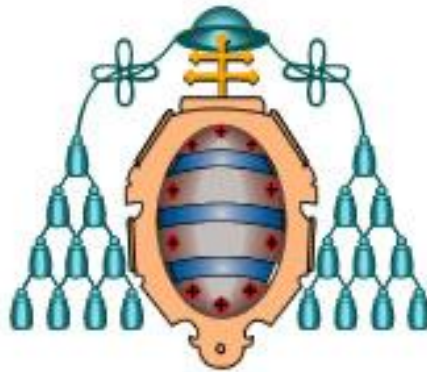


UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

Máster en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

**COMPARATIVA DE SOFTWARE PARA LA REALIZACIÓN
DE ORTOFOTOS A PARTIR DE IMÁGENES OBTENIDAS
POR DRONES**

Trabajo Fin de Máster

Autor: Paula Núñez Calleja

Tutor en la empresa: María Jesús Argüelles Méndez

Tutor académico: José Otero Rodríguez

Mieres, Junio 2016

Mieres, 09 de junio de
2016

D./Dña. María Jesús Argüelles Méndez, tutor del trabajo fin de máster “COMPARATIVA DE SOFTWARE PARA LA REALIZACIÓN DE ORTOFOTOS A PARTIR DE IMÁGENES OBTENIDAS POR DRONES”, presentado por Dña. Paula Núñez Calleja, da el visto bueno para su presentación y defensa.

Firmado digitalmente por
ENTIDAD

TERRAIN TECHNOLOGIES SL -
CIF NOMBRE ARGUELLES
MENDEZ M JESUS - NIF
Nombre de reconocimiento (DN):
c=ES,
o=FNMT, ou=FNMT Clase 2 CA,
ou= , cn=ENTIDAD

TERRAIN TECHNOLOGIES SL -
CIF - NOMBRE ARGUELLES
MENDEZ M JESUS - NIF Fecha:
2016.06.09 09:59:42 +02'00'

Fdo.: Maria Jesús Argüelles Méndez

Mieres, 9 de 6 de 2016

D./Dña. José Otero Rodríguez, profesor del máster en Teledetección y SIG y tutor del trabajo fin de máster *COMPARATIVA DE SOFTWARE PARA LA REALIZACIÓN DE ORTOFOTOS A PARTIR DE IMÁGENES OBTENIDAS POR DRONES*, presentado por Dña./D. Paula Núñez Calleja, da el visto bueno para su presentación y defensa.

Fdo.: José Otero Rodríguez

Agradecimientos

A María Jesús, de Terrain Technologies, por hacerme sentir una más del equipo de trabajo, y por el trato recibido. Por su tiempo, paciencia y ánimos durante estos meses, así como su ayuda e ideas para la elaboración del Trabajo Fin de Máster.

A José, por corregir mi trabajo y aportarme ideas para su entrega en el formato más adecuado desde el punto de vista académico.

RESUMEN

En la actualidad es necesaria la obtención de información cartográfica y topográfica de manera rápida, precisa y a bajo coste para múltiples campos como arquitectura e ingeniería, medioambiente, agricultura o emergencias.

Los métodos tradicionales, como la fotogrametría aérea, son sistemas muy precisos, sin embargo, pueden resultar caros. Como alternativa, surge el método de obtención de imágenes mediante la utilización de drones.

Estos vehículos aéreos combinados con cámaras digitales hacen posible la adquisición de datos en áreas pequeñas de una forma más rápida y más asequible económicamente.

Además, los avances tecnológicos han hecho posible la obtención de algoritmos que sean capaces de detectar y unir cientos de imágenes superpuestas, estimar los parámetros de precisión interna y externa de la cámara, producir nubes de puntos y obtener modelos 3D y ortomosaicos del terreno.

En este trabajo han sido analizados los productos generados por diferentes software, siendo los criterios de análisis los siguientes:

- Facilidad de uso
- Tiempo de procesamiento
- Calidad visual del producto
- Coste del software

Los software examinados en este trabajo han sido: Pix4D Mapper Pro, Photomodeler Scanner y Agisoft Photoscan.

ABSTRACT

Nowadays, there is a need to obtain mapping and cartographic information in a quick, precise and at a low cost way for multiple fields such as architecture and engineering, environment, agriculture or emergencies.

Traditional methods, like aerial photogrammetry, are very precise systems, however, they could be expensive. As an alternative, there is a method that acquires images through the use of drones.

These unmanned aerial vehicles combined with digital cameras make possible the acquisition of data on small areas in a fast and more affordable way.

Furthermore, the technological advances have made possible the obtaining of algorithms that are capable of detecting and join hundreds of layered images, the estimation of the internal and external camera precision parameters, the production of point clouds and 3D models and ortomosaicos.

This study has analyzed the products generated by different software. The assessment criteria are the following:

- Ease of use
- Processing Time
- Visual Quality
- Cost

Software examined in this work were: Pix4D Mapper Pro, Photomodeler Scanner and Agisoft Photoscan.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
2. OBJETIVOS	9
3. ZONA DE ESTUDIO	10
4. METODOLOGÍA.....	10
4.1. Drones	10
4.1.1. Tipos	11
4.1.2. Aplicaciones.....	12
4.1.3. Ventajas y desventajas	12
4.1.4. Dron utilizado	14
4.1.5. Adquisición de datos	16
4.2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	16
4.2.1. Procesamiento de imágenes general	17
4.2.2. Pix4D Mapper Pro	21
4.2.3. Photomodeler Scanner.....	31
4.2.4. Agisoft Photoscan.....	41
5. DISCUSIÓN.....	49
5.1. Facilidad de uso	49
5.2. Tiempo.....	49
5.3. Calidad visual.....	50
5.4. Coste.....	53
6. CONCLUSIONES	53
6.1. Métodos tradicionales vs Drones.....	54
6.2. Similitudes entre los software utilizados (con respecto a software convencionales) 54	
6.3. Comparativa de programas.....	55
7. BIBLIOGRAFÍA	58
7.1. Legislación	58
7.2. Artículos de investigación	58
7.3. Webs.....	58
7.4. Apuntes	59

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de tener la información cartográfica correctamente actualizada y la obligación de obtener información topográfica del terreno en el menor tiempo posible, son temas que provocan que los drones ganen especial importancia en la actualidad.

Los métodos tradicionales, como la fotogrametría aérea, son sistemas muy precisos. Sin embargo pueden resultar caros, ya que conllevan la utilización de demasiados recursos, y sus resultados no son de obtención inmediata.

Como alternativa a dichos problemas, surge la utilización de drones como nuevo método de obtención de información geográfica. Estos vehículos aéreos combinados con cámaras digitales hacen posible la adquisición de datos en áreas pequeñas de una forma más rápida y más asequible económicamente, teniendo como ventaja adicional la facilidad para incorporar cualquier sensor (ej. Infrarrojo).

Sin embargo, la utilización de cámaras digitales para los estudios realizados mediante drones puede provocar varios problemas. En primer lugar pueden suceder grandes variaciones rotacionales y angulares en la posición de la cámara, en los ángulos y en la superposición. Además, debido a la baja altura del vuelo, los cambios en la elevación del terreno pueden provocar grandes distorsiones en las imágenes. Estos errores sumados a una gran cantidad de imágenes, provocan que los métodos fotogrametricos resulten imposibles de utilizar.

Los avances más recientes en este campo, han hecho posible la obtención de algoritmos que solucionen los problemas y además obtengan resultados de manera automática. Estos algoritmos son capaces detectar y unir cientos de imágenes superpuestas, estimar los parámetros de precisión interna y externa de la cámara, producir nubes de puntos y obtener modelos 3D y ortomosaicos del terreno.

Uno de los algoritmos más utilizados en este campo es el SFM ("Structure from Motion). Su principal ventaja es que no es necesaria información previa sobre los parámetros de la cámara ni la secuencia de imágenes. Este algoritmo mediante el método SIFT (Scale Invariant Feature Transform) localiza las características más importantes de las imágenes convirtiéndolas en puntos del proyecto. Dichos puntos son detectados en todas las imágenes incrementando de esta manera la precisión en la estimación de la orientación de la cámara así como en la situación de los puntos. Posteriormente, a partir de los puntos obtenidos, se obtendrá la nube de puntos que permitirá producir el modelo 3D y la ortofoto.

Las principales ventajas de la utilización de vehículos aéreos no tripulados con respecto a los métodos tradicionales son la reducción del coste, demasiado elevado en los sistemas de fotogrametría aérea clásica, la alta flexibilidad para la

adquisición de imágenes desde puntos prácticamente inaccesibles y la reducción del tiempo necesario para obtener un ortomosaico.

Además, para la obtención de información de áreas pequeñas, cada vez más necesaria, es más beneficiosa la utilización de drones ya que resulta más económica que los métodos tradicionales.

La utilización de drones también plantea una serie de desventajas. A pesar de ser muy competitivos para obtener imágenes de alta resolución en zonas de tamaño reducido, no pueden competir con los métodos tradicionales cuando se trata de grandes extensiones de terreno y resoluciones mayores de 50 cm. Como problema adicional, la legislación vigente prohíbe su uso en zonas urbanas y espacios con alta masificación de personas sin la autorización de la Agencia Española de Seguridad Aérea.

Por otro lado, el uso de cámaras digitales en lugar de las métricas permite incrementar las características favorables de estos sistemas que cada vez son más utilizados en múltiples aplicaciones.

En este trabajo serán estudiados diferentes programas de procesamiento de imágenes obtenidas mediante drones. Serán analizados los productos generados por cada software, así como diferentes aspectos de los programas como el coste y el tiempo de procesamiento.

Los software examinados en este trabajo son los siguientes: Pix4D Mapper Pro, Photomodeler Scanner y Agisoft Photoscan.

2. OBJETIVOS

Este estudio ha sido propuesto por la empresa Terrain Technologies durante el periodo de prácticas en empresa del Máster en Teledetección y Sistemas de Ordenación Geográfica.

La empresa me ha asignado el desarrollo de un estudio comparativo entre diferentes softwares comerciales cuyo objeto es, entre otros, la generación de ortofotomapas a partir de las imágenes obtenidas mediante drones y un modelo digital de superficies calculado por el propio SW.

Las aplicaciones seleccionadas han sido PIX4D, Photomodeler y Photoscan. En ellas, a partir de una colección de imágenes y puntos de apoyo facilitados por la empresa, se obtendrán los productos deseados.

Se han establecido los siguientes criterios de valoración para analizar los programas:

- Facilidad de utilización
- Tiempo de proceso
- Calidad visual de la ortofoto obtenida
- Coste

3. ZONA DE ESTUDIO

El área elegida para el vuelo ha sido una pequeña superficie (de aproximadamente 65 hectáreas) situada en el puerto de Avilés, perteneciente al municipio de Avilés, en el Principado de Asturias.

En este área podemos encontrar algunos edificios, maquinaria, acopios, vehículos, caminos y carreteras. Por ello, se ha tenido especial cuidado en respetar la legislación actual según el Real Decreto-ley 8/2014, de 4 de julio.

A continuación se muestra un mapa del puerto de Avilés, en el que se sitúa el área de estudio de este trabajo.

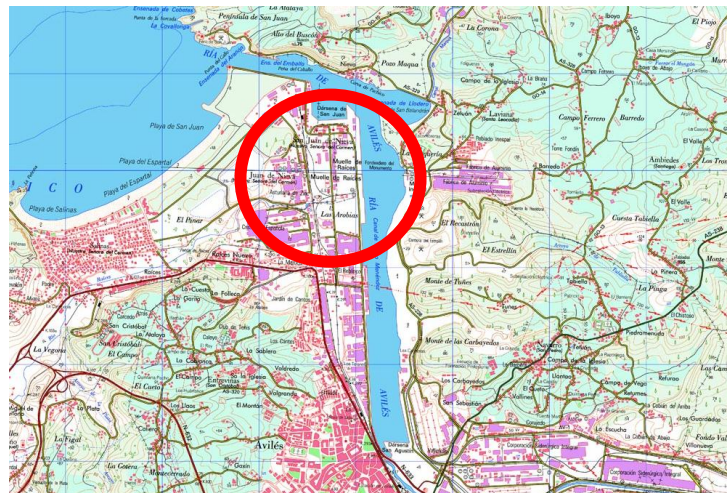


Ilustración 1: Zona de estudio

4. METODOLOGÍA

4.1. Drones

El comienzo del uso de los drones en el campo de la fotogrametría tiene lugar en el año 1979. Desde entonces, debido a que es una alternativa low-cost a los sistemas tradicionales de fotogrametría, no ha dejado de incrementarse su uso en variadas aplicaciones.

Un dron es un vehículo aéreo no tripulado. Aunque no esté presente un ser humano en el vehículo para poder pilotarlo, esto no quiere decir que vuele autónomamente, de hecho en muchos casos es necesario un equipo mayor

para controlar el dron. El vehículo es controlado desde el suelo, por lo que es necesaria la buena comunicación con el mismo.

Para la obtención de las imágenes de la superficie terrestre es utilizada una cámara digital y calibrada integrada en el dron. Las imágenes capturadas durante el vuelo serán almacenadas a bordo y podrán ser procesadas aplicando los métodos de fotogrametría pero con costes mucho más bajos y mayor rapidez que los generados cuando las imágenes son obtenidas mediante métodos tradicionales.

4.1.1. Tipos

Según su tamaño, peso, resistencia, alcance y altura de vuelo, pueden ser definidas tres diferentes categorías de drones: tácticos, estratégicos y especiales.

Los vehículos utilizados para la obtención de información geográfica son principalmente los del tipo táctico. A continuación son clasificados a partir de su sistema de propulsión:

- Sin propulsión
- Con propulsión

Además, pueden ser clasificados según su aerodinámica y sus características físicas en los siguientes grupos:

- Más ligeros que el aire
- Ala giratoria, bien de motor eléctrico o de combustión
- Ala fija, bien sin propulsión o con motor eléctrico o de combustión.

En cuanto al campo de obtención de información geográfica, los drones más utilizados son los de ala fija y de ala giratoria.

