



Certificación ISO 9001:2015

Procesamiento geo-informático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte

Juan Carlos Vázquez Paulino
Miguel .A, Backhoff Pohls

**Publicación Técnica No. 490
Sanfandila, Qro, 2017**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Procesamiento geo-informático de datos generados
mediante drones para la gestión de infraestructura
del transporte**

Publicación Técnica No. 490
Sanfandila, Qro, 2017

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales del Instituto Mexicano del Transporte, por el Lic. Juan Carlos Vázquez Paulino de la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial.

Se agradece la colaboración del M. en Geog. Miguel A. Backhoff Pohls, Jefe de la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial del Instituto Mexicano del Transporte por sus comentarios, sugerencias y valiosas aportaciones al desarrollo del proyecto. También se agradece a la empresa Neokoncepto por apoyar con el uso del dron y compartir los datos resultantes para la realización del estudio piloto.

Contenido

Resumen		iv
Abstract		v
Resumen	Ejecutivo	vii
Capítulo 1.	Introducción	1
Capítulo 2.	Marco teórico	7
Capítulo 3.	Metodología	26
Capítulo 4.	Conclusiones	75
Bibliografía		79

Resumen

En el presente estudio se revisan aspectos acerca de los drones, los sensores y los datos que se generan a través de su uso. También se mencionan cuáles son los aspectos necesarios para poder aplicar esta tecnología.

Se realiza un acercamiento a varios programas que actualmente se utilizan para el proceso de los datos levantados en campo mediante un dron y se muestra el uso del software más utilizado para tal fin. Se muestran visores de datos con funciones básicas y software especializado en el proceso de datos.

Se muestra la integración y manipulación de las nubes de puntos resultantes en un Sistema de Información Geográfica, en este caso ArcGIS, en donde se procesan y visualizan utilizando las herramientas que dispone el software. Se generan productos como ortomosaicos, modelos digitales de elevación y curvas de nivel, a partir de los cuales se pueden obtener cálculos de volumen, área, escurrimientos y acumulación de agua.

Abstract

This document explores, analyzes and proposes geo-computer processes applied to data generated by drones, all of which focuses on the management of transport infrastructure. To study the existing paradigms in geo-informatics processes and to determine those that could be applied to the data generated by drones. Explore and analyze various storage options for drone-generated data. To carry out a comparative evaluation of the different options in computer equipment and its characteristics. Create a use case with real data and apply the proposed geo-informatics processes. Document the entire exploration and analysis process as well as the use case and results obtained.

Resumen ejecutivo

Se describen los requerimientos específicos para la realización de procesos geo-informáticos aplicados a los datos generados mediante drones, dirigidos a la gestión de la infraestructura para el transporte; asimismo se identifican y precisan las técnicas, mecanismos, arquitectura informática y procedimientos para el registro, integración, almacenamiento y procesamiento de los datos generados mediante drones, así como la realización de un ejercicio piloto para la obtención de datos generados mediante drones y su procesamiento geo-informático con fines de gestión de infraestructura para el transporte.

1 Introducción

Un Sistema de Información Geográfica (SIG), es un paquete de software que permite almacenar, recuperar, procesar, analizar y visualizar datos que cuentan con una coordenada geográfica; consta de varias fases o etapas que se deben cumplir para poder obtener resultados que resuelven alguna problemática planteada o identificada por la institución que los utiliza.

Las partes principales de un SIG, son:

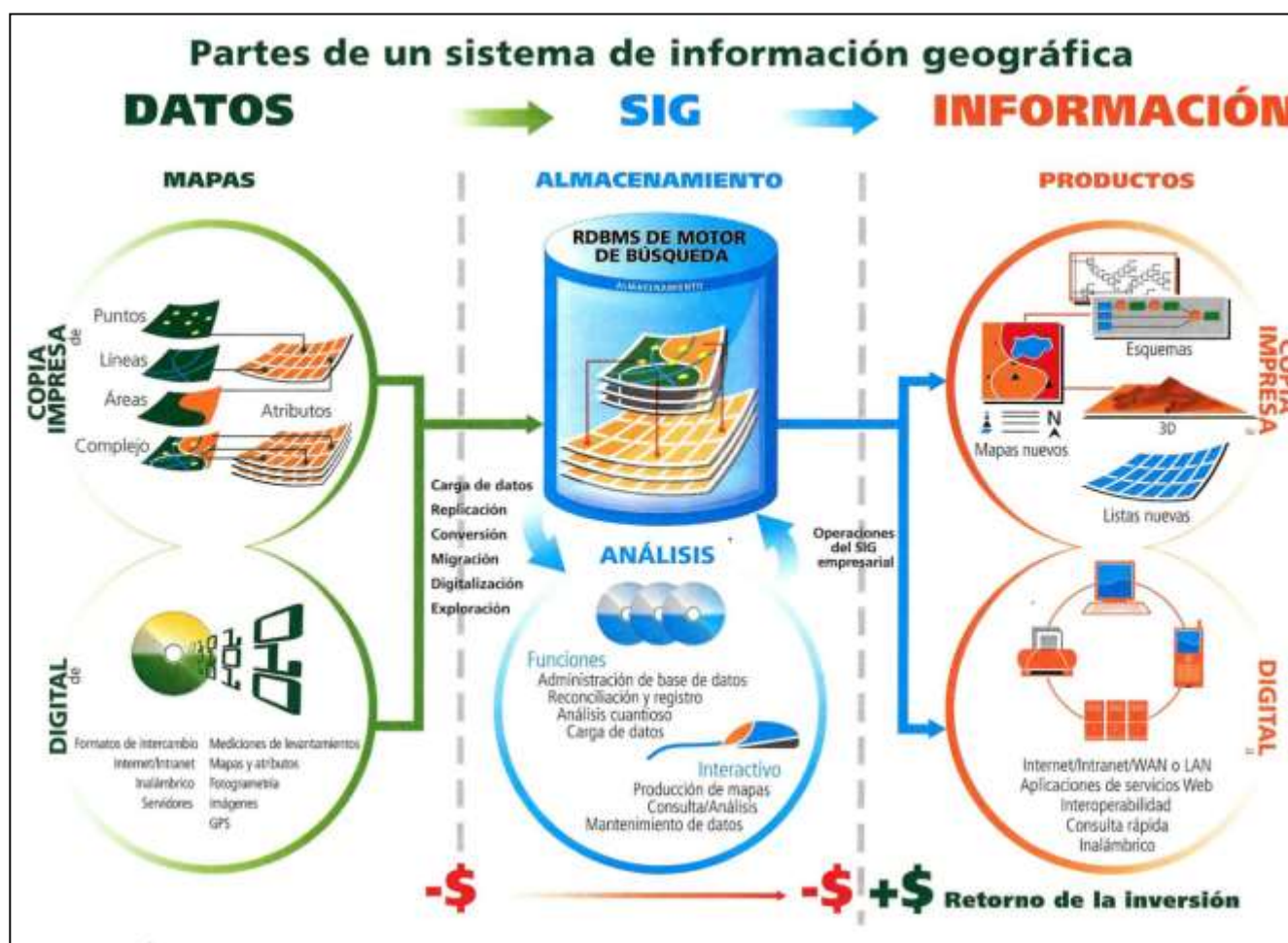


Figura 1.1 Partes de un sistema de información geográfica

Fuente: Tomlinson, R. *Pensando en SIG*. ESRI Press. 2007

En este modelo, se convierten datos en información útil mediante análisis. Para lograr esto se requiere almacenar en algún lugar y de algún modo los datos espaciales vinculados lógicamente, y que a su vez cuentan con atributos, a los cuales se les aplican diversos tipos de análisis con el fin de generar los productos que se requieren por el usuario.

Los *datos espaciales*¹ son datos sin procesar que tienen un vínculo geográfico, esto es, que un aspecto de estos datos está conectado a un lugar conocido de la tierra. Existe también la información no espacial que se relaciona con alguno de los datos espaciales mencionados. Dicha información conforma un grupo de características que se están íntimamente relacionadas al dato espacial y que se conoce también como atributos.

Las fuentes de datos pueden ser de muchos tipos, en diversos formatos y con distintas finalidades, lo mismo pueden ser en papel, obtenidos de una institución o a través de internet, o mediante levantamientos en campo utilizando dispositivos de medición, entre los cuales se cuentan los receptores GPS (Global Position System – Sistema de Posicionamiento Global), las imágenes satelitales, los datos fotogramétricos y de instrumentos geofísicos, fotos y nubes de puntos generadas mediante drones, etc.

Para poder generar la información necesaria final, se requiere la construcción de un modelo que representa la realidad y que se compone de elementos de la misma, al cual se le aplica determinado tipo de análisis.

El problema estriba en el hecho de que el detalle de la realidad es prácticamente infinito, mientras que la representación y almacenamiento de esa realidad es finito. Es necesario extraer de algún modo una serie de elementos y valores característicos, los cuales se convertirán en valores numéricos dentro del modelo de SIG, dado que estos son los que interpreta una computadora².

Existen una serie de pasos para convertir la realidad hasta un conjunto de valores numéricos y que son:

- Establecimiento de un modelo geográfico. Es decir, un modelo conceptual de la realidad geográfica y su comportamiento. Se trata de conceptualizar el espacio estudiado, la variable tratada y la variación de esta a lo largo del espacio. Este

¹ Tomlinson, R. *Pensando en SIG*. ESRI Press. 2007

² http://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Tipos_datos.html

modelo geográfico es un esquema mental que constituye una forma particular de entender el hecho geográfico en sí, pero que todavía no incorpora elementos relativos a su representación o almacenamiento.

- Establecimiento de un modelo de representación. Es decir, una forma de recoger el anterior modelo conceptual y sus características propias, reduciéndolo a una serie finita de elementos. De tal modo que el registro de dichos elementos sirva para almacenar la realidad que los modelos geográficos describen. Para ello, empleamos los modelos de representación, también denominados modelos de datos.

Entre los modelos comúnmente utilizados se encuentran:

- Modelo raster³

En el modelo raster (imagen 2), la zona de estudio se divide de forma sistemática en una serie de unidades mínimas (denominadas habitualmente celdas), y para cada una de estas se recoge la información pertinente que la describe.

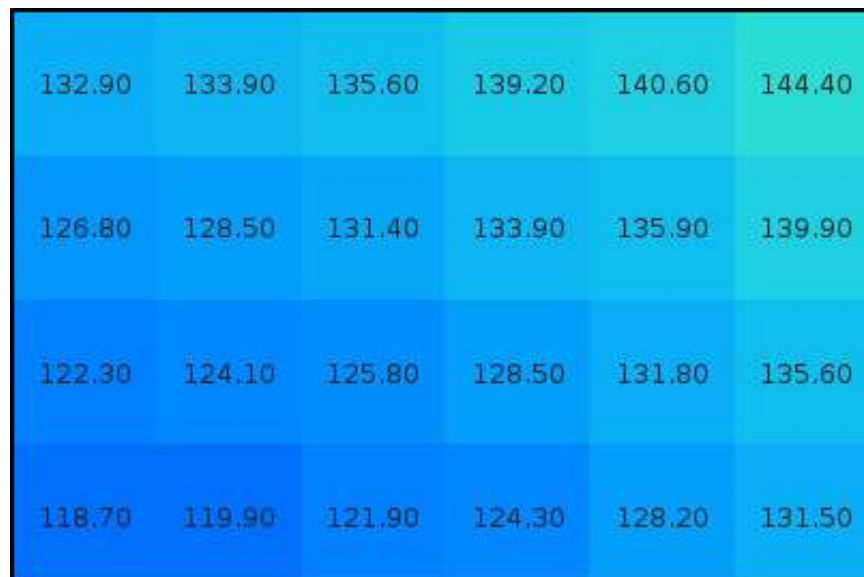


Figura 1.2. En el Modelo raster cada celda tiene un valor definido.

