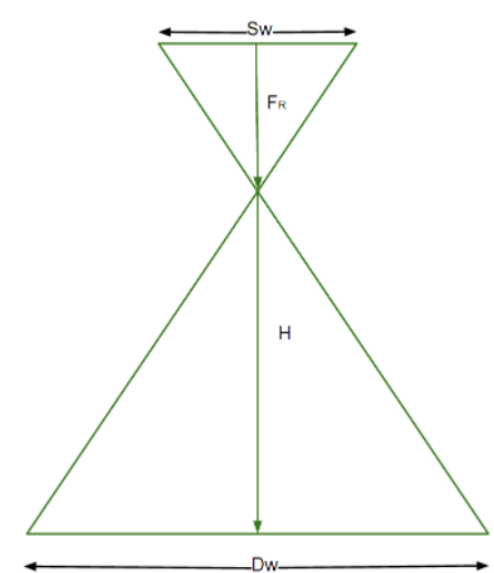


Apartado	Ítem	Fase / Parámetro	Especificaciones	Detalles
3	<b>GRABACIÓN Y ARCHIVO DE PRODUCTOS</b>			
3.1	<b>Ejecución de los trabajos</b>			
a	Grabación productos y documentos		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se realizará la grabación de todos los productos y documentos en discos duros SATA</li> <li>- Una de las copias <b>COMPLETAS</b> deberá contener la carcasa compatible con el sistema de discos eSATA del Servicio de Información Territorial.</li> <li>- Las otras dos copias <b>COMPLETAS</b> serán sin carcasa.</li> <li>- Las copias con la información de cada uno de los Territorios Históricos deberán ser discos externos USB, con carcasa y alimentación.</li> </ul>	Previamente a la entrega, se comprobará que el modelo de los discos duros SATA se adaptan a los interfaces eSATA de la dirección técnica. Los discos irán identificados con el nombre del proyecto y el contenido de cada uno. - Las entregas parciales se podrán realizar mediante la transferencia de ficheros por FTP (File Transfer Protocol) previo acuerdo con la Dirección Técnica, o mediante entrega por correo electrónico
b	Almacenamiento de los ficheros de proyecto		La empresa adjudicataria deberá guardar los ficheros del proyecto durante todo el periodo de garantía, por si fuera necesario rehacer alguna fase de los trabajos.	
c	Número de copias		- Se entregarán <b>SEIS copias de cada producto</b> del vuelo 2019, perfectamente etiquetados, debiendo utilizarse dos marcas diferentes de discos. Las marcas de los discos deberán ser iguales para las copias completas.	Las copias de cada uno los Territorios Históricos podrán contener sólo las hojas 1:25.000 completas de sus territorios, teniendo en cuenta los endaves de Treviño(en el caso de Álava), Orduña y Valle de Villaverde (en Bizkaia) y las islas (según corresponda).
d	Medios y estructura de almacenamiento		Los productos y documentos serán grabados de acuerdo con la estructura de archivo que aparece en el documento " <b>Nomenclatura de carpetas y ficheros</b> " (Carpetas / Subcarpetas / Ficheros) facilitado por la Dirección Técnica	
e	Entregas parciales		La empresa entregará a la Dirección Técnica con una <b>periodicidad semanal</b> , todos los productos que hayan sido generados en este periodo de tiempo. En caso de que por circunstancias meteorológicas o de cualquier otro tipo no se haya generado ningún producto, la empresa informará y <b>justificará documentalmente</b> esta circunstancia a la Dirección Técnica.  Si la entrega parcial se realiza a través de ftp, los productos aportados <b>no podrán ser modificados</b> sin autorización de la Dirección Técnica.	Se remitirá el <b>cuadro de control de envío de productos</b> acompañando a cada entrega que se realice
f	Nomenclatura de ficheros		Todos los ficheros a entregar deberán cumplir la nomenclatura detallada en el documento " <b>Nomenclatura de carpetas y ficheros.xls</b> " facilitado por la Dirección Técnica	
3.2	<b>Productos a entregar</b>			
a	Listado de los ficheros contenidos en cada medio de almacenamiento		Según detallará la Dirección Técnica	
b	Informe descriptivo del proceso de archivo		Según documento "Informe VUELO COMBINADO.xls" facilitado por la Dirección Técnica	



Apartado	Ítem	Fase / Parámetro	Especificaciones	Detalles
4	<b>CONTROL DE CALIDAD</b>			
4.1	<b>Ejecución de los trabajos</b>			
a	Control de calidad de los trabajos realizados		Se garantizará que los procesos de trabajo y los productos generados cumplen con las presentes especificaciones técnicas, debiéndose realizar un control de calidad que consiga estos objetivos documentándolo adecuadamente.	
4.2	<b>Productos a entregar</b>			
a	Informe descriptivo del proceso de control de calidad		Según documento "Informe VUELO COMBINADO.xls" facilitado por la Dirección Técnica	
5	<b>ENVO DE PRODUCTOS</b>			
5.1	<b>Productos a entregar</b>			
a	Cuadro de control de envío de productos		Según modelo del documento facilitado por la Dirección Técnica	

## CALCULADORA GSD

1			<b>GROUND SAMPLING DISTANCE CALCULATOR</b>	
2				
3				
4				
5				
6	<b>Instructions</b>			
7	1. Enter the Sensor Width (millimeters) in cell C14			
8	2. Enter the Focal Length (millimeters) in cell C15 (real focal length, not 35 mm equivalent)			
9	3. Enter the Flight Height (meters) in cell C16			
10	4. Enter the Image Width (pixels) in cell C17			
11	5. [Optional] Enter the Image Height (pixels) in cell C18			
12	6. Hit Enter			
13	<b>Calculator</b>			
14	Sw	13,125	= the sensor width of the camera (millimeters)	
15	FR	15,4	= the focal length of the camera (millimeters)	
16	H	100	= the flight height (meters)	
17	imW	4608	= the image width (pixels)	
18	imH	3456	= the image height (pixels)	
19	GSD	1,85	= Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)	
20	Dw	85	= width of single image footprint on the ground (meters)	
21	DH	64	= height of single image footprint on the ground (meters)	
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				

Dw = The footprint width / distance covered on the ground by one image in width direction

[www.pix4d.com](http://www.pix4d.com)