- Drones de ala fija: normalmente son utilizados para obtener imágenes de grandes áreas debido a su gran rapidez y autonomía. Este tipo de drones necesita menos energía para volar que los drones de ala giratoria aunque para su despegue y aterrizaje deben disponer de zonas libres de unos 150 metros.
- Drones de ala giratoria: permite el despegue y aterrizaje vertical. Además, una ventaja sobre los drones de ala fija es que debido a su motor se obtiene una mejor estabilización de la cámara con menos distorsiones. La principal desventaja es la necesidad de una persona experimentada en control de

drones puesto que el vuelo no puede realizarse de manera completamente autónoma.

Dependiendo del propósito final de la utilización de un dron se tomará la decisión de que tipo de vehículo utilizar.

4.1.2. Aplicaciones

Los drones tienen múltiples aplicaciones civiles y militares en el campo de la cartografía. Aunque puedan ser útiles en el campo militar, está fuera del alcance del presente estudio. Algunas de las aplicaciones se nombran a continuación.

- Agricultura: los agricultores puede tomar decisiones seguras que les permiten ahorrar tiempo y dinero, obtener un registro más rápido y preciso de daños o identificar problemas.
- Forestales: se permite realizar la evaluación de parcelas arboladas, control de incendios, seguimiento de la vegetación, identificación de especies o silvicultura.
- Arqueología y arquitectura: a partir de imágenes obtenidas por drones con vuelos a baja altura y alta resolución pueden obtenerse modelos 3D y cartografía de lugares y estructuras hechas a mano.
- Medioambiente: es posible realizar vuelos baratos y rápidos para el seguimiento de la tierra y el agua en diferentes periodos, cartografía catastral, cartografía de carreteras, seguimiento de volcanes, de la línea de costas o documentación de recursos naturales para análisis geológicos.
- Emergencias: los drones son utilizados para obtener imágenes para una rápida evaluación de impacto ambiental y obtener un plan de rescate. Los drones pueden sobrevolar zonas contaminadas o inaccesibles para los humanos sin ningún riesgo para los trabajadores.
- Tráfico: puede obtenerse información sobre el tráfico como: estimación del tiempo de viaje, trayectorias, atascos y zonas de accidentes.
- Industrial: los drones pueden ser utilizados para aplicaciones industriales como para el seguimiento de la contaminación del aire, vigilancia...

4.1.3. Ventajas y desventajas

Ventajas

- Una ventaja de la utilización de drones con respecto a los métodos tradicionales es la alta flexibilidad para obtener imágenes de sitios atípicos. Los métodos

- tradicionales realizan vuelos en línea recta mientras que los drones permiten mayor flexibilidad.
- Además, una ventaja fundamental de la utilización de drones es que no tienen que tener en cuenta aspectos psicológicos y económicos relacionados con los pilotos, por lo tanto, pueden ser usados en situaciones de alto riesgo sin poner vidas humanas en peligro.
 - Debido a la baja altitud de los vuelos, los drones permiten obtener grandes precisiones en lo que se refiere a GSD (Ground Sampling Distance). Por ello son dignos competidores de los métodos tradicionales.
 - La principal ventaja del uso de drones es el coste. Existen en el mercado drones de bajo precio que proporcionan resultados muy aceptables, como el utilizado para generar las imágenes utilizadas en este estudio, teniendo unos costes de operación más asequibles que los que tienen los aviones.

Desventajas

- La mayor desventaja del uso de drones son las limitaciones de carga (debido a la ligereza del equipo). Estas limitaciones obligan a utilizar cámaras digitales muy pequeñas, lo cual conlleva una disminución en la precisión de los resultados con respecto a las cámaras utilizadas en los aviones para los métodos tradicionales.
- Uno de los principales problemas relacionados con la adquisición de imágenes a través de drones es la cantidad de datos obtenidos durante el vuelo, la dudosa geometría entre ellas y la baja precisión del equipamiento de GNSS (Global Navigation Satellite System). Esta desventaja se ve mejorada gracias al desarrollo de algoritmos y programas capaces de procesar las imágenes obtenidas mediante drones evitando esos problemas.
- Un gran problema del uso de drones es la falta de regulaciones para dichos vehículos dadas por las autoridades. Esta normativa existe en países como Australia, Belgium, Canada, Denmark, France, Great Britain, Norway, Sweden, Switzerland, Czech and USA. Los principales elementos de estas normas están relacionados con la fiabilidad de los

vehículos, la necesidad de certificados de seguridad para cada dron y la protección de los ciudadanos.

4.1.4. Dron utilizado

El dron empleado es un DJI Phantom 2 con sistemas de telemetría y FPV (First Person View).

La telemetría es la transmisión de datos sin cables para el propósito de monitorear vía remota el funcionamiento de algo. La telemetría se utiliza cada vez más principalmente en drones, helicópteros y otros dispositivos aéreos ya que estos necesitan de un monitoreo constante mientras vuelan lejos de su operador.

El sistema first-person view (FPV) es un método utilizado para dirigir un vehículo de control remoto desde el punto de vista del conductor o piloto. Este sistema es mayormente utilizado para el pilotaje de drones. El vehiculo es dirigido desde la perspectiva de primera persona mediante una cámara a bordo del dron. El sistema de video le dará al piloto la misma perspectiva visual que si lo estuviera pilotando a bordo.

A continuación se puede ver una fotografía realizada durante el trabajo en campo.



Ilustración 2: Trabajo de campo

El dron DJI Phantom 2 cuenta con unas dimensiones de 37.1x33x21cm y un peso aproximado de 1 kg (con batería incluida) lo cual lo hace un equipo robusto, de bajo peso y de bajo coste. El dron tiene una máxima velocidad de vuelo de 10m/s y una máxima velocidad de ascenso y

descenso de 6m/s y 2m/s respectivamente. Además, puede volar durante 25 minutos con condiciones de viento favorables.

Debido a su peso y tamaño y su facilidad de uso es considerado una buena opción para desarrollar vuelos fotogramétricos en áreas establecidas.

En la siguiente imagen se muestra el dron DJI Phantom 2 en un momento del vuelo realizado.



Ilustración 3: Dron Phantom 2 en pleno vuelo

El dron utilizado en este estudio es considerado equipamiento de bajo coste en comparación con el coste de otros vehículos aéreos como aviones o satélites. Además, cabe destacar, el también bajo precio de las cámaras digitales compactas utilizadas en este trabajo en comparación con las cámaras fotogramétricas.

El sistema incorpora una cámara GoPro HERO3+ Silver Edition que obtiene fotografías de 11MP.

Algunas características de la cámara son las siguientes:

- Luminosidad de la lente: f/2.8
- Tiempo de exposición hasta: 1/485s
- Distancia focal: 3 mm
- Apertura máxima: 2.97
- Longitud focal equivalente a 35mm: 15

4.1.5. Adquisición de datos

Se han realizado dos planes de vuelo, uno para la zona al norte del río Raíces y otro para la zona al sur. Cada uno de ellos con un total de 6 puntos de referencia.

En ambos, la altitud del vuelo era 100 m sobre el nivel del mar, para de esta manera poder obtener un GSD igual a 7 cm aproximadamente.

La velocidad de subida del vehículo es de 1.5 km/h y del vuelo de 8 km/h, por lo que el tiempo de vuelo es de 15 minutos aproximadamente.

Además, para obtener la máxima estereoscopia y evitar huecos, el plan de vuelo está planeado para tener gran superposición de imágenes. Finalmente son obtenidas 119 imágenes con un gran número de puntos homólogos que pueden ser identificados en varias imágenes (alta multiplicidad).

Para obtener una mejor precisión son introducidos 8 puntos de apoyo (Ground Control Points o GCPs) distribuidos por todo el área de estudio.

4.2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

En lo que se refiere al procesamiento de imágenes aéreas, los métodos más usados y estudiados son dos: las imágenes tomadas mediante drones pueden ser procesadas mediante el uso de métodos fotogramétricos tradicionales o mediante programas pertenecientes al campo de la visión por computador.

En el primer caso, como requisito fundamental se establece la alta precisión en la determinación de puntos y el modelo 3D, mientras que los otros programas trabajan para obtener un procesamiento rápido y un producto final eficiente.

En el primer grupo se encuentran los programas que siguen el proceso desarrollado a continuación. Se comienza por la calibración de la cámara, posteriormente son identificados los GCPs y son obtenidos los puntos homólogos, de forma automática o manual, dependiendo del programa. Finalmente las imágenes son orientadas y es obtenido el DSM y la ortofoto resultante.

En el segundo grupo los pasos para la obtención del producto son diferentes. En primer lugar se llevará a cabo la orientación relativa de las imágenes a la vez que la calibración automática, en un sistema de referencia arbitrario. La extracción de los puntos homólogos y la desestimación de los outliers son realizados de manera automática. Finalmente el uso de los GCP permite

trasladar y rotar el bloque fotogramétrico en un sistema de referencia específico.

Para este estudio se han utilizado programas del segundo grupo como son: Pix4D Mapper, Photomodeler y Photoscan.

Será empleado el mismo ordenador para el procesamiento de las imágenes en cada programa para que no afecten factores externos en la comparativa y sea lo más precisa posible.

El modelo de ordenador utilizado ha sido el Asus F552L. Las características de las que consta el mismo son las siguientes:

- Procesador: Intel i7 4510u Intel i7 4510u
- Velocidad: hasta 3.1 GHz
- Memoria: 8,00 GB
- Dimensiones pantalla: 1366x768 15.6´pulgadas
- Disco duro: 500Gb

4.2.1. Procesamiento de imágenes general

Todos los software siguen los mismos pasos de trabajo para el procesamiento de imágenes obtenidas por drones

- 1) Selección de imágenes a utilizar.
- 2) Una vez han sido añadidas las imágenes, será asignado un modelo de cámara para cada una de ellas. Esto consiste en determinar características como la distancia focal y la distorsión radial de la lente.
- 3) A continuación tiene lugar la búsqueda de los puntos homólogos entre imágenes (usando el algoritmo SIFT).
- 4) Posteriormente es asignada la orientación externa. La orientación externa consiste en 6 parámetros que son únicos de cada imagen. Describe el roll, pitch y yaw del sensor alrededor del eje perpendicular a la superficie terrestre y las coordenadas X, Y y Z del punto principal del plano focal de la cámara donde termina el eje. En la mayoría de los casos no se conocen los parámetros de orientación y son obtenidos mediante el uso de puntos de apoyo, puntos homólogos y triangulación.

- 5) Para la georreferenciación de imágenes son identificados todos los puntos de apoyo (GCP) en cada una de las imágenes en las que aparezcan.

Los puntos de apoyo introducidos podrán ser los obtenidos mediante GPS, mediante técnicas topográficas clásicas, a partir de mapas topográficos o de ortofotos y modelos del terreno ya existentes. En este proyecto se ha realizado un apoyo topográfico tradicional.

Los puntos homólogos son añadidos cuando una característica de una imagen aparece en otra. Cuando esto ocurre las imágenes son relacionadas mediante esos puntos.

Los programas con capacidad de generación de puntos automática crean cientos de puntos homólogos a partir de la superposición de imágenes.

- 6) Triangulación

El software, a partir de la información introducida y de los puntos generados, realiza una triangulación para obtener el mejor ajuste de la imagen.

- 7) Reconstrucción de las imágenes mediante la densificación de los puntos.

- 8) Generación de la nube de puntos, de la ortofoto y el modelo digital del terreno.

Una vez se ha realizado la densificación de puntos, se obtendrá un mapa corregido planimétricamente. El programa corrige el desplazamiento del terreno y usa la orientación exterior para georreferenciar y de esta manera obtener una ortofoto muy precisa.


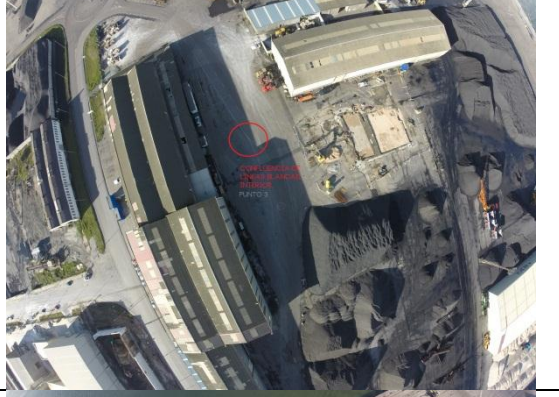
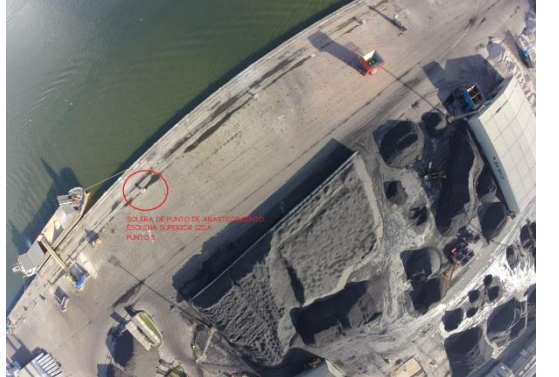
Es posible especificar diversas características como la resolución de la imagen o la capacidad de obtener el archivo en diferentes formatos. Los formatos de salida de la ortofoto pueden estar en GeoTiff, TIFF con fichero mundo o cualquier otro formato.





Todas las ortofotos obtenidas en este trabajo han sido georreferenciadas usando 8 puntos de apoyo medidos durante el trabajo de campo.


Es sabido que el error residual se incrementa con un menor número de puntos de apoyo. Esto confirma que la precisión de un producto fotogramétrico se vera incrementada con el uso de mas puntos de apoyo, es decir, el numero de puntos de apoyo influye en la precisión de ortofotos.

Por todo ello, serán establecidos los mismos GCP en cada proyecto de cada uno de los programas para que, de esta manera, la comparación de software sea ecuánime.