³ http://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Tipos_datos.html

- Modelo vectorial⁴

En este modelo, no existen unidades fundamentales que dividen la zona recogida, sino que se recoge la variabilidad y características de esta mediante entidades geométricas, para cada una de las cuales dichas características son constantes. La forma de estas entidades (su frontera), se codifica de modo explícito, a diferencia del modelo raster, donde venía implícita en la propia estructura de la malla.


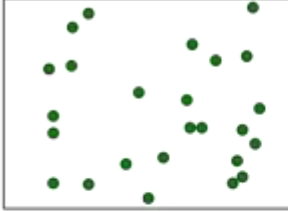




Primitiva	Entidad espacial	Representación	Atributos																		
Puntos			<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Altura</th> <th>Diámetro Normal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>17.5</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>22</td> <td>45.6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>15</td> <td>27.2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>19.7</td> <td>36.1</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	ID	Altura	Diámetro Normal	1	17.5	35	2	22	45.6	3	15	27.2	4	19.7	36.1	...		
ID	Altura	Diámetro Normal																			
1	17.5	35																			
2	22	45.6																			
3	15	27.2																			
4	19.7	36.1																			
...																					
Líneas			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ancho máx(m)</th> <th>Calado máx(m)</th> <th>Longitud(km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>4.3</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>6.3</td> <td>3.9</td> <td>5.2</td> </tr> </tbody> </table>	Ancho máx(m)	Calado máx(m)	Longitud(km)	15	4.3	35	6.3	3.9	5.2									
Ancho máx(m)	Calado máx(m)	Longitud(km)																			
15	4.3	35																			
6.3	3.9	5.2																			
Polígonos			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Superficie(km²)</th> <th>Profundidad máx(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>31494</td> <td>1637</td> </tr> </tbody> </table>	Superficie(km ²)	Profundidad máx(m)	31494	1637														
Superficie(km ²)	Profundidad máx(m)																				
31494	1637																				

Figura 1.3. En el Modelo vectorial, se describen los elementos tipo punto, líneas y polígonos así como su representación y los atributos definidos para cada elemento.

La mayoría de la información necesaria cae dentro de los parámetros de alguno de estos modelos. Existen más tipos de modelos que cumplen diversas funciones,

⁴ Ibidem

tales como los DEM (Modelos Digitales de Elevación), modelos vectoriales con topología, etc.

- Establecimiento de un modelo de almacenamiento. Es decir, un esquema de cómo almacenar los distintos elementos del modelo de representación. Es decir, cómo escribir dichos valores en un soporte digital o guardarlos en la memoria del ordenador de la mejor manera posible.

Los modelos de almacenamiento deben atender principalmente a dos necesidades básicas, que son las que definirán su idoneidad para cada tarea y tipo de dato:

- Minimizar el espacio ocupado por los datos.
- Maximizar la eficiencia de cálculo.

La primera necesidad es especialmente importante, pues, como ya se ha dicho, los datos raster son con frecuencia muy voluminosos. Un modelo de representación que minimice el tamaño de los datos, unido a un manejo óptimo de memoria, son requisitos de suma importancia para todo SIG que maneje datos raster, máxime considerando los grandes volúmenes de datos que hoy en día se manejan, tales como los correspondientes a imágenes de alta resolución.

Para lo anterior se hace necesario utilizar Sistemas Gestores de Bases de Datos SGDB o DBMS, (del inglés DataBase Management System) que sean lo suficientemente capaces de almacenar, procesar, administrar, consultar, modificar, proporcionar seguridad y recuperar el gran cúmulo de datos que se generan a través de las distintas fuentes de datos.

Un SGBD es una pieza de software complejo, ya que las situaciones a las que debe responder son diversas y en muchas ocasiones con requerimientos elevados por ejemplo en lo que a eficiencia y volumen de datos respecta. Piénsese que una base de datos actual puede tener millones de registros y ser utilizada simultáneamente por miles de usuarios, que a su vez pueden utilizar diversos programas, no todos ellos del mismo tipo. El SGBD debe proporcionar a todos el método adecuado para extraer del conjunto de datos completo cuanto sea necesario en cada caso.

En este sentido, también es muy importante la arquitectura del hardware para el almacenamiento, ya sea utilizando unidades físicas de estado sólido (SSD por sus siglas en inglés y que significa Solid-State Drive), que utiliza memoria no volátil (similar a la memoria flash o unidades de respaldo usb) en vez de platos o discos magnéticos; discos duros portátiles de almacenamiento masivo, etc.

Ahora bien, la necesidad de maximizar la eficiencia de cálculo va muy relacionada al tipo de computador de que se disponga, el cual puede ser un hardware de escritorio con ciertas características en cuanto a procesador, núcleos, velocidad de proceso, velocidad de comunicaciones, tarjeta de video, memoria RAM y sistema operativo ya sea de 32 o 64 bits, o bien, un servidor virtual al cual el usuario se conecta vía remota y que cuenta con mucha capacidad de almacenamiento y de proceso disponibles en arreglos o racks de computo distribuido, en donde se hace importante contar con una red de acceso local y externo lo suficientemente robusta en cuanto a velocidad de acceso y ancho de banda para soportar la transferencia de grandes volúmenes de información. También existe la opción de proceso en línea y almacenamiento mediante el uso de aplicaciones geoespaciales y de análisis en la nube (Cloud Computing), en donde algunas son de uso gratuito pero la mayoría tienen un costo por proceso ejecutado y por bit de almacenamiento utilizado.

2 Marco teórico

Como se comentó anteriormente, los datos pueden provenir de distintas fuentes, entre ellas, sensores que van instalados en los llamados Drones (concepción más utilizada en el idioma español y que puede considerarse como una adaptación válida del sustantivo inglés *drone* – literalmente zángano o zumbador, por el ruido que emiten durante su operación), también llamados VANT (Vehículo Aéreo No tripulado) o UAV (Unmanned Aerial Vehicle, por sus siglas en inglés).

Un dron es una aeronave que vuela sin tripulación, es reutilizable, es capaz de sostener un nivel de vuelo controlado y es propulsado por uno o varios motores. Aunque hay una amplia variedad de formas, tamaños y características, se identifican dos variantes, en primer lugar, los que son controlados de manera remota y en segundo lugar, los que vuelan de forma autónoma sobre un plan de vuelo programado previamente.

Del mismo modo existen los que cuentan con rotores del estilo de los helicópteros y los que son del tipo avión, esto es, aparatos de ala fija con un medio de propulsión y de un tamaño considerablemente menor que los aviones típicos.

Los drones de ala rotativa, al contar con giroscopios y estabilizadores así como sistemas GPS, se pueden mantener en el mismo sitio sin variar la posición, pudiendo así, tomar fotos y/o video y algunos otros datos dependiendo de los sensores que tengan instalados.

Existe la vertiente de AUVs (Autonomous Underwater Vehicles, Vehículos submarinos autónomos) o VSNT (Vehículo Submarino No Tripulado), tienen forma de torpedo y llevan diversos sensores como lectores de salinidad de agua, ecosondas, sonares, cámaras fotográficas, perfiladoras de terreno, sensores de corrientes submarinas y que son utilizados para proyectos o investigaciones oceanográficas o hidráulicas.

Existen diversas ventajas al utilizar este tipo de tecnología, entre ellas se menciona:

- Sustitución del ser humano en la ejecución de labores peligrosas, por ejemplo, sobrevuelo y exploración de zonas con radiación.
- Fácil reposición en caso de avería o pérdida.
- Rapidez en la toma de fotos, video y/o levantamiento de datos.
- Aplicación en muchas áreas, tanto de investigación como de producción.
- Disminución de costos de captura debido a la rapidez con que se obtienen los datos.

Entre las desventajas se ha identificado:

- Costo relativamente alto, esto se incrementa en aplicaciones a título personal o sin el respaldo financiero de una institución.
- La autonomía de las baterías aún es muy poca (20 minutos – 40 minutos en los drones pequeños, 40 minutos – 2 horas en las versiones más grandes).
- Vacíos en el aspecto legal y ético en cuanto al manejo, criterios de vuelo como velocidad y altura así como en la privacidad de datos y sanciones por el mal uso de la tecnología.
- Son vulnerables a fenómenos atmosféricos.
- Los drones más grandes requieren pilotos certificados.
- Posibilidad de generar accidentes, sobre todo cuando sobrevuelan lugares poblados o cerca de infraestructura tal como puentes, carreteras, edificios altos, aeropuertos, grandes concentraciones de personas como conciertos o eventos públicos.

Las aplicaciones de uso son diversas, tales como:

- Actividades recreativas y deportivas,
- Publicidad,
- Logística,
- Entrega de productos a domicilio,
- Gestión de recursos naturales,
- Agricultura,
- Meteorología,
- Minería,
- Respuesta y atención a emergencias, control y análisis de riesgos y desastres, evaluación de deslizamientos de tierra, monitoreo de derrames de petróleo,
- Manejo forestal,
- Topografía,
- Catastro,
- Levantamiento de inventarios,
- Control de obras y evaluación de su impacto,
- Transporte (inventario de carreteras, inspección de puentes, puertos, seguridad en aeropuertos, seguimiento de vehículos en ruta),
- Infraestructura (inventarios, inspección, cálculo de volúmenes de material desplazado, detección de fallas, filtraciones, deformaciones, toma de muestras),
- Enjambres (grupo de varios drones que vuelan al mismo tiempo y en la misma zona) de vigilancia y seguridad,
- Manipulación de materiales nocivos y peligrosos.

2.1 Tipos de drones

Tabla 2.1. Existen distintos tipos de drones, de ala fija o con multirrotores y sensores que cuentan con características necesarias para determinados proyectos.




<p>Dron de ala fija eBee RTK senseFly; para levantamientos topográficos; tiempo de vuelo de 50 minutos; velocidad de vuelo (crucero) 40-90 km/h; cobertura máxima 12 km²; cámara de 18.2 mp; software de proceso Pix4Dmapper; generación de ortomosaicos y modelos digitales de elevación; compatible con estaciones base; precio aprox. 12,000 USD; https://www.sensefly.com/drones/abee.html</p>	 A fixed-wing drone with a black and yellow body is shown in flight against a blue sky. The drone is positioned diagonally, with its wings spread. In the background, there are snow-capped mountains. The text "02. Fly" is visible in the top right corner of the image.
<p>Dron multirrotor, Phantom 4, DJI; tiempo de vuelo 28 minutos; rango de 5km; cámara de 12.4 mp para toma de fotos y video; permite postproceso y generación de datos georreferidos. Precio aproximado \$35,000 pesos (sin impuestos).</p>	 A white quadcopter drone with red accents on the arms is shown from a top-down perspective. It has four propellers and a camera mounted underneath. The background is a plain white surface.
<p>Dron multirrotor, Inspire 2, DJI; tiempo de vuelo 27 min; rango 5 km; cámara de 20.8 mp para toma de fotos y resolución 5k de video. Sensor 4/3: DJI Go 4; Precio aproximado 3,400 Euros.</p>	 A dual-rotor drone is shown in flight against a blue sky with some clouds. The drone has a complex structure with two large propellers and a camera mounted on a gimbal. The perspective is from below, looking up at the drone.

Tabla 2.2. Comparativo de distintos tipos de drones, características y precios.