Tanto los puntos, como las coordenadas X, Y, Z son mostrados a continuación:

<p><u>Punto 1</u></p> <p>X: 263708.563 Y: 4829580.723 Z: 57.772</p>	
<p><u>Punto 2</u></p> <p>X: 263700.216 Y: 4830043.346 Z: 56.930</p>	
<p><u>Punto 3</u></p> <p>X: 263925.604 Y: 4830077.510 Z: 56.444</p>	

<p><u>Punto 4</u></p> <p>X: 263928.901 Y: 4830012.927 Z: 56.485</p>	
<p><u>Punto 5</u></p> <p>X: 263898.640 Y: 4829515.993 Z: 56.778</p>	
<p><u>Punto 6</u></p> <p>X: 263944.231 Y: 4829119.486 Z: 56.305</p>	
<p><u>Punto 7</u></p> <p>X: 263777.208 Y: 4829259.296 Z: 57.341</p>	

<p><u>Punto 8</u></p> <p>X: 263802.939 Y: 4829414.104 Z: 57.023</p>	
---	--

Además se establecerá como parámetro común para todas las ortofotos una resolución de las mismas requerida por la empresa de 20 cm/píxel, o lo que es lo mismo, 5 píxel/m.

4.2.2. Pix4D Mapper Pro

Pix4D es un programa para la obtención de ortomosaicos creado en 2011 por una compañía suiza del mismo nombre. El trabajo de este programa consiste en 3 pasos fundamentales: procesamiento inicial, densificación de la nube de puntos y generación del ortomosaico y el modelo digital del terreno.

El usuario define las propiedades que determinarán la calidad, la precisión y el formato final de salida. Todas ellas están en la misma ventana de diálogo de opciones de procesamiento y deberán ser establecidas previamente al procesamiento de las imágenes. Las opciones de procesamiento son divididas en 5 secciones: procesamiento inicial, nube de puntos, DSM ortomosaico, salidas adicionales y recursos.

Es recomendable la introducción de los puntos de apoyo disponibles previamente a la realización del procesamiento. Esta información es especialmente importante, sobre todo cuando las imágenes no están georreferenciadas. Además los puntos de apoyo ayudarán a reducir los problemas y errores que pueden estar presentes en el modelo final.

Serán realizados tres pasos principales:

- Paso 1

Durante el procesamiento inicial la cámara digital es calibrada y las imágenes son orientadas. Las cámaras compactas son altamente sensitivas a grandes diferencias de temperatura, vibraciones y golpes, y por ello estos elementos precisan de una calibración para cada uno de los vuelos. Pix4D incluye un potente algoritmo de

calibración que toma la información completa de cada pixel de las imágenes para obtener la mejor calibración de cámara y de lentes de cada vuelo. Esta característica es idónea para asegurar la perfecta precisión para cualquier condición climática. Pix4D Mapper permite la autocalibración, que calcula la distancia focal de la cámara, la localización del punto principal y las distorsiones radial y tangencial.

La distancia focal es una propiedad de la cámara, su sensor y su óptica. Varía con la temperatura, los golpes, la altitud o el tiempo. Por ello es normal que la distancia focal sea diferente para cada proyecto.

La orientación externa en los programas fotogramétricos incluye la orientación interna y externa de las imágenes. En Pix4D todos los procesos para ello son realizados automáticamente sin necesidad de interferencia por parte del usuario. El proceso de orientación relativa es el siguiente:

- Obtención de los puntos homólogos en zonas superpuestas, bien manualmente o automáticamente.
- Introducción y medida de los puntos de apoyo (GCP).

Una vez se ha realizado la orientación relativa, tiene lugar el proceso de triangulación. La triangulación es un proceso en el que los puntos homólogos son transformados a un sistema de coordenadas geodésicas. El proceso será desarrollado automáticamente en el programa Pix4D, por lo cual no es necesario tener conocimientos de fotogrametría para obtener la triangulación.

○ Paso 2

La densificación de la nube de puntos se realiza mediante el filtrado y el alisado de la nube de puntos. La generación de la nube de puntos puede dar lugar a puntos erróneos o ruidosos. El algoritmo de filtrado corrige la altitud de estos puntos mediante la altitud media de los vecinos más cercanos.

○ Paso 3

Una vez ha sido aplicado el filtro, una superficie es generada a partir de la nube de puntos. Esta superficie puede contener áreas con pequeños errores. El algoritmo de alisado corrige dichas áreas mediante su allanamiento. Es importante saber que el alisado de la

superficie se realiza tanto en puntos como en la superficie generada a partir de los mismos, mientras que el filtrado de los puntos ruidosos se realiza solamente sobre los puntos.

La generación del DSM y el ortomosaico contiene cinco secciones:

- Raster DSM: permite seleccionar el formato del fichero de salida para el raster DSM.
- Grid DSM: permite seleccionar el formato del fichero de salida para el vector DSM.
- Ortho-mosaic: permite seleccionar el formato del fichero de salida para el ortomosaico así como diferentes opciones relacionados con la generación del ortomosaico.
- Triangle model: permite generar el modelo de triangulación mientras es procesado el paso 3.
- Set as default options: opción desactivada por defecto. Cuando esta opción está desactivada los cambios producidos en un proyecto no serán aplicados en futuros proyectos.

El ortomosaico elimina las distorsiones de las imágenes utilizando el modelo 3D y homogeneiza las imágenes ortorrectificadas. Un gran número de puntos homólogos es requerido para generar un modelo 3D. La georreferenciación es mantenida, por ello las distancias se mantienen y las imágenes ortorrectificadas pueden ser usadas para mediciones.

Una vez el proyecto ha sido procesado, es posible la edición de los resultados mediante la utilización del Mosaic Editor.

El Mosaic Editor permite:

- Visualizar el modelo digital del terreno.
- Mejorar el aspecto visual del ortomosaico.

El Ray Cloud Editor permite:

- Visualizar los diferentes elementos de la reconstrucción: posición de las cámaras, nubes de puntos, puntos de apoyo, puntos homólogos automáticos...

El formato de salida de los productos es muy importante para el siguiente programa para leer la información. Los resultados 2D y 3D pueden ser leídos por cualquier programa GIS (Geo TIFF, point cloud in LAS, LAZ, XYZ, PLY format), CAD y programas fotogramétricos, y Google Tiles exporta el fichero de salida en formato KML. Además el objeto puede ser exportado en DXF, SHP y KML.

4.2.2.1. Proceso

Para el estudio del programa PIX4D se ha utilizado la versión de prueba del mismo, la cual permite trabajar con todas las herramientas de PIX4D mapper Pro.

En primer lugar se creará un proyecto sobre el que se realizará el trabajo. Para ello es seleccionada la opción *Proyecto* → *Nuevo proyecto*.

A continuación serán añadidas al nuevo proyecto las 119 imágenes realizadas mediante drones a partir de las cuales se obtendrá el ortomosaico. Además, deberá ser establecido como sistema de coordenadas del proyecto y como sistema de coordenadas de salida, el ETRS89 / UTM zona 30N.

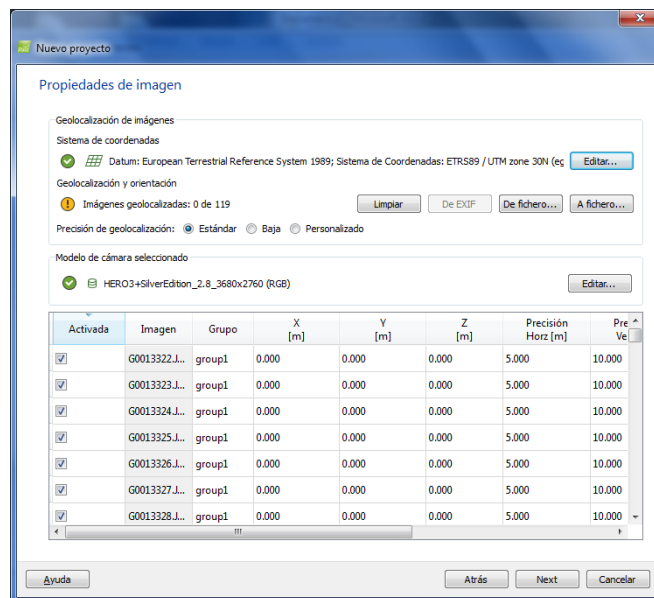


Ilustración 4: Ventana de propiedades de las imágenes

Puesto que la finalidad del proyecto en PIX4D es la obtención de la ortofoto correspondiente al área de estudio, será establecida como plantilla de opciones de procesamiento *Mapas 3D*.

Posteriormente, ya que las imágenes que utilizaremos para el estudio no están geolocalizadas, es necesaria la introducción de 8 *Ground Control Points* para georreferenciarlas.

Mediante el *Gestor de puntos de apoyo/puntos de paso* son introducidos los 8 puntos que se han medido durante el trabajo en campo. El tiempo aproximado para situar los puntos de apoyo

en cada imagen y asignarle las coordenadas correspondientes es de 45 minutos.

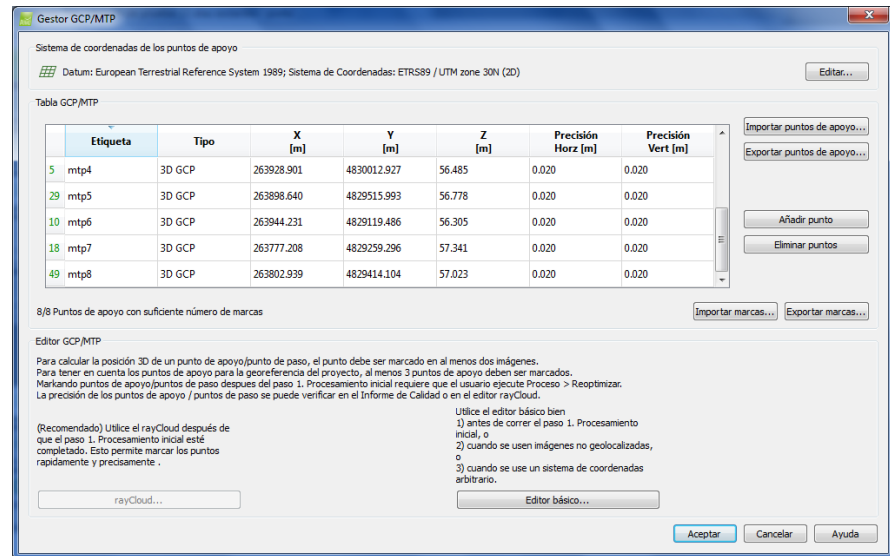


Ilustración 5: Gestor de puntos en Pix4D

A continuación serán establecidos los parámetros necesarios para obtener la nube de puntos y la ortofoto final previamente al inicio del procesamiento inicial, de la densificación de la nube de puntos y la generación de MDS y ortomosaico.

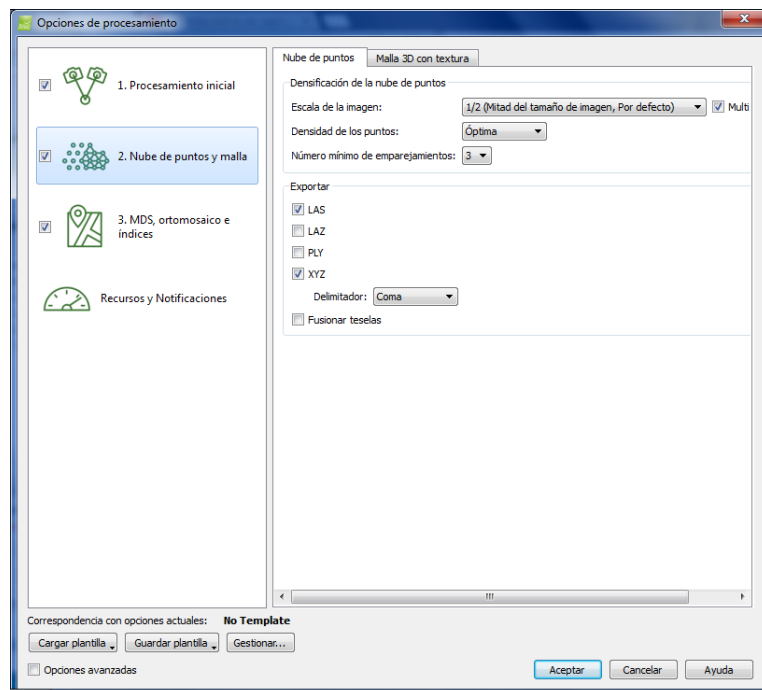


Ilustración 6: Opciones de procesamiento en Pix4D(1)

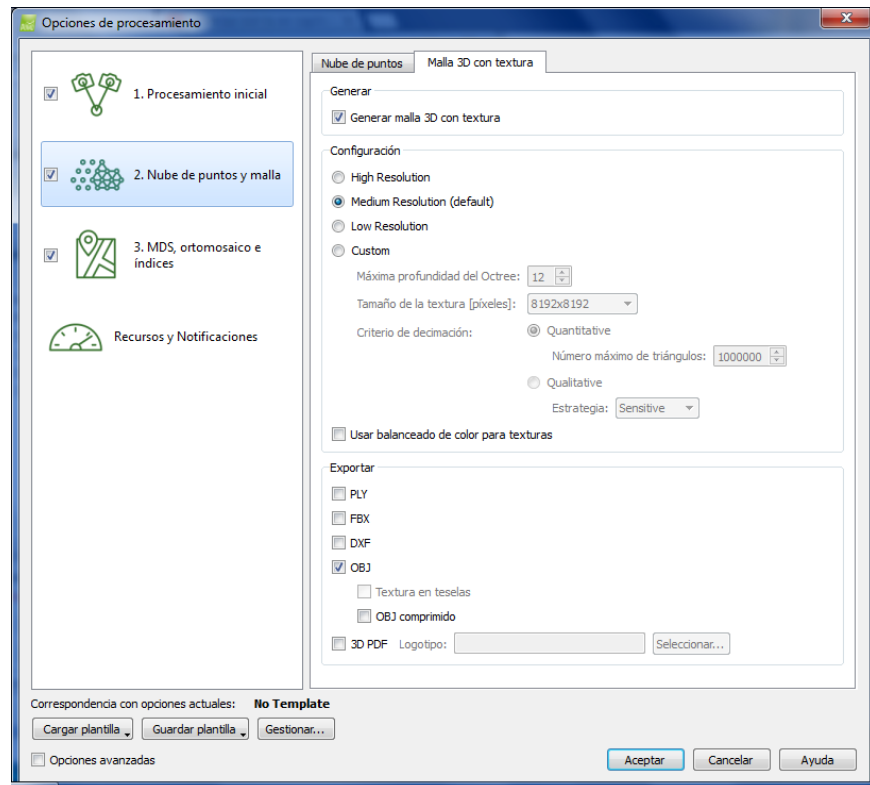


Ilustración 7: Opciones de procesamiento en Pix4D(2)

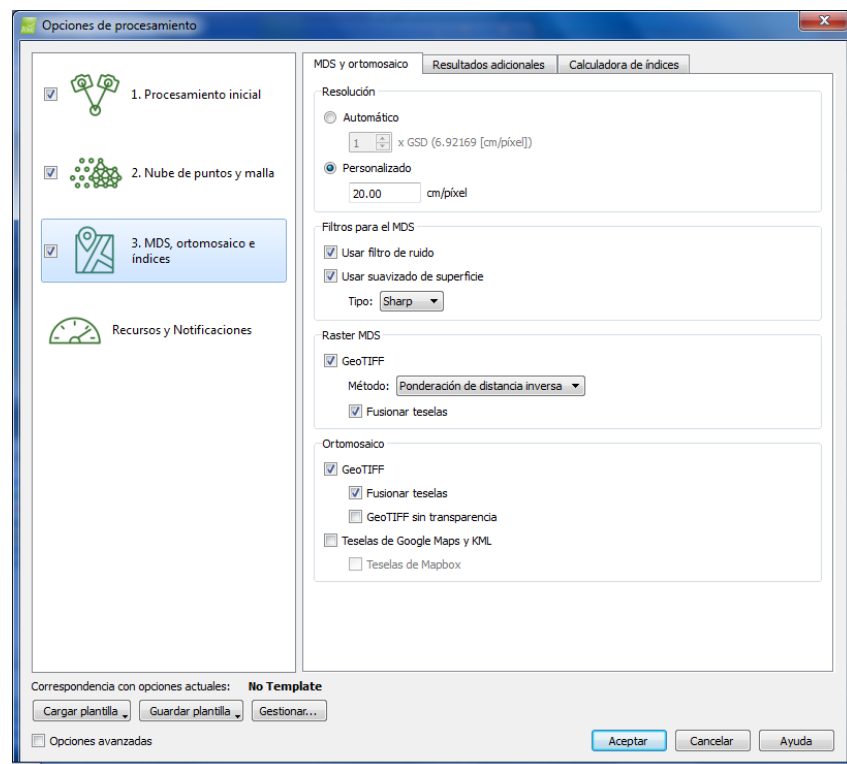


Ilustración 8: Opciones de procesamiento en Pix4D (3)

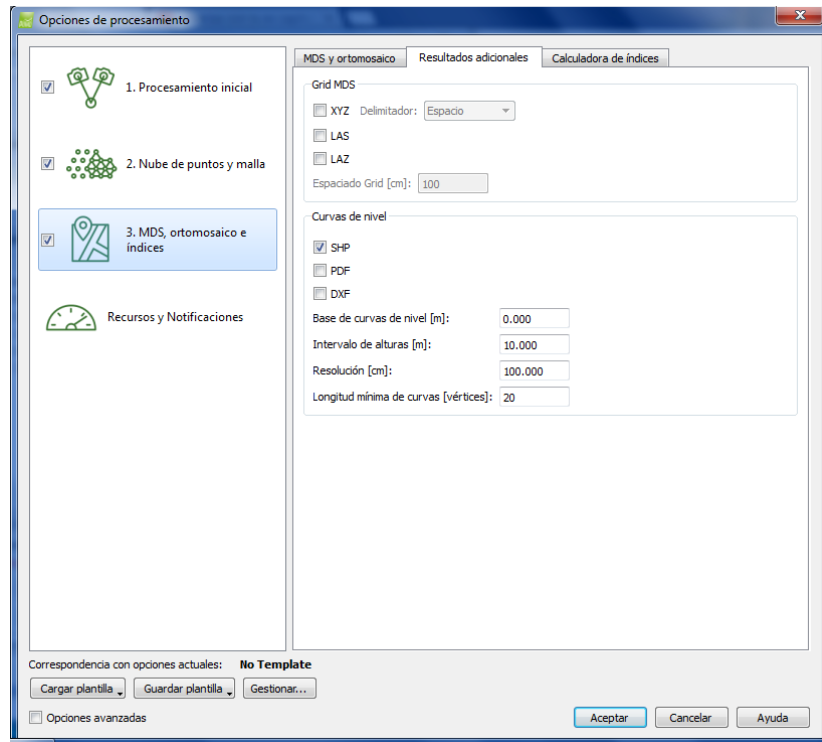


Ilustración 9: Opciones de procesamiento en Pix4D (4)

4.2.2.2. Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos mediante el software Pix4D Mapper Pro:

- Puntos iniciales

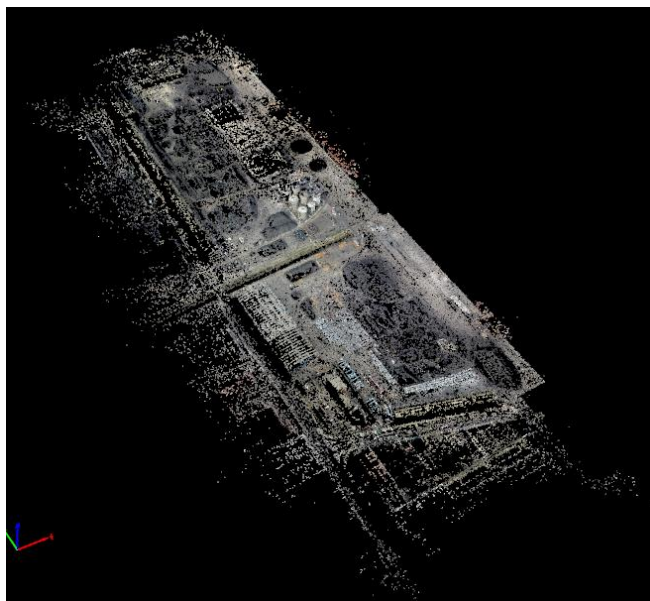


Ilustración 10: Puntos homólogos obtenidos

- Nube de puntos

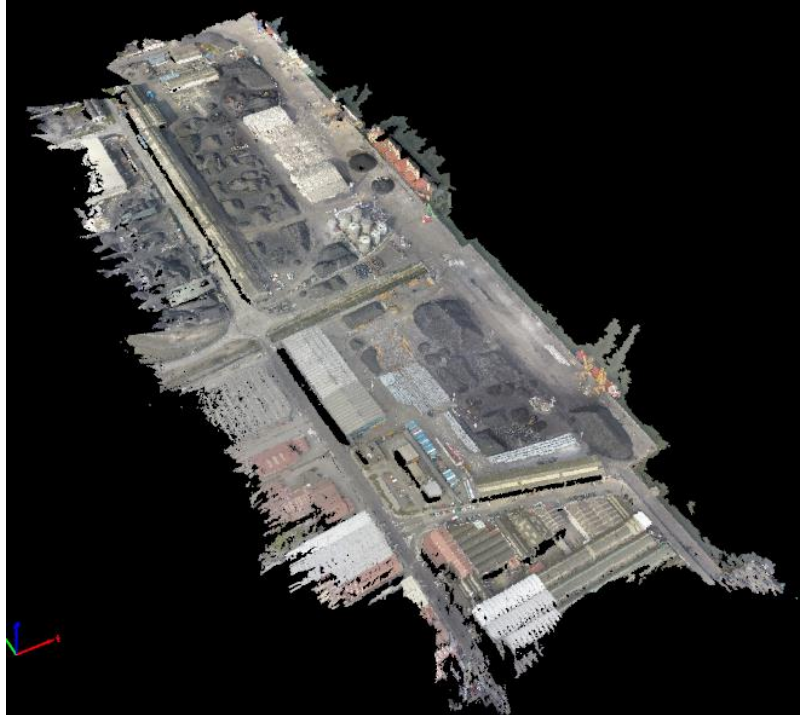


Ilustración 11: Nube de puntos densificados

- Malla de triángulos

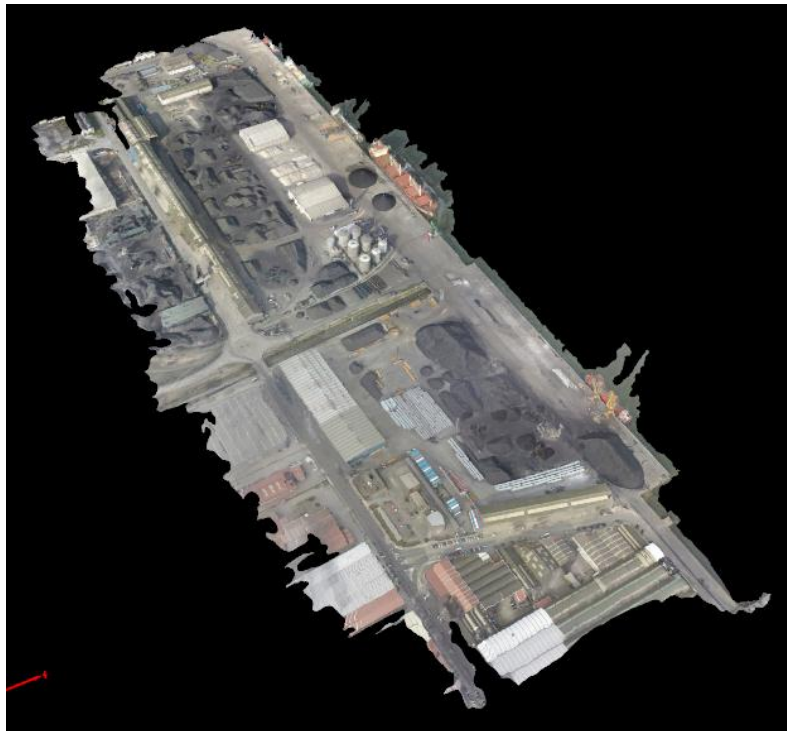


Ilustración 12: Superficie obtenida por triangulación

- DSM

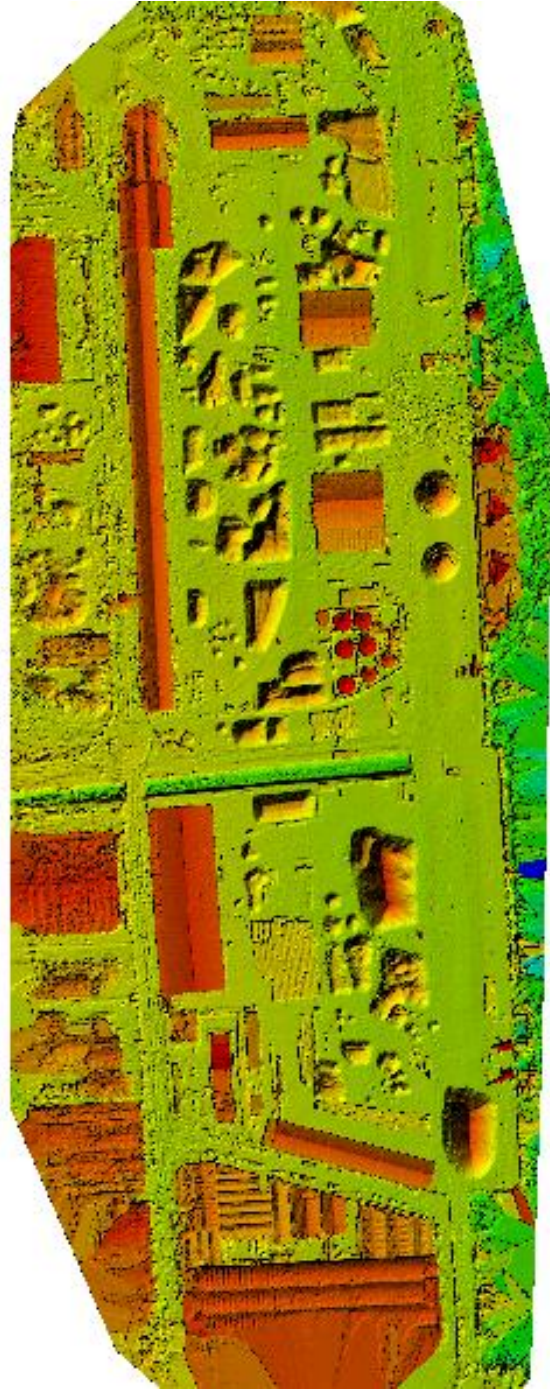


Ilustración 13: Modelo digital del terreno en Pix4D

- Ortofoto

El objetivo más importante de este Proyecto es la obtención de ortofotos a partir de cada uno de los software para su comparación. Se ha establecido como parámetro común para todos los ortomosaicos una resolución requerida por la empresa de 20 cm/píxel.

En la imagen mostrada a continuación puede observarse la ortofoto obtenida mediante el programa Pix4D.



Ilustración 14: Ortofoto obtenida en Pix4D

4.2.3. Photomodeler Scanner

El programa Photomodeler Scanner es un software low cost el cual puede ser utilizado en proyectos fotogramétricos.

El primer paso en el proceso de trabajo es la carga de imágenes. Después, a través de la identificación automática de los puntos homólogos de las fotografías tiene lugar el proceso de orientación relativa. Este proceso es realizado mediante la utilización de un algoritmo de correlación de imágenes.

El proceso de orientación absoluta es realizado mediante la transformación afín, la cual implica traslación, rotación y escalado. Para ello son introducidos los 8 puntos de apoyo y el bloque de imágenes será referenciado al sistema de coordenadas ETRS UTM zona 30 hemisferio norte.

Posteriormente, la producción de nubes de puntos será ejecutada en el proyecto. Es un proceso automático donde los puntos homólogos entre las imágenes son unidos a través de algoritmos de correlación.