Fuente: <http://www.pcmag.com/roundup/337251/the-best-drones>

Name	DJI Phantom 4	DJI Inspire 1	DJI Phantom 3 Professional	DJI Phantom 3 Standard	DJI Mavic Pro	DJI Phantom 3 4K	DJI Phantom 3 Advanced	3D Robotics Solo	Horizon Hobby Blade Chroma With CGO3 4K Camera	Parrot Bebop
Lowest Price	\$1,099.00	\$1,949.99	\$999.00	\$499.99	\$999.00	\$634.95	\$741.00	\$338.99	\$1199.99	\$199.00
Editor Rating	SEE IT	SEE IT	SEE IT	SEE IT	SEE IT	SEE IT	SEE IT	SEE IT	SEE IT	SEE IT
Dimensions	7 x 11.5 x 11.5 inches	17.2 x 17.8 x 11.9 inches	8 x 13.8 x 13.8 inches	8 x 13.8 x 13.8 inches	3.3 x 3.3 x 7.8 inches	8 x 13.8 x 13.8 inches	8 x 13.8 x 13.8 inches	10 x 18 x 18 inches	9.5 x 15.7 x 15.7 inches	1.4 x 11 x 12.6 inches
Weight	3 lb	6.5 lb	2.8 lb	2.7 lb	1.6 lb	2.7 lb	2.8 lb	4 lb	2.9 lb	14.1 oz
Number of Rotors	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Camera Type	Integrated with Gimbal	Integrated with Gimbal	Integrated with Gimbal	Integrated with Gimbal	Integrated with Gimbal	Integrated with Gimbal	Integrated with Gimbal	Gimbal Mount for GoPro	Integrated with Gimbal	Integrated without Gimbal
Video Resolution	720p, 1080p, 4K, 2.7K	720p, 1080p, 4K, 2.7K	720p, 1080p, 4K	720p, 1080p, 2.7K	720p, 1080p, 4K, 2.7K	720p, 1080p, 4K, 2.7K	720p, 1080p, 2.7K	720p, 1080p, 4K	720p, 1080p, 4K	1080p
Megapixels	12 MP	12 MP	12 MP	12 MP	12 MP	12 MP	12 MP	12 MP	12 MP	14 MP
Media Format	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	microSD, microSDHC, microSDXC	Internal
Remote Control Type	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with App	Dedicated with LCD	Smartphone/Tablet App
Live Video Feed	720p	720p	720p	Yes	720p	Yes	720p	720p	Yes	Yes
Automated Flight Features	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Orbit, Waypoint	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Orbit, Waypoint, Follow	Return-to-Home, Follow	Return-to-Home, Waypoint

2.2 Sensores

Conforme los drones han ido evolucionando en tamaño, forma, capacidades y sobretodo en aplicación, sus componentes básicos también lo han hecho, de esta manera, se les han ido incorporando opciones que cubren requerimientos específicos de datos, por ejemplo, giroscopios, acelerómetros, magnetómetros y altímetros⁵. Y como complementos secundarios se han añadido equipos de geolocalización (GPS), sonar, sensor laser, cámaras de video o fotografía; cabe señalar que el conjunto de sensores es más importante que el mismo dron, debido a que son los componentes que capturan todo el cúmulo de datos requeridos para determinado proyecto.

Los sensores fotográficos o de video detectan la radiación electromagnética. El espectro electromagnético incluye rayos gamma, rayos X, ultravioleta, visible, infrarroja, microondas y ondas de radio. La diferencia entre estos diferentes tipos de radiación es su longitud de onda o frecuencia. Sólo una pequeña sección de este rango es visible a nuestros ojos (alrededor de 350 nm a 720 nm). Sin embargo los sensores pueden detectar lo que el ser humano no puede y mostrarlo para ser analizado o interpretado.

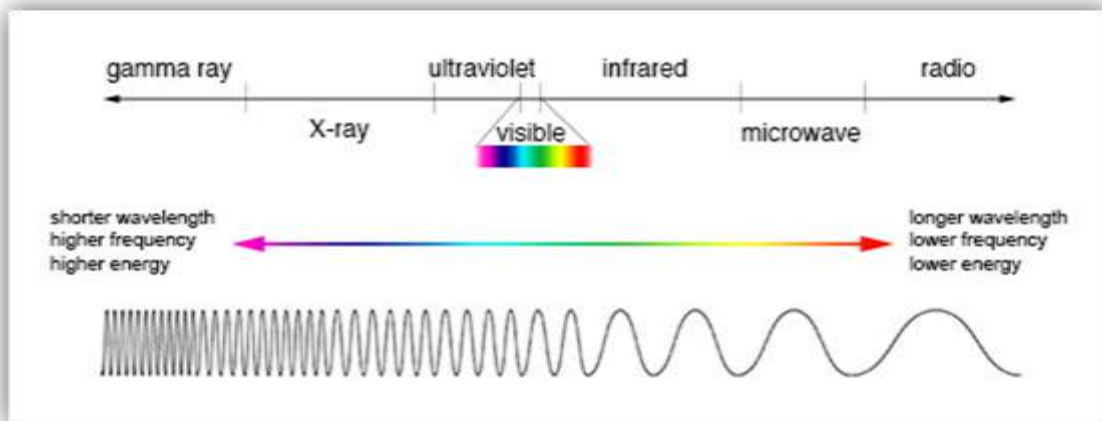


Figura 2.1. Espectro electromagnético

Fuente: <http://www.questuav.com/news/uav-sensors>

⁵ <http://www.indigodrones.com/sensores/>

2.3 Principales bandas electromagnéticas

Las categorías principales de bandas electromagnéticas que son de la mayor utilidad para los objetivos del proyecto son:

- Espectro visible (VIS)

Detecta la luz que cae en la región visible del espectro electromagnético. Este es el rango de luz que nuestros ojos pueden ver de forma natural.

La cámara con sensor de luz visible es capaz de detectar los canales rojo, verde y azul de la luz visible que se mezclan para producir la amplia gama de colores que experimentamos como seres humanos. Una aplicación típica de procesamiento de fotografías será capaz de dividir los canales y trabajar con los canales rojo, verde y azul de modo individual.

Es posible volver a asignar colores en el procesamiento posterior de modo que los cambios sutiles destacan mucho más claramente. Esto se conoce como falso color y se utiliza ampliamente en la teledetección y análisis de la tierra. Las imágenes visibles son ideales para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la agricultura, la arqueología, la construcción, la topografía, la minería, la silvicultura, mantenimiento, marino / marítimo y vigilancia. Es la columna vertebral de la mayoría de las aplicaciones UAV y es bastante fácil de procesar en grandes mapas y mosaicos con los programas generales como Agisoft PhotoScan y Pix4D.



Figura 2.2. Fotografía que muestra lo que se ve en el espectro visible (VIS), es similar al ojo humano.

- Espectro cercano infrarrojo (NIR)

La región del infrarrojo cercano (NIR, 720nm a 1000 nm) es la más cercana en la longitud de onda a la región visible del espectro electromagnético. El ojo humano es mucho menos sensible a esta área. En esta banda es donde se puede observar características de la vegetación. La banda NIR se encuentra justo al lado del espectro visible y se refiere como el "borde rojo" (NIR, 720nm a 850nm) y se utiliza mucho en soluciones agrícolas. Esta banda forma parte de la ecuación NDVI⁶, que se utiliza como línea de base para el análisis de la vegetación. Con el fin de crear el cálculo NDVI para la salud de la vegetación, es importante capturar "borde rojo" o NIR y al mismo tiempo capturar el valor rojo de la banda visible (RGB). Esto requiere, una cámara especialmente diseñada, por ejemplo las cámaras Tetracam⁷. Las imágenes de infrarrojo cercano son ideales para aplicaciones tales como la agricultura, la silvicultura y la arqueología.

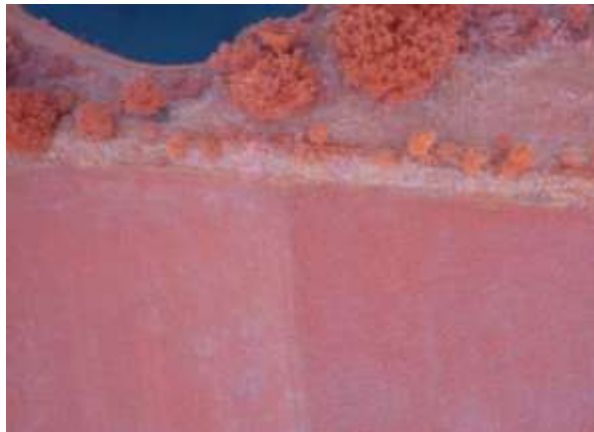


Figura 2.3. Fotografía que muestra lo que se ve en el espectro cercano infrarrojo (NIR), la vegetación se muestra con tonos de rojo más intenso.

⁶ El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) es un índice normalizado que le permite generar una imagen que muestra el verdor (la biomasa relativa). Este índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de una imagen multispectral: las absorciones de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad de los materiales de las plantas en la banda cercana al infrarrojo (NIR).

El NDVI se utiliza en todo el mundo para hacer un seguimiento de las sequías, supervisar y predecir la producción agrícola, ayudar en la predicción de las zonas con riesgo de incendio y cartografiar la desertización. El NDVI es muy utilizado en el seguimiento de la vegetación global porque ayuda a compensar los cambios en las condiciones de iluminación, la pendiente de la superficie, la orientación y otros factores extraños.

<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm>

⁷ <http://www.tetracam.com/>

- Espectro infrarrojo (IR)

El espectro infrarrojo (IR) se encuentra entre las partes visibles y de microondas del espectro electromagnético. El ser humano no es capaz de ver la luz infrarroja (IR), pero a medida que crece en intensidad y se mueve hacia abajo en el espectro se comienza a sentir en forma de calor que es causado por el movimiento de sus átomos y moléculas. Cuanto mayor sea la temperatura más se mueven estas moléculas, por lo tanto, la producción y la emisión de radiación infrarroja también se incrementa. Los sensores convierten esta energía infrarroja en señales eléctricas que luego se utilizan para producir una imagen térmica. Las imágenes térmicas utilizan una escala de temperatura de color visible para representar las diferentes temperaturas.

Las imágenes térmicas son ideales para aplicaciones tales como inspecciones, la gestión del agua, el manejo y conteo de animales, vigilancia, búsqueda y rescate.