Para transformar estas nubes de puntos en superficies, en primer lugar, las nubes de puntos serán unidas mediante triangulación. A partir de ahí, se pueden exportar dos productos: el modelo digital del terreno y la ortofoto.

Todos los productos de salida pueden ser exportados en múltiples formatos. Las ortofotos pueden ser guardadas en los siguientes formatos: BMP, DGN, ERDAS Img, GeoTIFF, JPEG, NITF, PCIDSK, PNG, TIFF.

4.2.3.1. Proceso

Para la obtención de la ortofoto necesaria para realizar la comparación, se ha descargado el programa Photomodeler Scanner en su versión de prueba, que permite acceder a todas las herramientas del programa durante un tiempo limitado.

En primer lugar será creado un nuevo proyecto. Se ha considerado que un proyecto del tipo *Automated Point Cloud and Meshes (Smart Points)* es el que más se ajusta. Además las opciones seleccionadas para que se realicen automáticamente serán la detección de puntos y la calibración de la cámara, puesto que las imágenes no están geolocalizadas y deberán ser georreferenciadas previamente a la densificación de puntos.

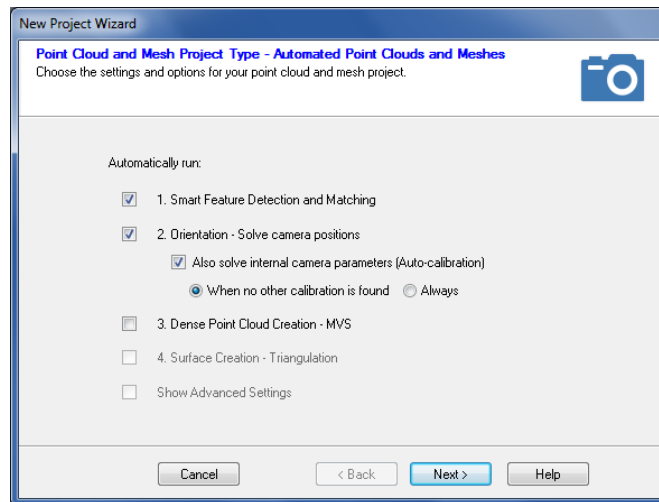


Ilustración 15: Opciones seleccionadas para procesar inicialmente

Posteriormente son añadidas las 119 fotos obtenidas mediante drones y se establece que la calibración de la cámara se realice durante la detección de puntos puesto que no se ha realizado anteriormente la calibración de la misma.

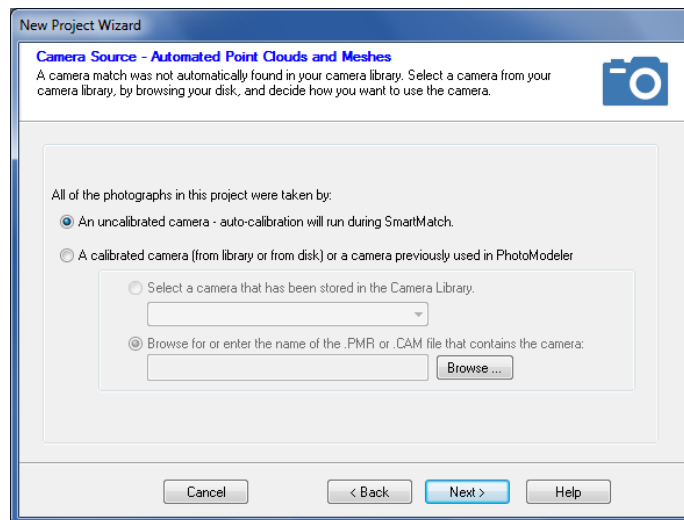


Ilustración 16: Selección de la autocalibración de la cámara

El tiempo obtenido para los procesos realizados automáticamente es de 31min 16s siguientes y es desglosado a continuación:

SmartPoints Project

SmartPoints Project Summary
 Auto-calibration: **On**
 Dense Surfaces/MVS: **Off**
 Triangulate: **Off**

Feature Detection

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	

Feature detection time: 00:00:28

Matching Setup

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	

Matching setup time: 00:06:38

Matching and Marking

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

Help Close Show Report...

Ilustración 17: Tiempos de procesamiento inicial (1)

SmartPoints Project

Matching and Marking

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	

Matching completed in: 00:01:59

Orientation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	

Orientation completed in: 00:22:06

SmartMatch Complete
 Oriented photos: 119 of 119
 3D Points: 32889
 Project completed in: 00:31:16

Help Close Show Report...

Ilustración 18: Tiempos de procesamiento inicial (2)

Finalmente se ha obtenido una nube de puntos como la que vemos en la siguiente imagen:

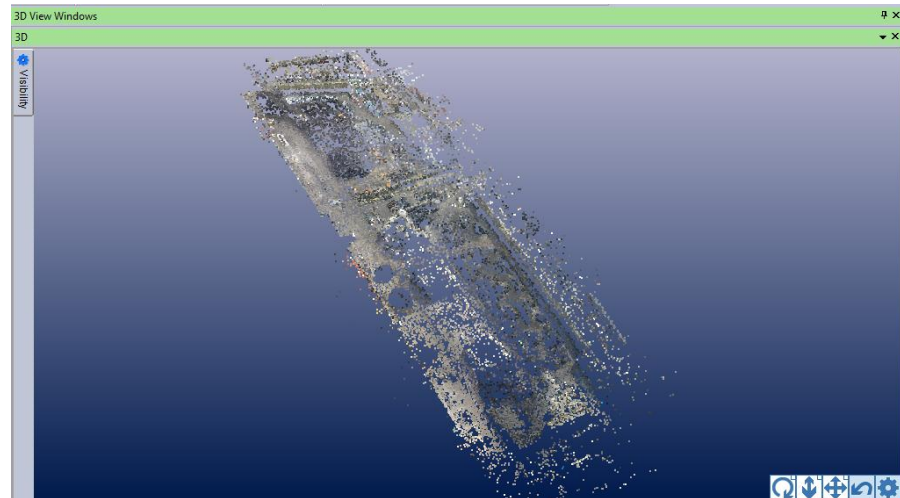


Ilustración 19: Puntos automáticos obtenidos en Photomodeler

Posteriormente, serán ubicados en las imágenes 8 Ground Control Points para mejorar la precisión y obtener una ortofoto final georreferenciada.

En primer lugar será utilizada la herramienta *Marking* → *Marking/Pin Imports Mode* para importar el fichero de texto con las coordenadas de los puntos.

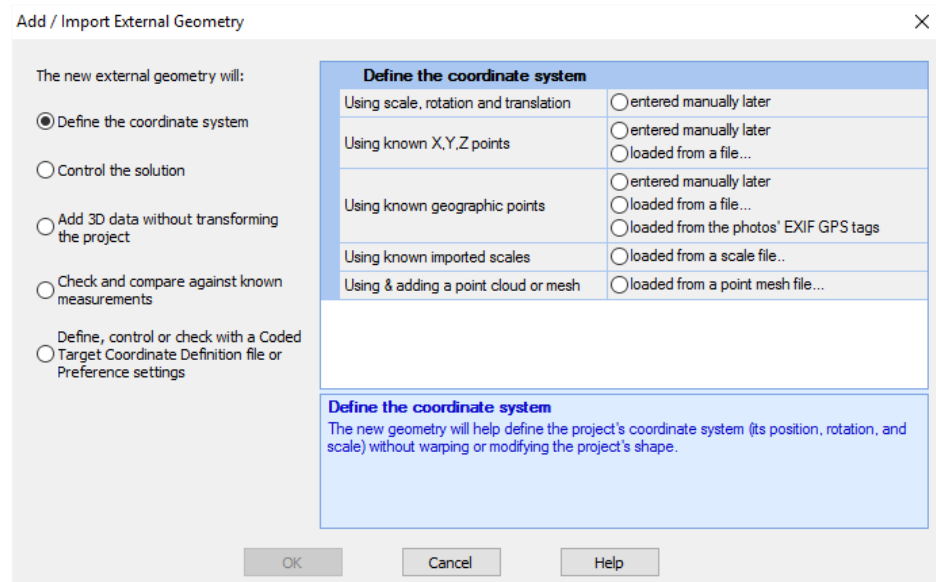


Ilustración 20: Herramienta Add/Import External Geometry

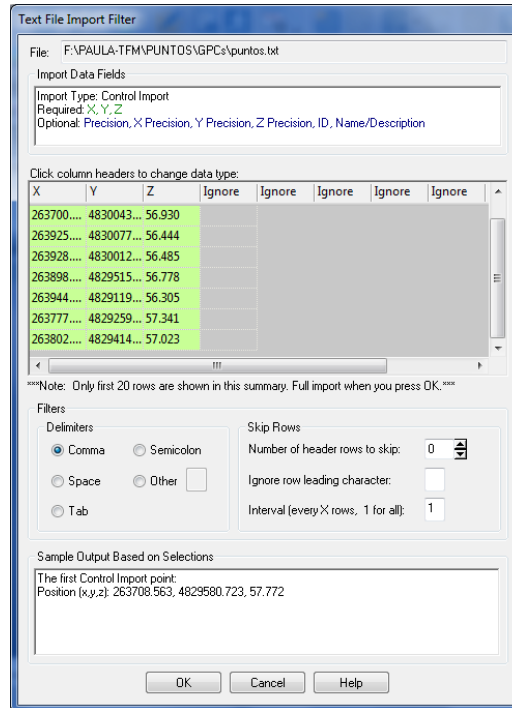


Ilustración 21: Opciones de importación de fichero de puntos

A continuación, para cada uno de los puntos importados, será asignada su ubicación en las imágenes. Para ello se ha utilizado la herramienta *Referencing* → *Referencing Mode* mediante la cual será marcado el punto en cada imagen en la que aparezca, y seguidamente serán asignadas sus coordenadas. El tiempo utilizado para la introducción de los puntos de apoyo ha sido 1 hora aproximadamente.

A continuación será obtenida la superficie. Es utilizada la herramienta *Dense surface* → *Create dense surface* y las opciones seleccionadas son las mostradas a continuación:

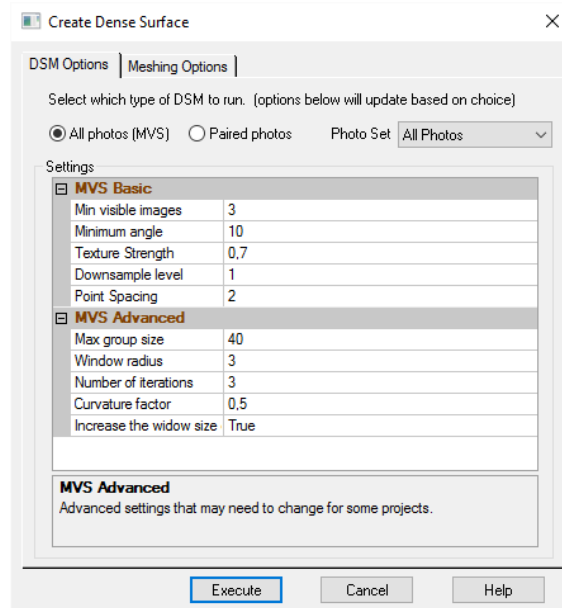


Ilustración 22: Opciones para crear el MDT

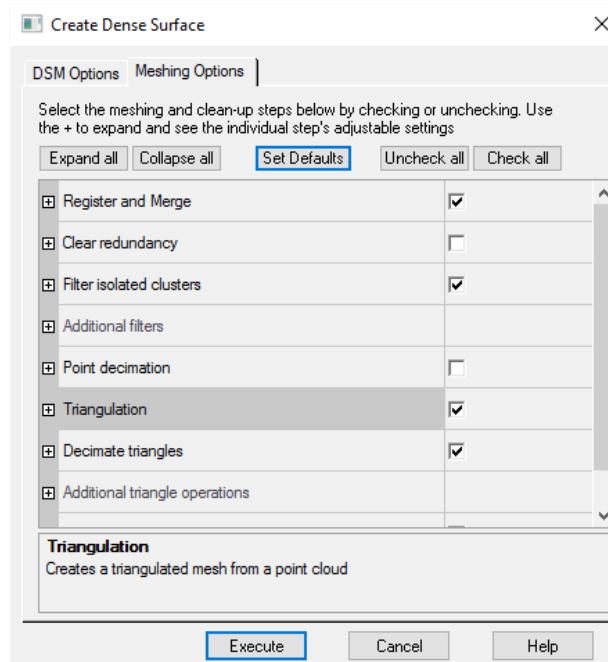


Ilustración 23: Opciones de creación de la triangulación

El tiempo empleado por el software para la realización del *Point Cloud Creation* ha sido de 2h 4min 18s y el *MVS* ha sido de 1h 6min 11s. En las siguientes imágenes podemos ver el mismo desglosado:

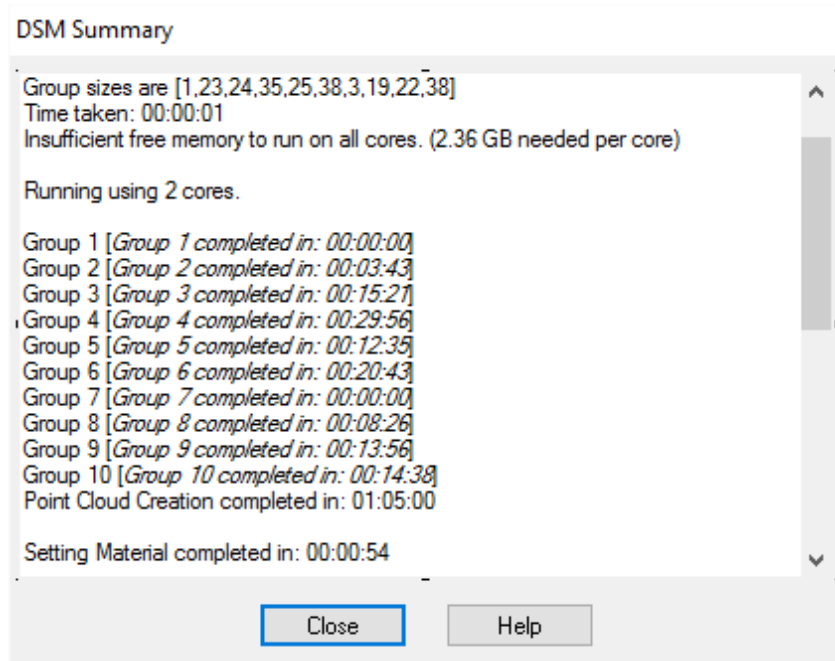


Ilustración 24: Tiempo de creación de la nube de puntos

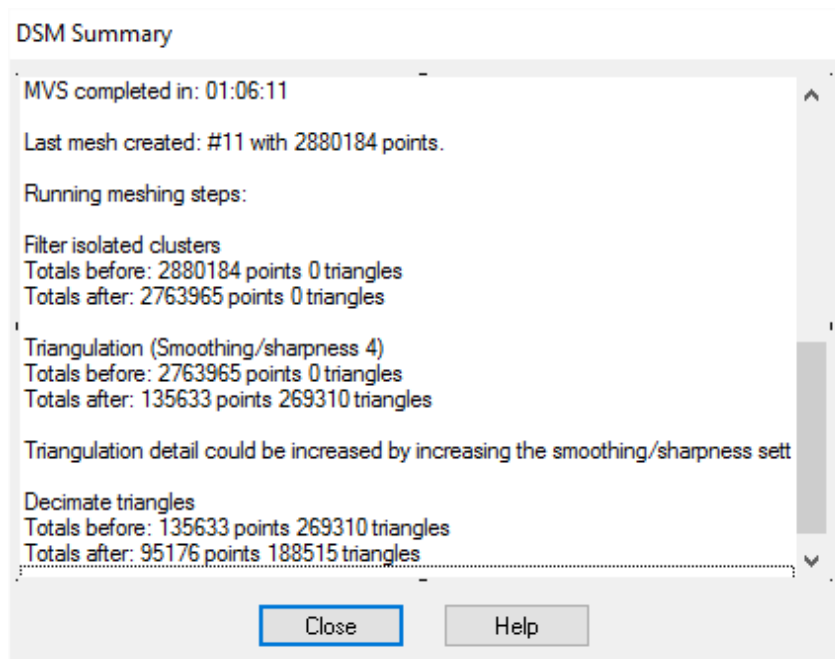


Ilustración 25: Tiempo de creación de la triangulación

A continuación se muestra la ventana 3D del software en la que aparecen los *Smart Points*, y la superficie anteriormente creada.

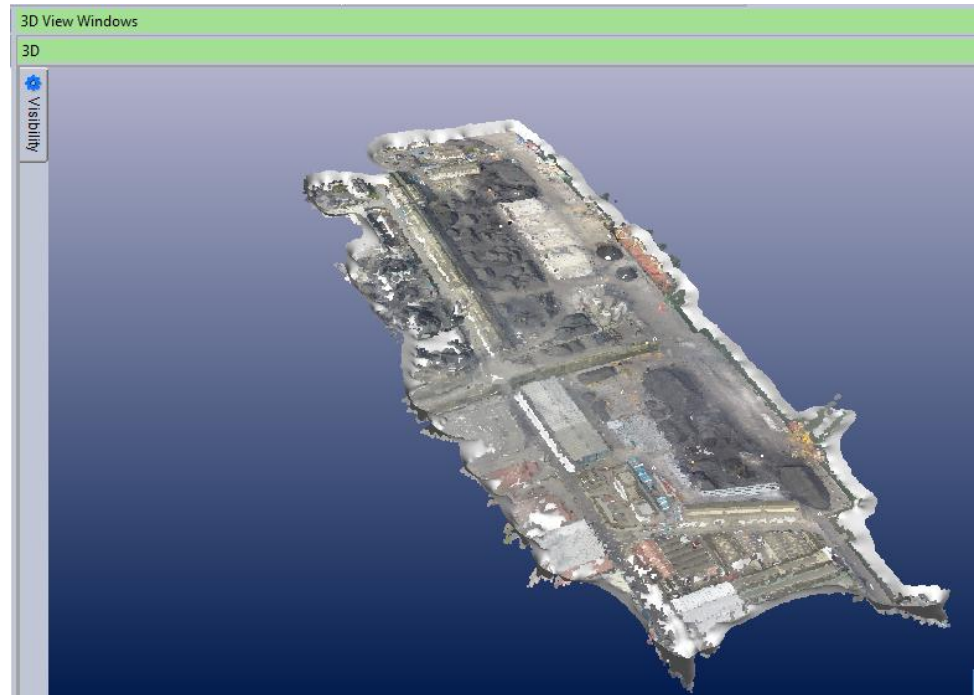


Ilustración 26: Superficie obtenida

Finalmente, para la obtención de la ortofoto será utilizada la herramienta *File* → *Exports* → *Export Orthophoto*.

La resolución elegida para la ortophoto ha sido 5 pixel por metro, la misma que para la ortophoto realizada mediante el software Pix4D, para poder comparar el resultado.

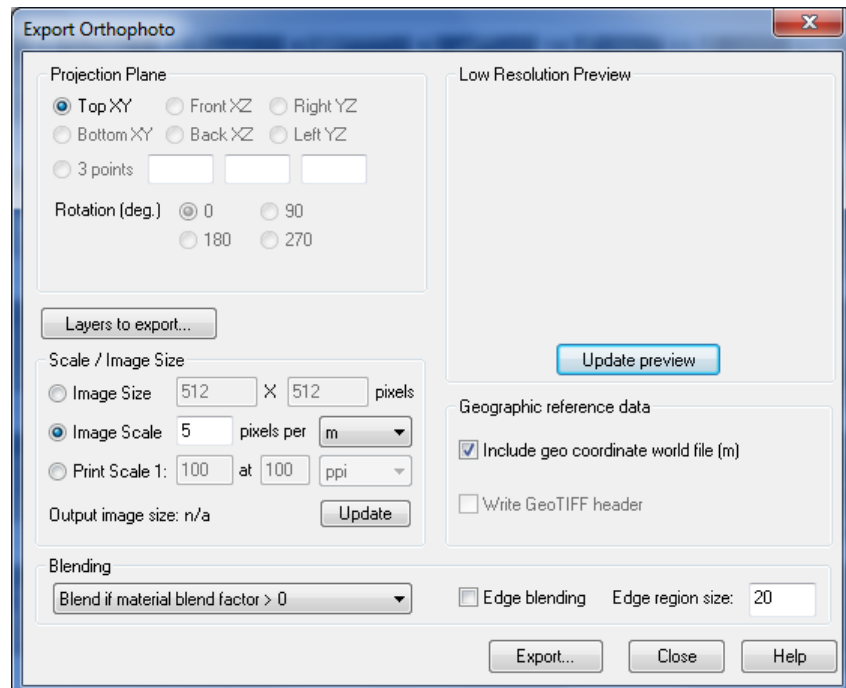


Ilustración 27: Opciones de creación de ortofoto

El tiempo aproximado para la realización del ortomosaico ha sido de 10 minutos aproximadamente.

4.2.3.2. Resultados

- Puntos iniciales

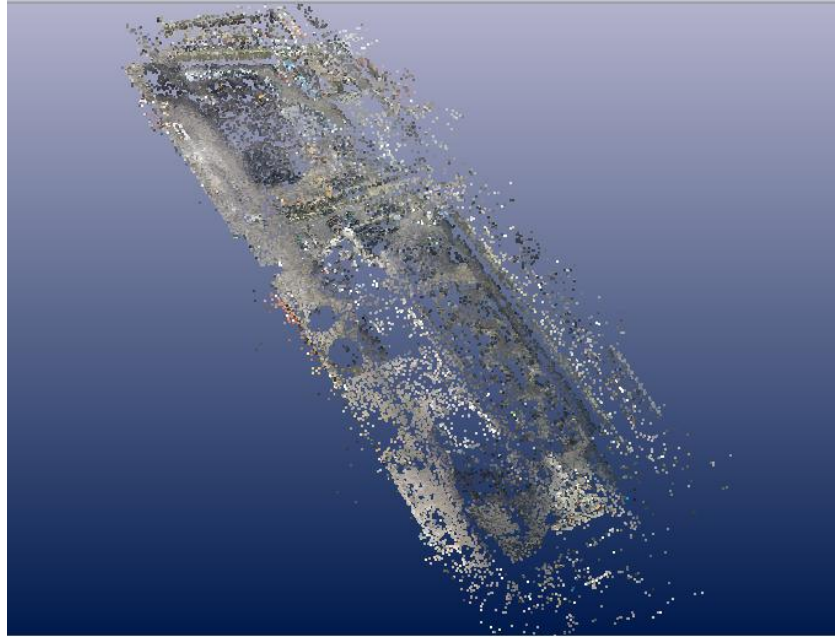


Ilustración 28: Puntos homólogos automáticos

- Superficie

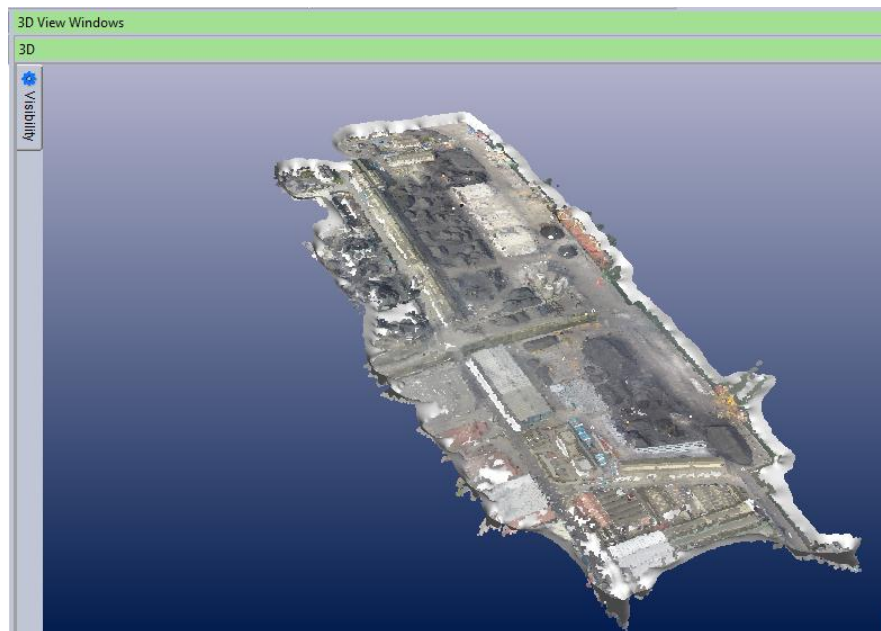


Ilustración 29: Superficie obtenida mediante triangulación

- Ortofoto



Ilustración 30: Ortofoto obtenida en Photomodeler Scanner

4.2.4. Agisoft Photoscan

Agisoft PhotoScan es un software profesional del campo de la fotogrametría. Es un programa que permite la realización del procesamiento de imágenes digitales y la generación de información 3D para ser usada, entre otras funciones, en múltiples aplicaciones GIS.

El programa puede ser obtenido en dos versiones: Standard y Pro. La versión estándar es suficiente para propósitos de interacción virtual mientras que la versión Pro está diseñada para trabajar con contenido GIS.

El software ha sido desarrollado por la empresa Agisoft LLC situada en San Petesburgo, Rusia.

Agisoft PhotoScan es un software que permite a las imágenes (tanto las obtenidas mediante métodos tradicionales como las obtenidas a través de drones) ser:

- Calibradas utilizando un modelo de cámara digital.
- Georreferenciadas utilizando puntos de apoyo o mediante la localización de las cámaras.
- Ajustadas (el bloque de imágenes) a través de la triangulación.
- Empleadas en la creación de productos TIN/DEM de las áreas con imágenes solapadas mediante el uso de algoritmos de correlación.
- Su ortorrectificación utilizando TIN y el cálculo de orientación exterior.

Además Agisoft PhotoScan es capaz de procesar decenas de miles de fotos obteniendo productos caracterizados por su alto grado de precisión en las dimensiones vertical y horizontal.

Agisoft PhotoScan Standard es el programa básico que puede ser usado para resolver varios propósitos como reconstrucción, modelado, digitalización de objetos y escenas...

Características principales:

- Calibración automática de la cámara.
- Búsqueda automática de puntos de apoyo.
- Triangulación.
- Generación del modelo 3D y exportación en formato TIN.

Agisoft PhotoScan Professional incluye todas las funcionalidades de la edición estándar, que son mejoradas con las siguientes características:

- Georreferenciación.
- Exportación del modelo digital del terreno en formato GeoTIFF, Arc/Inpho ASCII grid, formatos Band interleaved y formatos XYZ.
- Generación de la ortofoto.
- Realización de medidas de área y volumen.
- Python scripting.

4.2.4.1. Proceso

Para el estudio del funcionamiento del programa se ha descargado una versión de prueba del mismo durante 30 días.

En primer lugar serán añadidas las 119 imágenes de la zona de estudio obtenidas mediante un dron. Para ello se utiliza la herramienta *Workflow* → *Add Photos*.

Posteriormente, serán introducidos el archivo de texto con los puntos de apoyo para proceder al georreferenciado, puesto que las imágenes utilizadas para este estudio no están georreferenciadas.

Se establecerá el sistema de coordenadas del fichero así como se asignará cada columna a lo que pertenece como vemos a continuación:

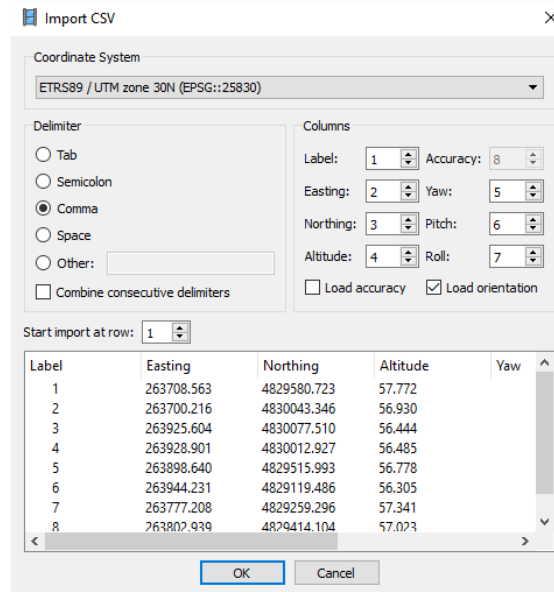


Ilustración 31: Opciones de introducción de fichero de puntos

Seguidamente mediante la herramienta *Workflow* → *Align Photos* serán obtenidos todos los puntos homólogos de manera automática de las imágenes. La duración del proceso es de 30 minutos.