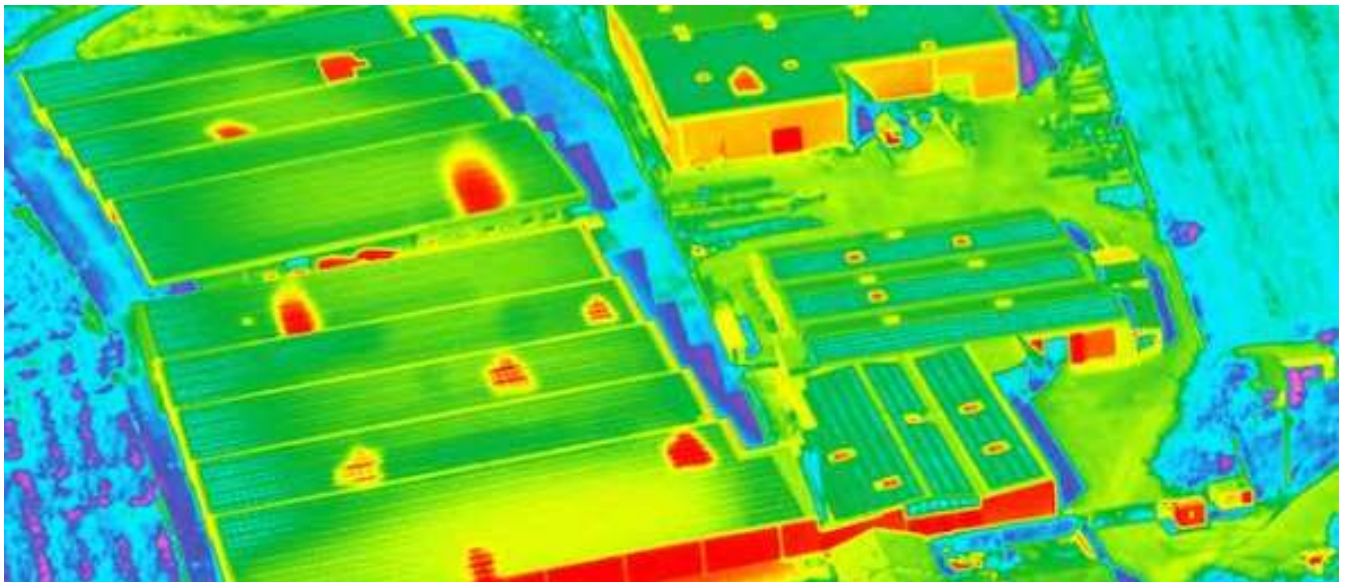


Figura 2.4. Fotografía térmica que muestra lo que se ve en el espectro infrarrojo (IR), las zonas rojas son las que tienen más temperatura, lo azul son las zonas con menor temperatura. <http://www.todrone.com/cursos-termografia-aplicada-drones/>

En cuanto a la cámara, lo que es importante para una correcta elección es la calidad de la salida. Una cámara debe tener un mínimo de distorsión para obtener

buenos resultados fotogramétricos, y por lo tanto contar con una excelente óptica como consecuencia de ello, es por esto que una cámara de alta calidad con una lente fija siempre superará a una cámara compacta con un zoom digital. Cuando se obtienen fotografías generadas a través de una cámara instalada en un dron con GPS, y sí la imagen se encuentra referenciada geoespacialmente, al procesarla y generar un mosaico de imágenes se pueden obtener diversas resoluciones en el terreno, que van desde algunos milímetros hasta 20 cm, dependiendo del tipo de cámara, formato, tipo de lentes, altura de vuelo, focal, tamaño del pixel, Lo anterior se muestra en la imagen siguiente⁸:

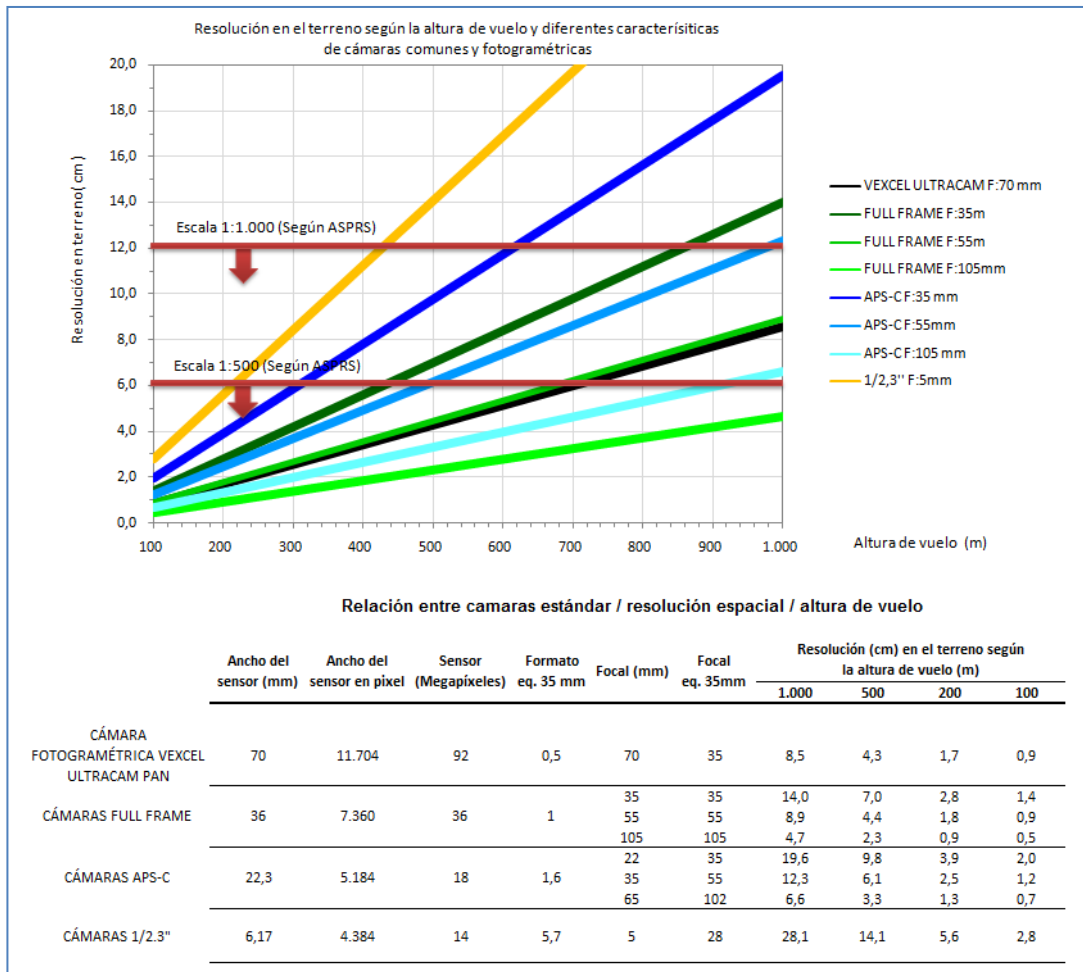


Figura 2.5. Relación entre cámaras, resolución espacial, tamaño de sensor.

⁸ Fuente: <http://www.nosolosig.com/articulos/540-uso-de-drones-para-la-actualizacion-cartografica>

El tamaño de los archivos resultantes es muy importante, en la tabla 3 se indican algunos tamaños de sensor, megapíxeles⁹ y el tamaño resultante de archivos.

Los megapíxeles de las cámaras digitales, (aunque nos los vendan así) NO son los que dan la calidad a una imagen, simplemente miden su tamaño¹⁰. Lo que define la calidad de la imagen es la tecnología y tamaño del sensor.

Tabla 2.3. Tamaño de sensor, tamaño de archivo y capacidades de distintas tarjetas de memoria.

Sensor (Megapíxeles)	Tamaño de archivo JPG (MB)	Tarjeta de Memoria (MB)						Tarjeta de Memoria (GB)					
		16	32	64	128	256	512	1	2	4	8	16	32
1 MP	0.5	33	67	133	267	533	1,067	2,083	4,167	8,333	16,667	33,333	66,667
2 MP	1.0	17	33	67	133	267	533	1,042	2,083	4,167	8,333	16,667	33,333
3 MP	1.4	11	22	44	89	178	356	694	1,389	2,778	5,556	11,111	22,222
4 MP	1.9	8	17	33	67	133	267	521	1,042	2,083	4,167	8,333	16,667
6 MP	2.9	6	11	22	44	89	178	347	694	1,389	2,778	5,556	11,111
8 MP	3.8	4	8	17	33	67	133	260	521	1,042	2,083	4,167	8,333
10 MP	4.8	3	7	13	27	53	107	208	417	833	1,667	3,333	6,667
12 MP	5.8	3	6	11	22	44	89	174	347	694	1,389	2,778	5,556
16 MP	7.7	2	4	8	17	33	67	130	260	521	1,042	2,083	4,167
18 MP	8.6	2	4	7	15	30	59	116	231	463	926	1,852	3,704
21 MP	10.1	2	3	6	13	25	51	99	198	397	794	1,587	3,175

En una cámara réflex¹¹ o compacta¹², el sensor es la parte más importante. Todas las acciones para tomar una fotografía, persiguen un único objetivo: conducir la luz (la imagen) exterior hacia el sensor de la cámara. El sensor como su nombre lo indica es un elemento “sensible” dentro de la cámara, aquello sobre lo cual se proyecta la luz dibujando una imagen que representa lo que la cámara ve. El

⁹ Cualquier fotografía digital está hecha de miles o millones de pequeños puntitos de colores llamados píxeles. Mega es un prefijo griego que en el sistema métrico significa factor de un millón (1000 000). Megapixel = 1,000,000 píxeles

¹⁰ <https://www.xataka.com/fotografia-y-video/que-es-una-camara-reflex-digital-especial-fotografia>

¹¹ Una cámara DSLR (Digital Single Lens Reflex) o también llamada Reflex, es un tipo de cámara, donde la imagen obtenida por el visor es la misma que produce el objetivo o lente. Se les conoce como Reflex porque utilizan un sistema de espejos que refleja la imagen del objetivo hacia el visor y cuando se oprime el botón de obturación, el espejo gira y deja pasar la luz hacia el sensor. <http://redgrafica.com/Las-cameras-Reflex-o-DSLR>

¹² Cámara fotográfica sencilla cuyo objetivo no es desmontable. Las cámaras compactas suelen ser más sencillas de manejar que las cámaras Réflex y más económicas. Normalmente su funcionalidad está limitada en comparación con las réflex, aunque son más ligeras y fáciles de transportar.

sensor es para las cámaras de fotos digitales como la película o rollo que se usaba en las cámaras de fotos analógicas.

La diferencia es que en las cámaras analógicas había que cambiar la película mientras que en las digitales el sensor es fijo y no requiere ser cambiado. Se puede “proyectar” sobre el sensor tantas fotos digitales como se desee, ya que para almacenar las fotos se tiene la tarjeta de memoria.

El sensor de la cámara es un pequeño chip integrado por millones de componentes sensibles a la luz, llamados píxeles¹³. Esos millones de píxeles tienen que estar siempre a oscuras, y tan pronto como se les exponga a la luz ellos la capturan, por eso son sensibles. Gracias a que capturan esa luz, obtenemos la imagen.

Tecnología de los sensores

Los sensores se pueden clasificar **según su tecnología**:

❑ CCD y Super CCD (Charge Coupled Device o, en español, Dispositivo de Carga Acoplada). Este tipo de sensor lo tienen la mayoría de las cámaras digitales y significa que:

- Es sensible a la luz y trabaja a manera de líneas de píxeles con una cobertura de los colores primarios (RGB).
- Es más sensible a la luz que el CMOS.
- Consume más energía, así que la batería puede agotarse más rápido.
- Captura un rango más amplio de tonos (luces brillantes, tonos medios y sombras) en las fotografías.

❑ CCD RGBE

❑ CMOS¹⁴ (Complementary Metal Oxide Semiconductor o, en español, Semiconductor Complementario de Óxido Metálico) se encuentra en las cámaras más actuales y la mayoría de las profesionales. Sus características son:

¹³ La palabra pixel proviene de la unión de las palabras inglesas picture y element (elemento de imagen). Un pixel es la menor unidad de color que conforma una imagen digital, ya sea una fotografía o video. <http://redgrafica.com/Que-es-un-pixel>

¹⁴ http://www.parentesis.com/tutoriales/Sensor_CCD_o_CMOS_Que_significa_todo_esto

<https://www.xatakafoto.com/camaras/sensores-con-tecnologia-ccd-vs-cmos>

- Mejor desempeño en una estructura más simple, sin necesidad de más equipo.
- Menos sensible a la luz, pero un consumo mucho más bajo de energía, por lo que las cámaras son más económicas.