Para la georreferenciación se irá seleccionando cada una de las imágenes en la ventana *Photos* que será visualizada en un tamaño mayor en otra ventana. Pulsando sobre el punto de apoyo en la imagen con el botón derecho del ratón, podrá asignarse al mismo un punto de apoyo. La ventaja de este programa con respecto a otros es que una vez has seleccionado el mismo punto de apoyo en dos imágenes, automáticamente se marca el punto de apoyo en todas las imágenes en las que aparece y tan solo debes comprobarlo. El tiempo utilizado para el georreferenciado ha sido de 30 min.

A continuación se muestra una captura de pantalla del programa en el proceso de georreferenciado:

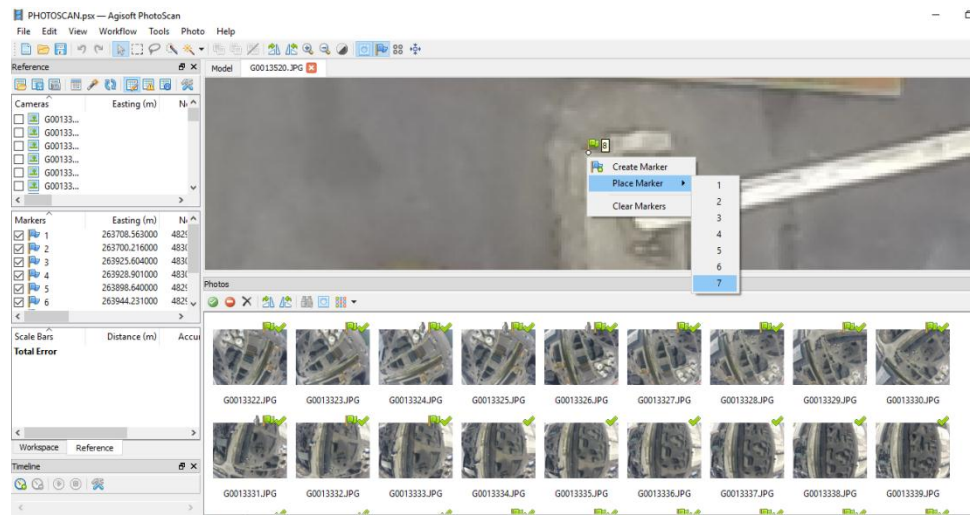


Ilustración 32: Marcado de puntos de apoyo

Puesto que ya hemos realizado la alineación de las imágenes, deberá utilizarse la herramienta *Optimize Camera Alignment* para una mejor precisión después de realizar el georreferenciado.

Una vez tenemos el proyecto georreferenciado se realizarán los procesos de densificación de la nube de puntos y triangulación.

Se ha utilizado para la densificación de la nube de puntos la herramienta *Workflow* → *Build Dense Cloud*. El procesamiento ha llevado 1h y 40 min.

A través de la herramienta *Workflow* → *Build Mesh* se ha obtenido la superficie de triangulación. El proceso ha consumido 1 hora de tiempo.

El propósito del estudio es obtener el modelo digital del terreno y el ortomosaico.

El modelo digital del terreno se obtiene mediante la herramienta *Workflow* → *Build DEM*. A continuación se muestra una captura de pantalla de las opciones seleccionadas. La duración del proceso de esta herramienta ha sido de 1 min aproximadamente.

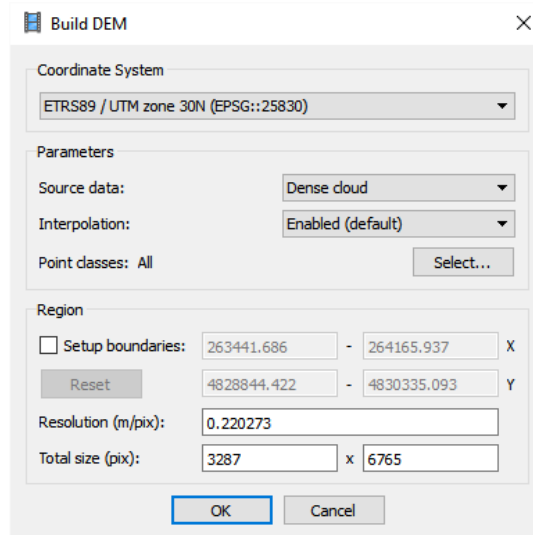


Ilustración 33: Herramienta de construcción del DEM

Para la construcción del ortomosaico se ha utilizado la herramienta *Workflow* → *Build orthomosaic* cuyas opciones se muestran a continuación. Cabe destacar que se ha establecido como tamaño de pixel 20 cm, como para los otros programas, para realizar una comparativa ecuánime. El tiempo de procesamiento ha sido de 1 min aproximadamente.

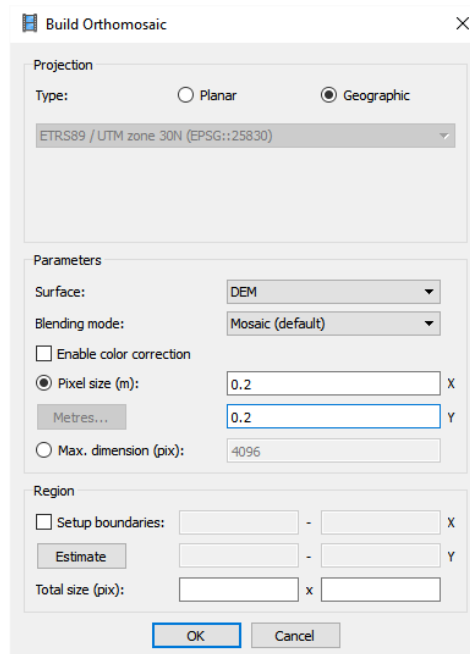


Ilustración 34: Herramienta de creación de la ortofoto

Para poder visualizar el modelo digital del terreno y la ortofoto, estos podrán ser exportados mediante las herramientas *Export*

DEM y *Export Orthomosaic* respectivamente, en múltiples formatos.

4.2.4.2. Resultados

- Puntos iniciales

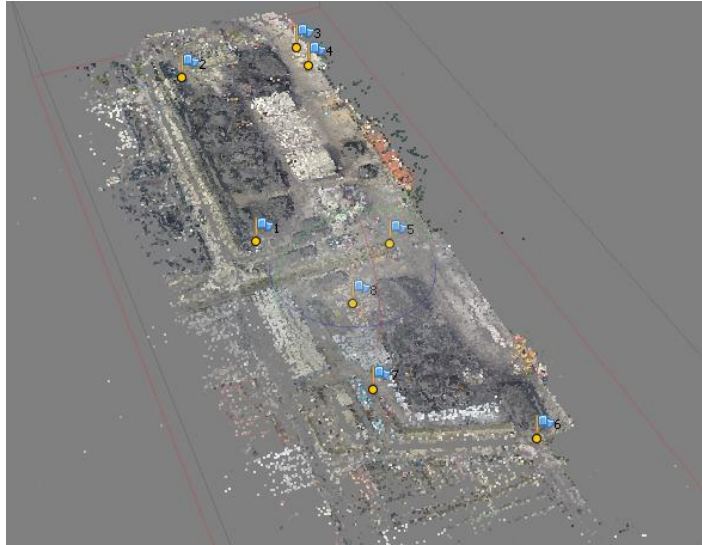


Ilustración 35: Puntos obtenidos automáticamente

- Densificación de la nube de puntos

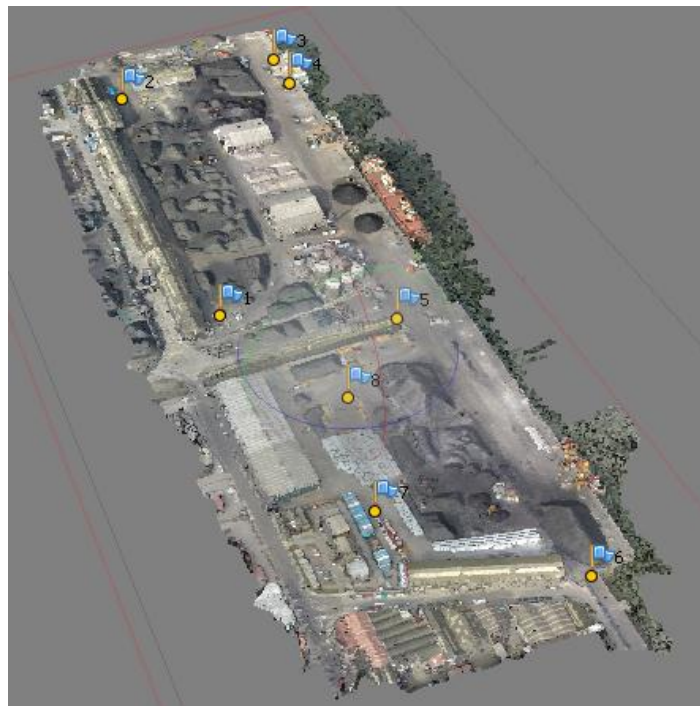


Ilustración 36: Nube de puntos obtenida en Photoscan

- Superficie triangulada

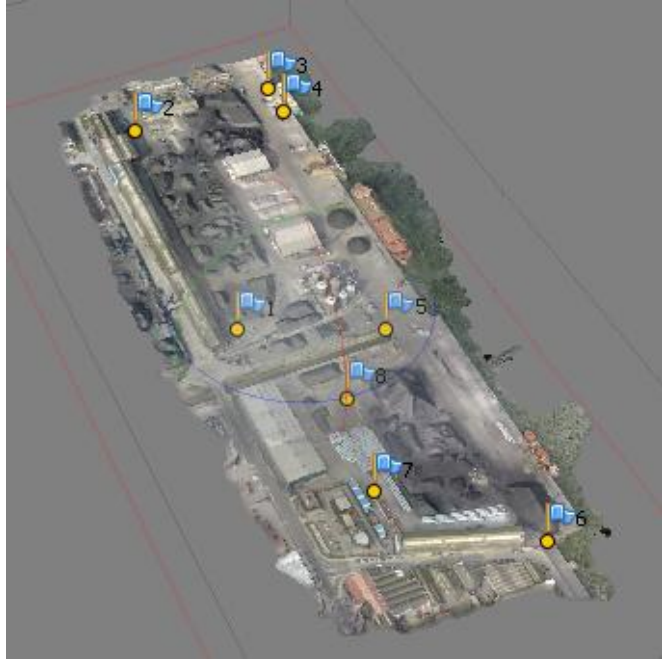


Ilustración 37: Superficie obtenida por triangulación

- DSM

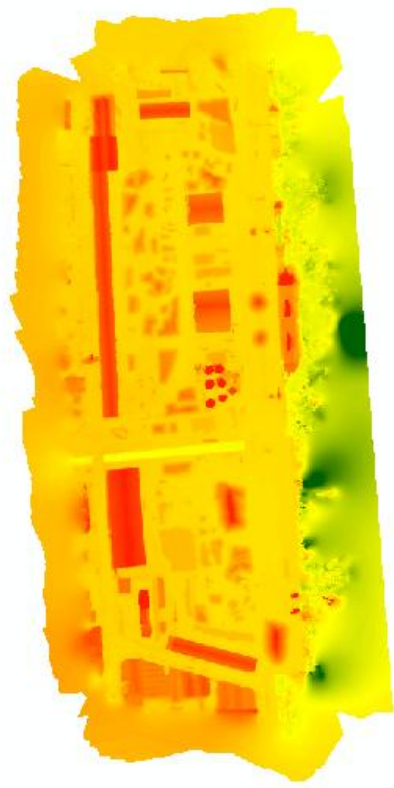


Ilustración 38: DEM obtenido en Photoscan

- Ortofoto



Ilustración 39: Ortofoto obtenida en Photoscan

5. DISCUSIÓN

Con el fin de analizar la calidad de cada programa se han establecido una serie de criterios:

5.1. Facilidad de uso

Pix4D Mapper Pro tiene toda su configuración de los parámetros en un solo menú. El procesamiento inicial, la densificación de la nube de puntos, y la creación del modelo digital del terreno y el ortomosaico pueden ser ejecutados individualmente o todas de una misma vez.

Para el caso del programa Photomodeler, la creación de la nube de puntos y triangulación deben ser creados al mismo tiempo, mientras que el ortomosaico será obtenido a través de una herramienta diferente.

En cuanto al programa Photoscan todos los pasos del procesamiento se realizan en pasos separados.

Es muy recomendable la introducción de puntos de apoyo, no solo por la georreferenciación de los productos generados, sino para evitar errores cometidos habitualmente, como la inversión de mosaicos.

Para la introducción de los puntos de apoyo en el programa Pix4D Mapper Pro se utiliza una herramienta en la que aparece una única subventana para la visualización de cada imagen lo que supone un ahorro de tiempo.

En el caso del programa Photoscan la imagen será abierta de manera individual para marcar cada uno de los puntos. Además muestra una ventaja con respecto a los demás, que es que los puntos de apoyo se muestran automáticamente en todas las imágenes en las que aparecen y simplemente se deben aceptar. Esto supone un ahorro de tiempo en la georreferenciación ya que evita la búsqueda del punto.

Sin embargo, en el programa Photomodeler para establecer GCP serán abiertas tantas ventanas como imágenes contengan dicho punto, por lo que resulta más complicado y por lo tanto se consumirá más tiempo para la introducción de dichos puntos.

5.2. Tiempo

Debido a la gran cantidad de imágenes y de puntos homólogos, el procesamiento consume mucho tiempo y recursos. A continuación se muestran los tiempos desglosados empleados para la realización de la ortofoto en cada uno de los programas seleccionados.

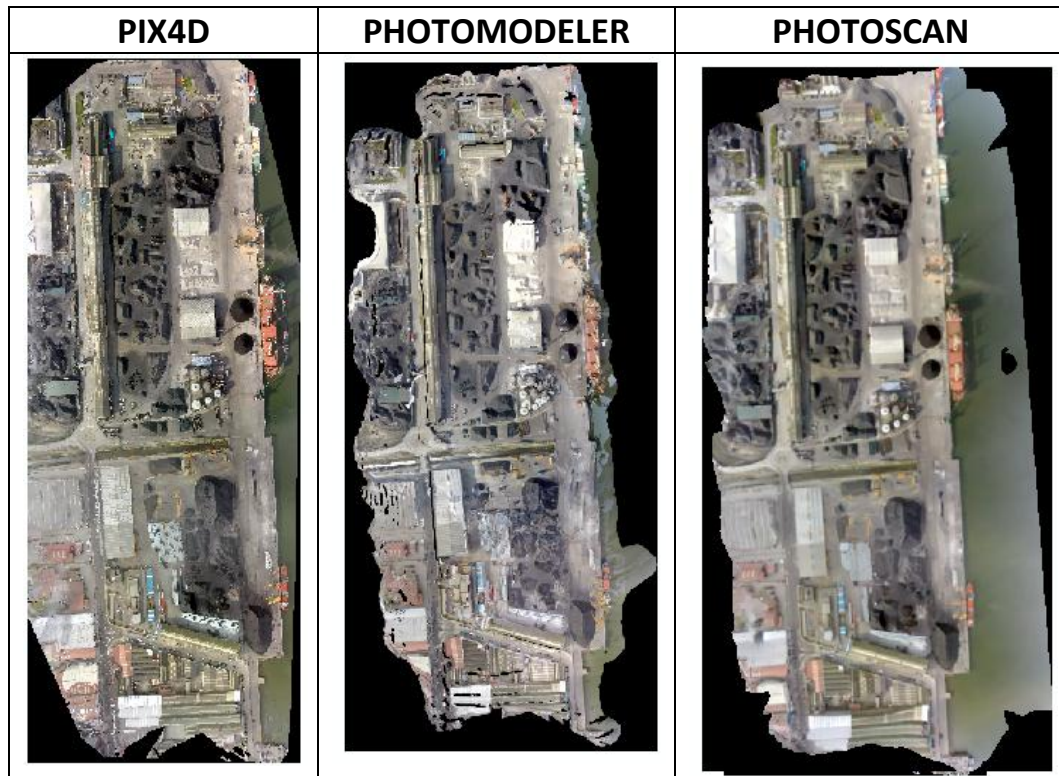
- Pix4D
 - Introducir GCP: 45 min
 - Procesamiento inicial: 25 min 30 s
 - Densificación de la nube de puntos: 1 h 40 min 4s
 - Creación de la superficie: 8 min 8s
 - Generación de MDS: 7 min 18 s
 - Generación de ortomosaico: 14 min 39 s
 - TOTAL: 3 h 20 min 39 s

- Photomodeler:
 - Smart Points: 31 min 16 s
 - Introducir GCP: 1 h
 - Densificación de puntos: 2 h 4 min 18 s
 - Crear superficie: 1 h 6 min 11 s
 - Crear ortofoto: 10 min
 - TOTAL: 4 h 51 min 45 s

- Photoscan:
 - Align Points: 30 min
 - Introducir GCP: 30 min
 - Crear densificación de puntos: 1 h 40 min
 - Crear superficie: 1 h
 - Crear ortofoto: 1 min
 - Crear DSM: 1 min
 - TOTAL: 3 h 42 min

5.3. Calidad visual

En primer lugar, se visualizarán todas las ortofotos obtenidas en el programa ArcMap para poder compararlas más fácilmente.






El programa Pix4D ha creado una ortofoto muy precisa, sin huecos ni distorsiones, exceptuando las esquinas de la fotografía (en la que el solape de imágenes es menor) que se muestran en color negro debido a la falta de información.

De igual manera ocurre con el programa Photoscan. La precisión de la zona central de la imagen es muy elevada, siendo menor en los bordes de la misma, manifestándose en distorsiones, sombras y huecos debido a la falta de información esa zona.

Esto ocurre debido a que la zona de estudio es la zona central de la imagen, por ello durante la obtención de las imágenes se había ordenado un gran solape de esa área. Esto los hace ortomosaicos útiles para conocer la zona, así como para realizar diferentes trabajos y estudios, puesto que, además están georeferenciados.

Mediante el programa Photomodeler se ha obtenido una ortofoto con demasiadas distorsiones y huecos, que no es de utilidad para ningún trabajo científico.

A continuación se muestra una zona de la ortofoto ampliada, la misma en los 3 programas, para poder apreciar mejor la calidad de la imagen.

<p>PIX4D</p>	
<p>PHOTOMODELER</p>	
<p>PHOTOSCAN</p>	

En estas imágenes se observa que el programa que muestra una mejor calidad de imagen es Pix4D, seguido muy de cerca por el programa Photoscan mediante el que se obtienen imágenes de gran calidad.

La ortofoto obtenida por el programa Photomodeler es muy imprecisa y muestra varias distorsiones.

5.4. Coste

El precio de Photomodeler es de 2625\$ (2311€)¹ para un ordenador. El precio incluye 1 año de acuerdo de conservación sin coste adicional, proporcionando todas las actualizaciones y soporte técnico.

PhotoModeler Scanner Trade Up actualiza cualquier licencia existente de Photomodeler al nuevo Photomodeler Scanner. Su precio es de 1495\$ (1316€).

Y finalmente PhotoModeler Scanner Upgrade proporciona licencias de la versión 6 de PhotoModeler Scanner. El precio de PhotoModeler Scanner Upgrade es de 795\$ (700€).

La principal diferencia con Pix4D Mapper Pro, es que para éste último es posible obtener una licencia durante tiempo ilimitado. El precio de la misma es de 6500€. Pix4D ofrece alquileres mensuales y anuales de 260€ y 2600€ respectivamente.

En cuanto al programa Photoscan, el precio de una licencia para uso ilimitado sería de 3077,80€. Incluye soporte técnico durante 12 meses.

6. CONCLUSIONES

Las imágenes tomadas con cámaras compactas digitales integradas en drones y utilizando programas fotogramétricos de bajo coste pueden ser utilizadas para producir precisas ortofotos y modelos digitales del terreno para la mayor parte de proyectos de ingeniería y geomorfología.

Las imágenes adquiridas mediante drones son aptas para ser procesadas mediante diferentes programas. Han sido analizados en este documento programas como Pix4D Mapper Pro, especialmente usado para el procesamiento de imágenes obtenidas mediante drones, y Photomodeler Scanner o Photoscan.

¹ La conversión de dólares a euros se ha realizado el día 8/06/2016 para que la información mostrada sea lo más actual posible.

6.1. Métodos tradicionales vs Drones

La obtención de imágenes mediante drones es especialmente utilizada para la adquisición de información de un área pequeña. Sin embargo para grandes superficies y escalas es mejor realizar un vuelo fotogramétrico. De esta manera se evita sobrevolar con los vehículos de control remoto sobre zonas urbanas, lo cual está prohibido según el Real Decreto-ley 8/2014 del 4 de julio.

El coste de imágenes obtenidas mediante drones es mucho menor que el coste de imágenes obtenidas mediante satélites o aviones. La rápida disponibilidad y alta resolución de las imágenes lo convierte en un método factible para obtener modelos del terreno y ortofotos del terreno.

6.2. Similitudes entre los software utilizados (con respecto a software convencionales)

- La cámara integrada en el dron no debe estar calibrada. Los programas utilizados en este estudio tienen una ventaja, pueden realizar autocalibración de las imágenes y no es necesario el conocimiento de los parámetros de la cámara antes de tomar las fotografías. Otros programas no tienen esta función por lo que los parámetros de la cámara deben ser conocidos y deben ser introducidos en el programa en primer lugar.
- La orientación de la imagen es totalmente automática. Puesto que la orientación de la imagen es totalmente automática no es necesario tener conocimiento de fotogrametría para la realización del procesamiento. Mientras tanto, en otros programas el procesamiento debe realizarse manualmente o semi automáticamente, por lo tanto es necesario conocer las bases de la fotogrametría.
- La ortofoto es generada automáticamente. Mientras en otros programas se deben seleccionar imágenes, definir el área e introducir información, en programas como los realizados en este estudio no. Por ello el tiempo empleado en estos procesos es menor.
- El programa puede procesar grandes cantidades de imágenes. Para métodos fotogramétricos tradicionales es muy difícil procesar grandes cantidades de imágenes debido a la necesidad de utilización de imágenes de gran calidad. Por lo tanto, en el caso de obtener muchas imágenes, es mejor utilizar programas de procesamiento de imágenes obtenidas por drones.

6.3. Comparativa de programas

Debido al incremento del uso de drones para la obtención de fotografías es importante encontrar métodos rápidos y precisos para convertir las imágenes adquiridas en un solo ortomosaico. En este estudio se han presentado varias alternativas de programas que ofrecen un método automático de procesamiento.

No hay una simple opción que optimice todos los criterios, sino que la selección del mejor programa debe reflejar la mejor relación entre todos los criterios: facilidad de uso, coste, tiempo y precisión visual.

El análisis de los criterios establecidos para los distintos programas es el siguiente:

- Uno de los factores más importantes es el tiempo, ya que una de las ventajas en el uso de este tipo de programas es la disminución del mismo con respecto a los métodos tradicionales. Los tiempos totales de procesamiento para los programas han sido los siguientes:
 - PIX4D: 3h 20min 39s
 - PHOTOMODELER: 4h 51min 45s
 - PHOTOSCAN: 3h 42min
- En cuanto a la facilidad de utilización, desde mi punto de vista, el programa Pix4D sería el que mejor resultado da. Esto es debido a que las opciones de procesamiento se encuentran todas en la misma ventana y tan sólo son necesarios 3 pasos para obtener la ortofoto final que se pueden ejecutar al mismo tiempo o en distintos.

También cabe destacar en este apartado, la forma sencilla de introducción de puntos del programa Photoscan, que automáticamente genera los puntos de apoyo en todas las imágenes en las que aparece, una vez se han introducido en dos imágenes.

En el caso del programa Photomodeler, la herramienta de introducción de puntos resulta un poco más complicada, aunque en general el programa es fácil de utilizar.

- La calidad visual de las ortofotos resultantes es parecida para los programas Photoscan y Pix4D Mapper, mediante los cuales se obtienen imágenes de gran calidad.

Sin embargo la ortofoto obtenida por el programa Photomodeler muestra varias distorsiones y huecos lo que hace que sea menos precisa que las anteriores.

- El programa con un coste de licencia menor es Photoscan cuyo precio para uso ilimitado es de 3077,80€.

El programa Pix4D tiene un coste mucho más elevado para uso ilimitado (6500€), pero ofrece la posibilidad de alquileres mensuales y anuales de 260€ y 2600€ respectivamente.

El precio de Photoscan es de 2311€ para su uso a lo largo de 1 año.

En la siguiente página se muestra una tabla comparativa de los diferentes software estudiados en el proyecto. Será introducido un número del 1 al 3 (de mejor a peor) para cada criterio en cada uno de los programas. El software que obtenga el número más bajo será el que generalmente es mejor para la realización de ortofotos.

Finalmente, el software que muestra mejores resultados es Pix4D, que es el programa que refleja una mejor relación de todos los criterios. Sin embargo su precio es bastante elevado en comparación con el programa Photoscan que muestra resultados muy similares. Por lo tanto, en función de la finalidad del estudio o trabajo que se desee realizar será elegido uno de ellos.

TABLA COMPARATIVA DE SOFTWARE PARA LA REALIZACIÓN DE ORTOFOTOS

	FACILIDAD DE USO	TIEMPO	ORTOFOTO	PRECIO	TOTAL
PIX 4D MAPPER PRO	1	1	1	3	6
PHOTOMODELER SCANNER	3	3	3	2	11
AGISOFT PHOTOSCAN	2	2	2	1	7

7. BIBLIOGRAFÍA

7.1. Legislación

- *Real Decreto-ley 8/2014, de 4 de julio, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia*. BOE» núm. 163, de 5 de julio de 2014, páginas 52544 a 52715 (172 págs.) Referencia: BOE-A-2014-7064.

7.2. Artículos de investigación

- Mendes.T; Henriques.S; Catalão.J; Redweik.P; Vieira.G. (2015) *“Photogrammetry with UAV’s: Quality Assessment of Open-Source Software for Generation of Orthophotos and Digital Surface Models”*. Universidad de Lisboa.
- Visockiene.S; Brucas.D; Ragauskas.U. (2014) *“Comparison of UAV images processing software”*. Vilnius Gediminas Technical University.
- Sona.G; Pinto.L; Pagliari.D; Passoni.D; Gini.R. (2014) *“Experimental analysis of different software packages for orientation and digital surface modelling from UAV images”*.
- Govorčin.M; Pribičević.B; Đapo.A (2014) *“Comparison and analysis of software solutions for creation of a digital terrain model using unmanned aerial vehicles”*. Faculty of the Geodesy, University of Zagreb.
- Gross.J *“A Comparison of Orthomosaic Software for Use with Ultra High Resolution Imagery of a Wetland Environment”*.

7.3. Webs

- *Pix4Dmapper Pro - Pix4D* [<https://pix4d.com/product/pix4dmapper-pro/>]
- *Photomodeler Scanner Overview* [<http://photomodeler.com/products/scanner/default.html>]
- *Agisoft Photoscan* [<http://www.agisoft.com/>]
- *Phantom 2* [<http://www.dji.com/es/product/phantom-2>]

7.4. Apuntes

- Silverio García Cortés (2015). *“Asignatura de Georreferenciación de imágenes digitales”*. Máster en Teledetección y SIG, Universidad de Oviedo.