Los sensores del tipo CCD fueron los primeros en usarse, pero en la actualidad la mayoría de las cámaras están usando sensores CMOS.

En cuanto a calidad de la imagen, en el pasado los CCD ofrecían mejor calidad de imagen, pero con el tiempo los CMOS alcanzaron ya esa calidad.

Y según su tamaño

El tamaño del sensor determinará la calidad de la cámara y por consiguiente la de las fotos.

Están ordenados del de mayor al de menor tamaño. La regla a recordar es: cuanto más grande sea el tamaño del sensor, mejor.

- ❑ Sensor Full Frame¹⁵, conocido también como sensor 35mm. Dimensiones: 36x24mm
- ❑ Sensor APS-H. Dimensiones: 28,7x19mm
- ❑ Sensor APS-C (usado en las Nikon, Pentax y Sony). Dimensiones: 23,6x15,7mm
- ❑ Sensor APS-C (usado en las Canon). Dimensiones: 22,2x14,8mm
- ❑ Sensor Foveon (usado en las cámaras Sigma). Dimensiones: 20,7x13,8mm
- ❑ Sensor Micro Cuatro Tercios (M 4/3)¹⁶. Dimensiones: 17,3x13mm

¹⁵ Las cámaras de “cuadro completo” o full frame se llaman así porque su sensor tiene el mismo tamaño que el negativo tradicional de 35mm (película). <http://conocelafotografia.com/camaras-fotograma-completo-o-full-frame/>

¹⁶ El sistema Cuatro Tercios (Four Thirds System) es una norma de fabricación, creado por Olympus y Kodak en 2001, para cámaras de fotos digitales DSLR. El sistema provee un estándar abierto que permite intercambiar objetivos y cuerpos de diferentes fabricantes. El tamaño del sensor es más pequeño que el usado en otras cámaras de 35mm.

- ❑ Otros sensores más pequeños...

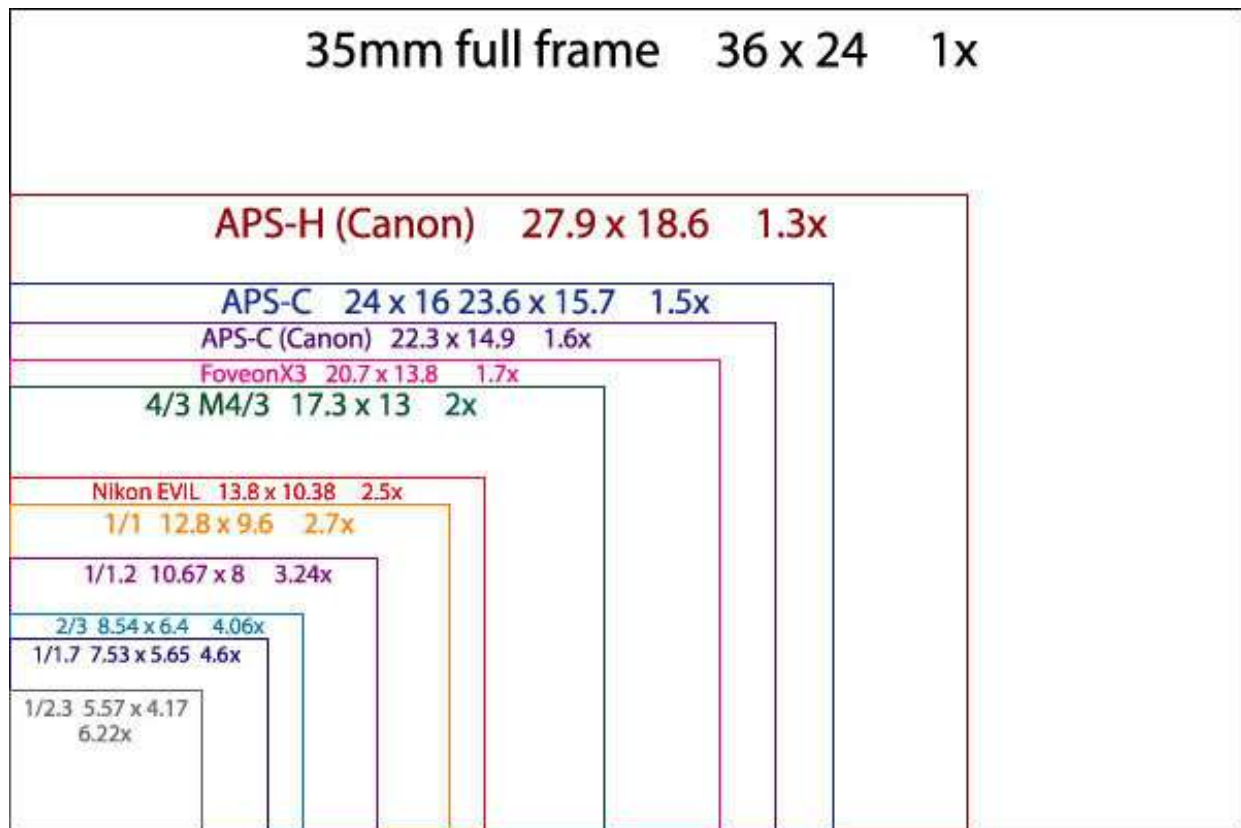


Figura 2.6. Relación entre cámaras, resolución espacial, tamaño de sensor

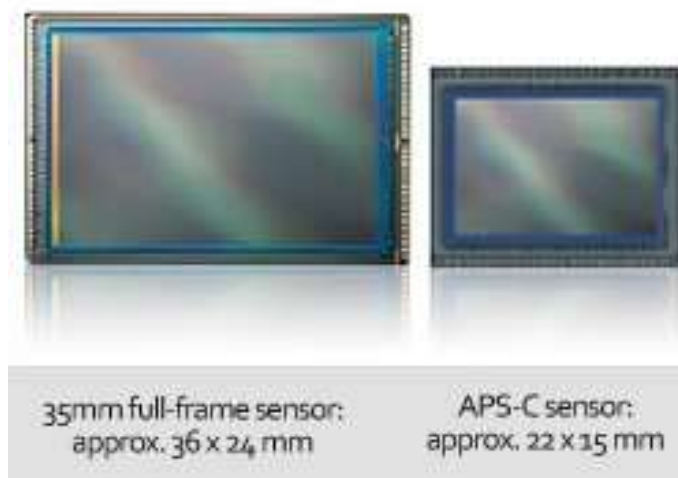


Figura 2.7. Comparación entre tamaños de los sensores.

Actualmente¹⁷ existen cámaras que manejan diversas gamas de trabajo o distintas calidades en cuanto a la captura, por ejemplo, existen con tecnología 2k, 4k, 5k y hasta 8k, pero estas características solo son útiles para cuando se captura video con la finalidad de realizar promocionales, videos educativos, videos recreacionales o películas. Cuando se requieren fotos para levantamiento topográfico y posterior generación de nubes de puntos, la característica “k” no aporta ningún valor. En tal caso, es más importante contar con una cámara que cuente con un sensor fullframe y con el mayor número de megapixels que sea posible. La tecnología “k” se refiere a la resolución horizontal y vertical.

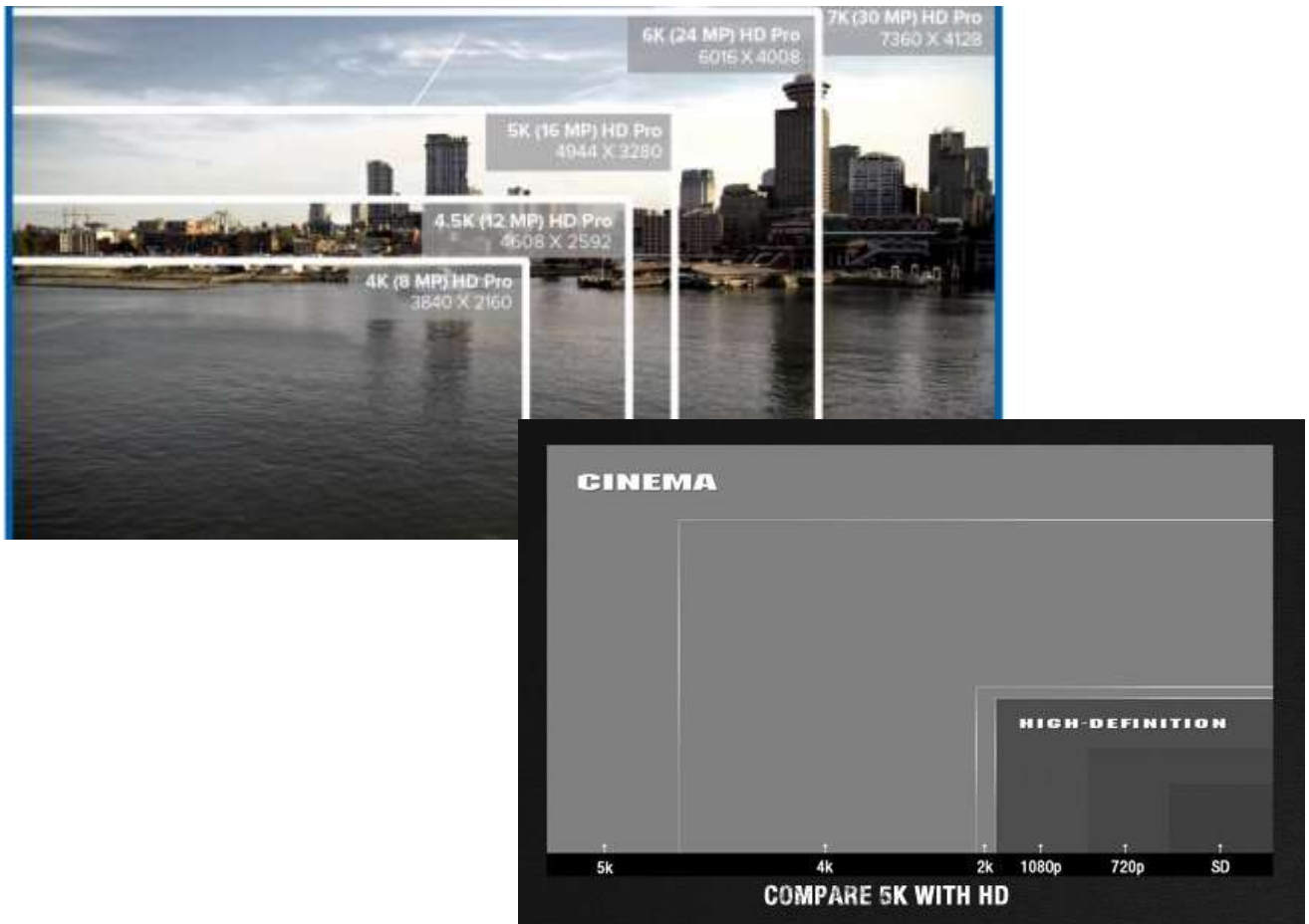


Figura 2.8. Las resoluciones *nK* se refieren a los pixeles horizontales y verticales y son útiles para cuando se toma video.

Fuente: <http://naturpixel.com/2011/09/16/la-mejor-camara-digital-del-mundo-la-red-epic/>

En general todos estos términos se refieren al tamaño en pixeles de la imagen, es decir, cuanto mide en pixeles horizontales y verticales. Es común que en la

¹⁷ Diciembre 2017

industria del cine se haga referencia a “nK”, en donde la “n” se traduce a una resolución determinada dependiendo del formato de la cinta. Como referencia “n” es el resultado de multiplicar por 1024 píxeles de resolución horizontal, por ejemplo 2K son 2048 x 1536 píxeles, mientras que 4K son 4096 x 3072 píxeles. La resolución de 5K es una resolución horizontal de unos 5.000 píxeles. La resolución 5K más común es 5120 x 2880, que tiene aproximadamente 14,7 millones de píxeles (casi siete veces más pixels que 1080p Full HD).

Interfaz de visualización y tarjeta gráfica

Para poder visualizar correctamente las imágenes de video a una resolución 5k, se requiere que la fuente de datos y la pantalla soporten interfaces de conexión avanzadas, ya que las interfaces tradicionales como VGA o DVI no proporcionan un ancho de banda adecuado para resoluciones de 5K a velocidades de fotogramas aceptables. Se requiere por lo menos interfaz DisplayPort versión 1.2, que soporta la resolución a 30 Hz con una profundidad de color de 24 bits/px o 30 bits/px. La tarjeta gráfica AMD Radeon HD 6970 y otras tarjetas gráficas de su generación. También NVIDIA soporta DisplayPort 1.2 en la serie GeForce GTX en sus distintas versiones. Las últimas versiones de AMD y NVIDIA soportan DisplayPort 1.3 y 1.4.

Se puede observar que conforme aumenta el ancho del sensor en píxeles, la resolución en el terreno también lo hace, y por consiguiente el volumen de información será muy grande, esto se debe a la cantidad de fotos que se toman y



de la frecuencia de toma con que esté configurada la cámara.

Figura 2.8. Representación de una toma de fotos a través de un dron.

Al procesar las fotos tomadas mediante el dron, se genera una nube de puntos que se graba en archivos binarios con formato .LAS¹⁸, y contiene millones de registros con la información tridimensional (x,y,z) de cada punto captado, por lo que el resultado final es un archivo lo suficientemente grande que no puede ser procesado en cualquier equipo de cómputo.

Los archivos .LAS son el formato que se genera de los levantamientos tipo LiDAR¹⁹, con la diferencia que en los que se generan a través de una fotografía tomada con un dron, no se generan los retornos, esto es, las señales que rebotan en la capa vegetal o las que rebotan en los claros libres de vegetación, esto es importante porque así es como se generan MDS o MDT, por lo que al no existir el valor para el campo retorno, no será posible generar MDT, solo MDS.

En la generación de cada nube de puntos, se eliminan los que presentan anomalías altimétricas (puntos altos y bajos); enseguida los puntos de la nube se comparan con puntos de control terrestre con el objeto de reducir errores sistemáticos en la altura; finalmente se aplica un proceso de ajuste entre líneas que permite reducir otros errores asociados a los componentes tecnológicos del sistema para asegurar continuidad geográfica.

A partir de las nubes de puntos resultantes se generan Modelos Digitales de Elevación²⁰, que son la expresión visual de los datos del relieve.

Los MDE se clasifican en:

¹⁸ .LAS es un formato de archivo público que permite el intercambio de ficheros que contienen información de una nube de puntos tridimensional. Desarrollado y aprobado por la ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing). http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/asprs_las_format_v11.pdf

<http://lidar.com.es/2010/11/18/formato-las-el-estandar-de-datos-lidar/>

¹⁹ LiDAR por su acrónimo en inglés significa Light Detection And Ranging (es decir, detección y medida de luz). Es un método activo y directo para recolectar valores de elevación, generados mediante un sensor laser transportado y que emite pulsos en un barrido horizontal hacia la superficie, y al retornar al sensor se mide el tiempo en que llegan a la superficie y retornan.

²⁰ MDE. Modelo Digital de Elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular.

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>

- ❑ Modelos digitales de superficie (MDS). Contienen todos los detalles además de los elementos existentes en el terreno, como la vegetación u obras artificiales.

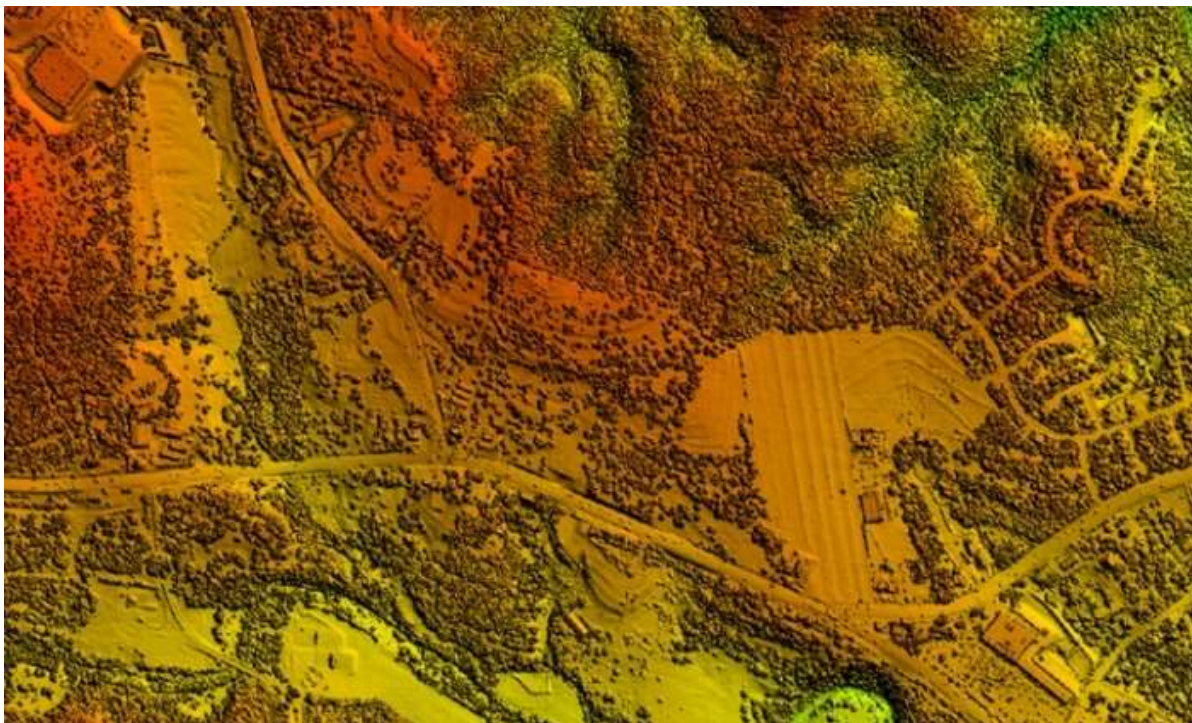


Figura 2.9. Modelo Digital de Superficie (MDS), se observan todos los detalles del terreno, incluida la vegetación y construcciones.

- ❑ Modelos digitales de terreno (MDT). Representan la forma del terreno al filtrar un MDS.

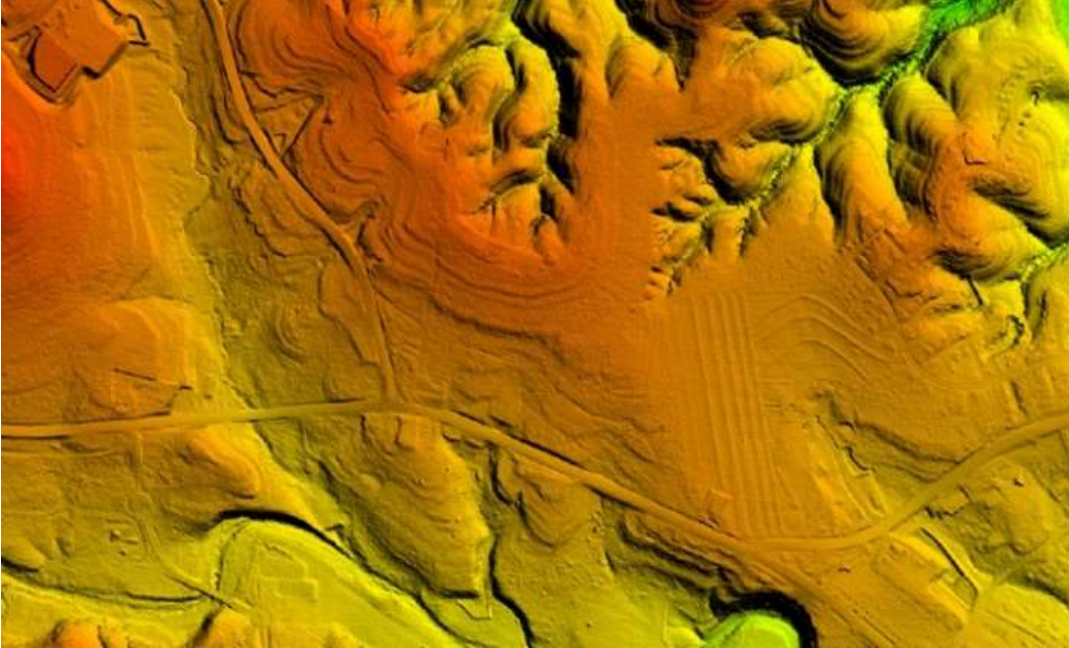


Figura 2.10. Modelo Digital de Terreno (MDT), obtenido a partir de post-proceso de un Modelo Digital de Superficie, ya no se observa la vegetación.

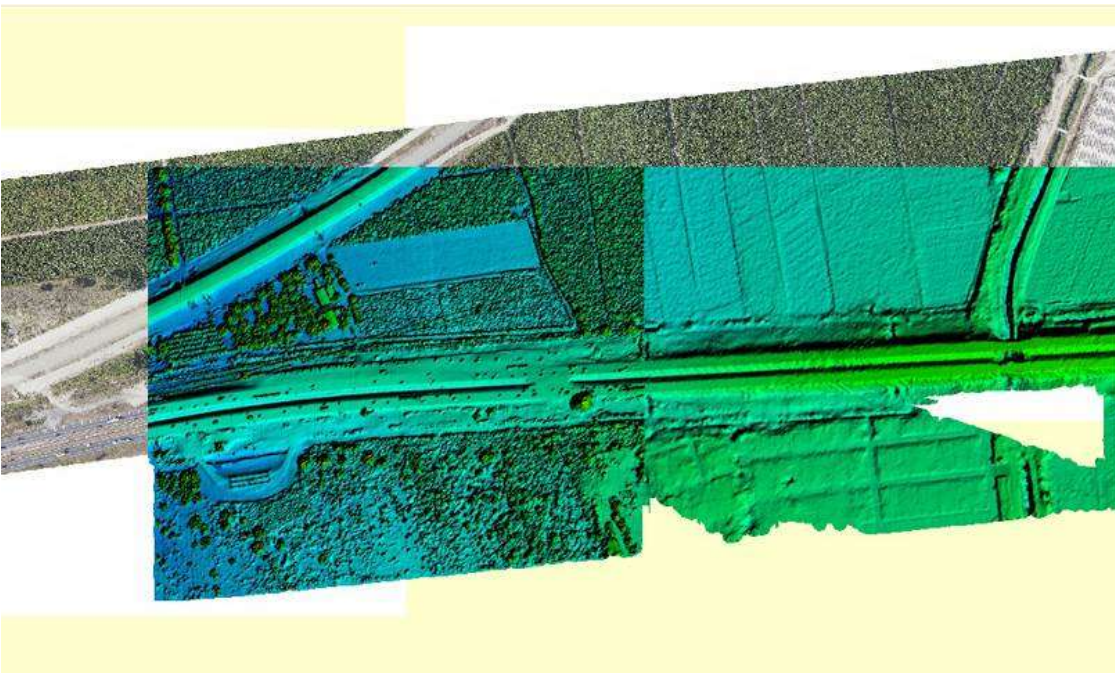


Figura 2.11. Mosaico generado a partir de fotos tomadas con dron, en donde se muestra una sección de la carretera.

3 Metodología

Para lograr los objetivos del proyecto se desarrollaron las siguientes etapas que a continuación se describen.

- Determinación de los requerimientos específicos para la realización de procesos geo-informáticos aplicados a los datos generados mediante drones, dirigidos a la gestión de la infraestructura para el transporte
- Una de las partes más importantes de un proyecto que requiera una gran cantidad de datos, es la fuente de estos. Debido al constante avance tecnológico y a que es relativamente fácil obtener información ya sea en internet, utilizando información libre o utilizando datos generados por otras instituciones o personas. De este modo se buscó información levantada mediante drones que estuviera disponible en internet, se localizaron algunas fuentes, se descargaron y se revisaron; se emplearon registros obtenidos por la empresa *Neokoncepto* que trabaja con el Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas de Transporte y Logística del IMT, que acepto compartir información de levantamientos mediante drones que ha realizado dentro del IMT.
- Se identificaron los tipos de software necesario para las distintas etapas de implementación del proyecto
- Se identificaron los procesos geoinformáticos especializados requeridos para generar, procesar, analizar, visualizar y distribuir la gran cantidad de información generada
- Con los datos obtenidos se generó un estudio piloto para identificar todas las etapas necesarias y acordes a los objetivos de este proyecto
- Se analizó la información generada, se desarrollaron conclusiones y recomendaciones así como sugerencias de utilización y productos que se podrían generar y que sirvan como referencia para futuros proyectos que se relacionen con esta línea de investigación.
- A medida que crece el número de datos, crece la necesidad de controlar los procesos para la generación de nube de puntos ajustados al terreno por lo

que se debe diseñar una base de datos geoespacial para administrar la obtención, proceso y puesta a disposición de dicha información, además de ofrecer respuestas inmediatas o por lo menos muy rápidas a los requerimientos de los usuarios.

- Lista de productos a obtener para un estudio que involucre el uso de datos levantados mediante drones.

Fase	Producto (formato)
Planeación de la misión en campo	Área de estudio (shp o jpg)
	Estaciones base (shp)
	Campos de control (shp)
	Propuesta de líneas transversales de la ruta de vuelo (shp)
	Evidencia demostrativa de certificación / licencia del piloto del dron
	Póliza de seguro contra posibles daños ocasionados por el dron
Control de calidad del vuelo y del sitio de levantamiento	Bitácora de vuelo (doc)
	Índice de vuelo de líneas transversales finales (shp)
	Archivo de NO Data de líneas de vuelo (shp o jpg)
	archivo con huecos (shp o jpg)
	Tabla de parámetros de calibración del sensor (doc o xls)
Ajuste y proceso de datos	Archivo de parámetros de orientación (doc)
	Archivos o imágenes ajustadas geoespacialmente (jpg)
	Reporte de control de ajuste de imágenes (doc)
	Archivos LAS ajustados y cortados
	Ortomosaico construido a partir de las imágenes originales
	Metadato de los datos ajustados (formato estándar de metadatos)
	Archivos (cuando el software lo permite) en formato estándar para ser utilizados en un SIG (Sistema de Información Geográfica) (.shp)

3.1 Identificación y precisión de técnicas, mecanismos, arquitectura informática y procedimientos para el registro, integración, almacenamiento y procesamiento de los datos generados mediante drones

Una parte esencial en el proyecto, es la que corresponde a la informática, sus características y el desempeño que debe tener para lograr procesar las grandes cantidades de datos que se generan al utilizar un sensor montado en algún modelo de dron.

3.1.1 Hardware o equipo de cómputo

Estaciones de trabajo

En informática una estación de trabajo (en inglés workstation) es una computadora de altas prestaciones destinado para trabajo técnico o científico. En una red de computadoras, es una computadora que facilita a los usuarios el acceso a los servidores y periféricos de la red. A diferencia de una computadora aislada, tiene una tarjeta de red y está físicamente conectada por medio de cables u otros medios no guiados con los servidores. Los componentes para servidores y estaciones de trabajo alcanzan nuevos niveles de rendimiento informático, al tiempo que ofrecen fiabilidad, compatibilidad, escalabilidad y arquitectura avanzada ideales para entornos multiproceso.

Aunque, las computadoras promedio de hoy en día son más poderosas que las mejores estaciones de trabajo de una generación atrás. Como resultado, el mercado de las estaciones de trabajo se está volviendo cada vez más especializado, ya que muchas operaciones complejas que antes requerían sistemas de alto rendimiento pueden ser ahora dirigidas a computadora de propósito general. Sin embargo, el hardware de las estaciones de trabajo está optimizado para situaciones que requieren un alto rendimiento y fiabilidad, donde generalmente se mantienen operativas en situaciones en las cuales cualquier computadora personal tradicional dejaría rápidamente de responder.

En la actualidad se ha pasado de las arquitecturas RISC de IBM POWER, MIPS, SPARC, PA-RISC ó DEC Alpha a la plataforma x86-64 con CPUs Intel y AMD. Tras ser retiradas del mercado las Sun Ultra 25/45 en julio de 2008 y las IBM IntelliStation Power en enero de 2009, ya no se comercializan modelos con CPU RISC que tan comunes fueron en los 90.

Así pues actualmente se utiliza normalmente CPU Intel Xeon o AMD Opteron, pudiendo usarse otras CPUs x86-64 más comunes (como intel Core 2 o Core i5, i7) en modelos más asequibles en donde son comunes las tarjetas gráficas (GPU) profesionales NVIDIA Quadro FX yATI FireGL.

Lista de algunos fabricantes y modelos actuales:

- Apple Inc.: Mac Pro
- Dell: DELL Precision
- Fujitsu Siemens: CELSIUS
- Por ejemplo, Hewlett-Packard con la Think HPZ, con un rango de precios desde los \$1300 € hasta - \$2500 € (\$27,000 - \$52,000 pesos mexicanos)

Think HPZ

Potencial sin límites

Déjate inspirar. El ADN Z de HP, integrado en todas las Estaciones de Trabajo HP Z, te permite innovar sin límites y ampliar tus capacidades a medida que tu flujo de trabajo aumenta.

Amplia tu Estación de Trabajo HP Z8

 36 núcleos	 2TB de memoria
 2.0¹ Thunderbolt™ 2.0 ¹	 20TB de almacenamiento interno
 6x Velocidad de 6x HDD con HP Z Turbo Drive	

The advertisement features a large image of the HP Z workstation with its side panel removed, revealing the internal hardware including the CPU, memory modules, and storage drives. The text is in Spanish and highlights the workstation's performance capabilities.

Figura 3.1. Características y precio de la computadora Hewlett-Packard Think HPZ.

<http://www8.hp.com/mx/es/home.html>

O de la misma serie, con forma portátil, con un precio de \$48,000 pesos mexicanos²¹.

The screenshot displays the HP ZBook 17 G2 product page. On the left, there is a large image of the laptop and a smaller row of images showing different views and accessories. The main content area on the right includes the product name 'HP ZBook 17 G2 Estación de Trabajo Móvil', a 4-star rating, and the price '2 297,79€' with a '33%' discount badge. Below the price, there is an option for 'Servicio HP de 4a de seguimiento y recuperación...' for 191,18€. A quantity selector is set to '1', and there is a red 'AÑADIR AL CARRITO' button. A note indicates 'Envío en 48 *'. The page also features tabs for 'Accesorios y servicios', 'Características', 'Ficha técnica', and 'Opiniones'. The 'Características' section lists: Windows 7 Pro 64, Procesador Intel® Core™ i7-4710MQ, Pantall 43,9 cm (17,3") LED FHD WVA AG, Memoria 8GB 1600MHz DDR3L 2DM, Disco duro Mini card SSD 256GB M.2 PCIe + HDD Bracket, and a 3-year limited warranty.

Figura 3.2. Características y precio de la computadora Hewlett-Packard ZBook 16 G2.

<http://www8.hp.com/mx/es/home.html>

²¹ Noviembre 2016.

3.1.2 Servidores virtuales

Se conoce como servidor virtual a una partición dentro de un servidor que habilita varias máquinas virtuales dentro de dicha máquina por medio de varias tecnologías.

Los servidores dedicados virtuales (SDV) usan una avanzada tecnología de virtualización, que le permite proveer acceso [root] y la capacidad de reiniciarlo cuando desee, igual que un servidor dedicado. Con la posibilidad de instalar sus propias aplicaciones y controlar completamente la configuración de su servidor, los SDV representan una alternativa económica y eficiente para aquellos que desean disfrutar los beneficios de un servidor dedicado pero aun no poseen el presupuesto para hacerlo.

Cada SDV tiene asignado un límite del uso de la CPU y la memoria RAM (entre otros) que es dedicado sólo el de dentro del servidor. Así, cada uno de los SDV funciona independientemente dentro del mismo servidor físico; es decir que actúan como jaulas dentro de un mismo equipo. Por ejemplo, si uno de ellos está mal administrado y trabaja en forma sobrecargada, no afectará el funcionamiento del resto.

En cambio, en un hosting compartido los recursos del servidor se comparten entre todas las cuentas de «hosting» que haya en él, y, si hay un problema de sobrecarga —quizás generado por el uso abusivo de un solo dominio—, el rendimiento del «hosting» se verá sobrecargado en todo el equipo; es decir, en todas sus cuentas.

Para los fines del proyecto se solicitó a la división de informática la creación y acceso a un servidor virtual para evaluar su desempeño en el proceso.



Figura 3.3. Método de conexión a servidor remoto

Las características del servidor virtual solicitado son:

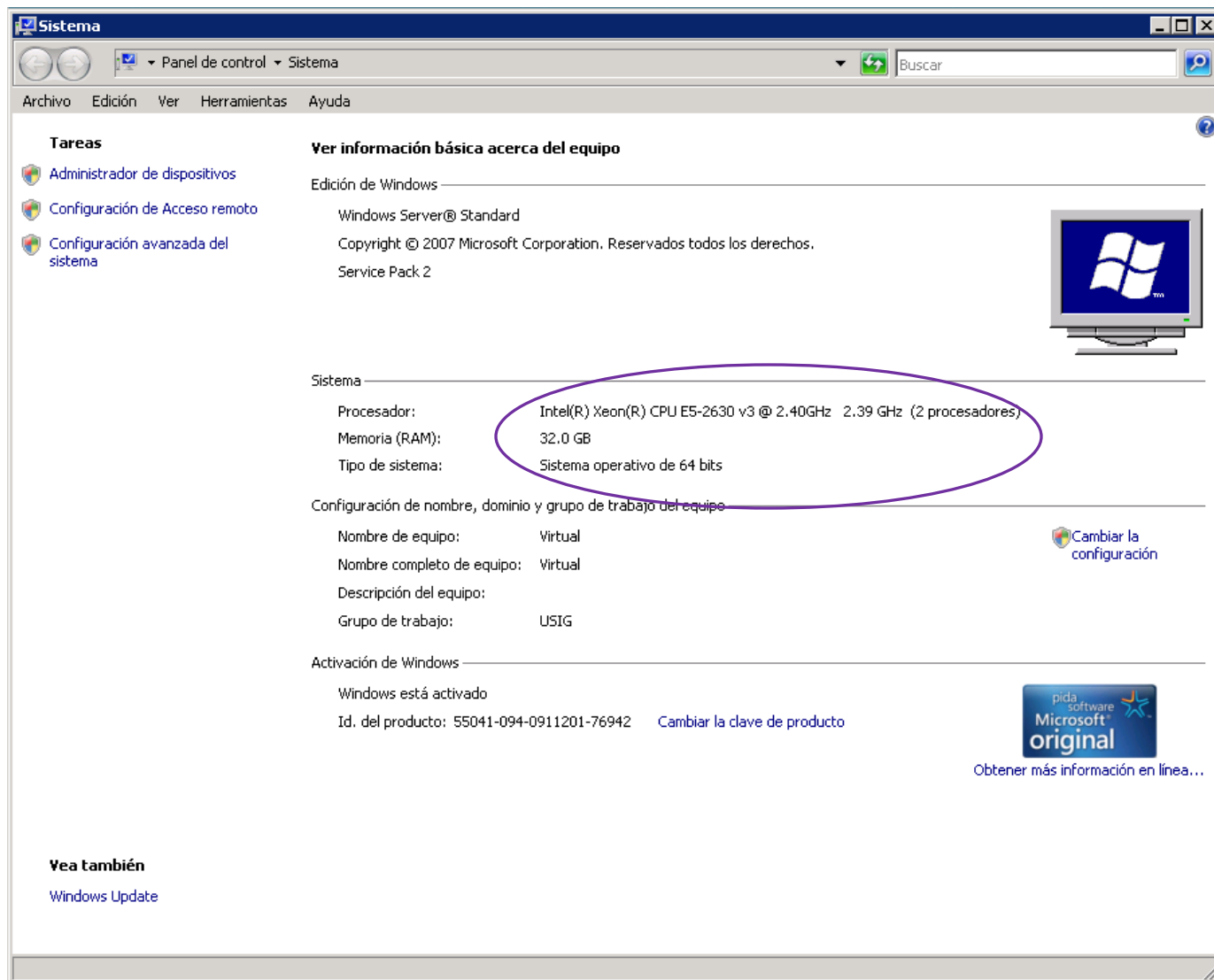


Figura 3.4. Características principales del servidor virtual.

Una vez que la División de Informática del IMT, creo y configuro el servidor, se procedió a instalarle el siguiente software:

- ArcGIS 10.2 – que es un sistema de información geográfica en donde se procesarán las nubes de puntos generadas
- Pix4D – Software de procesamiento de imágenes, permite sobreponerlas, corregirlas y transformarlas en nubes de puntos en formato .LAS

- Este software no se pudo instalar, debido a la arquitectura del software y a que no fue diseñado para trabajar en un servidor virtual.
- Se encontró que el software requiere una tarjeta gráfica local que sea compatible con el servidor virtual y que permita el proceso gráfico de alto rendimiento necesario para la transformación de las fotografías.

Debido a estas características propias del software por evaluar, no fue posible utilizar el servidor virtual para probar las capacidades de proceso y transformación de fotos en nubes de puntos.

Como se mencionó anteriormente, el tamaño de los datos y capacidad de proceso computacional deber ser lo suficientemente robusto, por lo que se solicitó más memoria RAM y la instalación de un disco duro de estado sólido (SSD) en la maquina asignada al investigador, una vez cumplido lo anterior por parte de la División de Informática del IMT, se tuvo la capacidad de cómputo y almacenamiento requeridos para realizar el proceso deseado.

3.1.3 Medios de almacenamiento

Unidades de estado sólido (SSD)

Las siglas SSD significan Solid-State Drive y en español se le denomina dispositivo o unidad de estado sólido que sirve para almacenar datos en una computadora. Básicamente, un SSD hace lo mismo que un HDD (Hard Drive Disk o disco duro) que es la forma de almacenamiento de datos estándar desde hace muchos años. En lo único que son diferentes es en la forma en la que funcionan.

La diferencia de funcionamiento entre HDD y SSD

Los HDD guardan los datos en placas de metal que están girando todo el tiempo y cada vez que la computadora quiere buscar algo, el dispositivo usa un componente llamado “cabezal” (que se parece a una aguja) para ubicar la posición donde está la información y dársela a la computadora. Este mismo método es usado para grabar información en un HDD.

Los SSD, por otro lado, nunca se están moviendo, por eso tienen en su nombre “estado sólido”. Para almacenar la información crean bloques y cada vez que el ordenador quiere acceder a ella, el SDD solo la busca y la entrega.

Los discos duros en estado sólido no disponen de partes mecánicas móviles, y ofrecen una velocidad de lectura y escritura ampliamente superior a estos. En las unidades SSD no hay ningún plato girando a velocidad constante, ni brazos moviéndose sobre él, sino que emplean unidades de memoria flash, similares a las de los pendrives o memorias USB, pero con unas capacidades de almacenamiento mayor.

Los componentes más importantes son la unidad de memoria flash y el controlador. Las unidades de memoria utilizadas son no volátiles y siguen manteniendo los datos después de una pérdida de potencia.

Las ventajas de un SSD

Precisamente por la manera eficiente en la que funcionan los SSD, son la mejor actualización que se puede hacer a una computadora si se desea que funcione más rápido. Y, de hecho, pueden acelerar el funcionamiento de una computadora de varias maneras:

- El tiempo de inicio del sistema operativo se reducirá significativamente.
- La ejecución de programas será muy rápida
- Cuando se guarden y abran documentos no habrá retraso
- Copiar y duplicar archivos será ejecutara de manera ágil
- El proceso de información será más acelerada y efectiva
- En general, el sistema será más rápido
- Como no están en movimiento son más duraderos
- Alta velocidad de acceso, escritura y ubicación de información

Desventajas de los SSD

El principal problema es el costo dado que el precio es muchísimo más alto que el de los HDD. Por ejemplo, si se desea gastar alrededor de 100 euros en un SSD solo se obtendrán unos 240 gigabytes de espacio, y si se desea gastar lo mismo por un HDD se podría conseguir algún modelo de hasta 3 o 4 terabytes. La diferencia entre el espacio de ambos es enorme.

Capacidad de almacenamiento (cada vez menos desventaja)

Tradicionalmente los discos en estado sólido se han caracterizado por ofrecer unas capacidades de almacenamiento bastante reducidas, algo que ha contrastado claramente con las cada vez más altas capacidades que se llevan en el mundo de los discos duros tradicionales.

Número limitado de operaciones de escritura

Los SSD tienen un número limitado de escrituras y superado este límite, ya no permiten más escrituras. Esto es una limitación de diseño, y se traduce en una vida útil poco clara. En teoría, este límite es suficientemente alto para un uso normal, por lo que parece que en la mayoría de los casos no debería afectar. Los discos SSD son más vulnerables a fallos de alimentación y además en sus inicios el desgaste de las celdas de memoria hacía que su vida útil fuera una preocupación importante. Hoy en día los ciclos de acceso a esas celdas es suficiente largos (actualmente hasta 10 años ofrecen algunos fabricantes) como para que ese no sea un problema con los SSD a nivel de consumo y considerando la vida útil de los equipos informáticos. La durabilidad o vida útil de un SSD hace referencia a la cantidad de información que una unidad SSD es capaz de grabar antes de que pueda presentar fallos. El fabricante de las memorias usadas en los SSD ofrece una determinada expectativa de vida basada en su resistencia a la erosión que se produce en los procesos de escritura y borrado. Conforme su superficie se erosiona es menor la capacidad de la celda para almacenar la carga eléctrica sin fallos y con fiabilidad.

3.1.4 Tarjetas gráficas especializadas

CUDA son las siglas de Compute Unified Device Architecture (Arquitectura Unificada de Dispositivos de Cómputo) que hace referencia tanto a un compilador como a un conjunto de herramientas de desarrollo creadas por NVidia que permiten a los programadores usar una variación del lenguaje de programación C para codificar algoritmos en los GPU (Graphic Processor Unit)²² de NVidia.

²² Unidad de procesamiento gráfico o GPU (Graphics Processor Unit) es un coprocesador dedicado al procesamiento de gráficos u operaciones de coma flotante, para aligerar la carga de trabajo del procesador central en aplicaciones como los videojuegos o aplicaciones 3D interactivas. De esta forma, mientras gran parte de lo relacionado con los gráficos se procesa en la GPU, la unidad central de procesamiento (CPU) puede dedicarse a otro tipo de cálculos. <http://www.nvidia.es/object/gpu-computing-es.html>

CUDA intenta explotar las ventajas de las GPU frente a las CPU utilizando el paralelismo que ofrecen sus múltiples núcleos, que permiten el lanzamiento de un altísimo número de procesos simultáneos. Por ello, si una aplicación está diseñada utilizando numerosos procesos que realizan tareas independientes (que es lo que hacen las GPU al procesar gráficos, su tarea natural), una GPU podrá ofrecer un gran rendimiento en la realización de esos procesos al aprovechar la potencia de la unidad de procesamiento de gráficos (GPU).

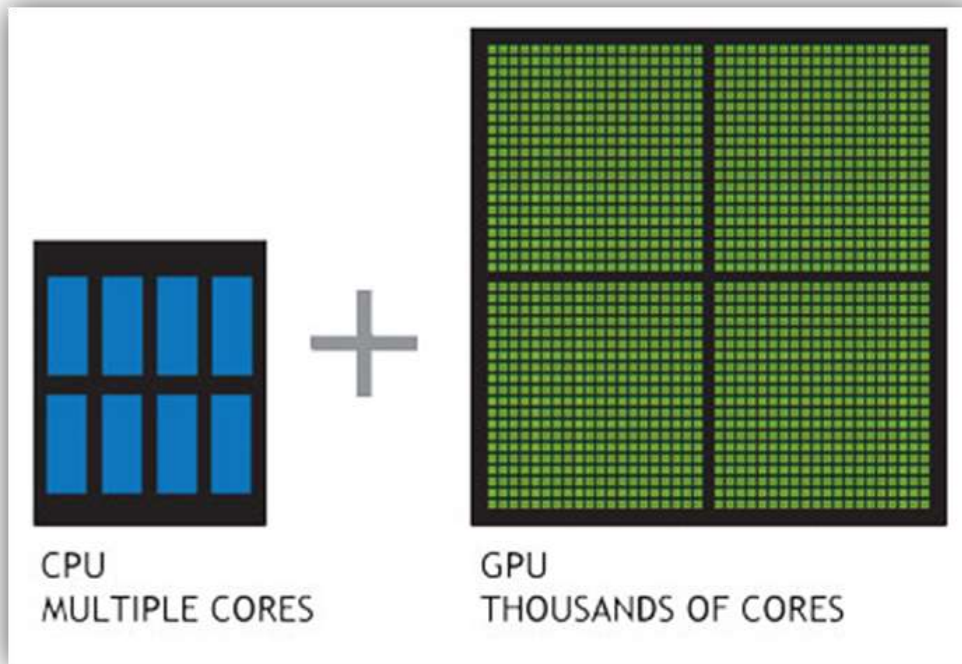


Figura 3.5. Comparación entre el número de núcleos de proceso de un CPU (Central Processor Unit) y los de un GPU (Graphic Processor Unit).

3.1.5 Software

El software necesario, a partir de su funcionalidad y resultados esperados para el proyecto se divide en:

Software de manejo de dron y captura de fotos

- DJI Pilot

Es compatible con lo dron DJI Phantom 3 Profesional, permite diseñar las rutas de vuelo, visualizar la intensidad de la señal con que se comunica el dispositivo Android con el dron, visualización en tiempo real de lo que la cámara capta, porcentaje de batería, numero de satélites GPS, selección de toma de fotos o video, ajuste de parámetros de fotografías. Función “Go-Home” – regreso al punto de origen. Muestra parámetros de telemetría de vuelo (dirección, inclinación, velocidad)

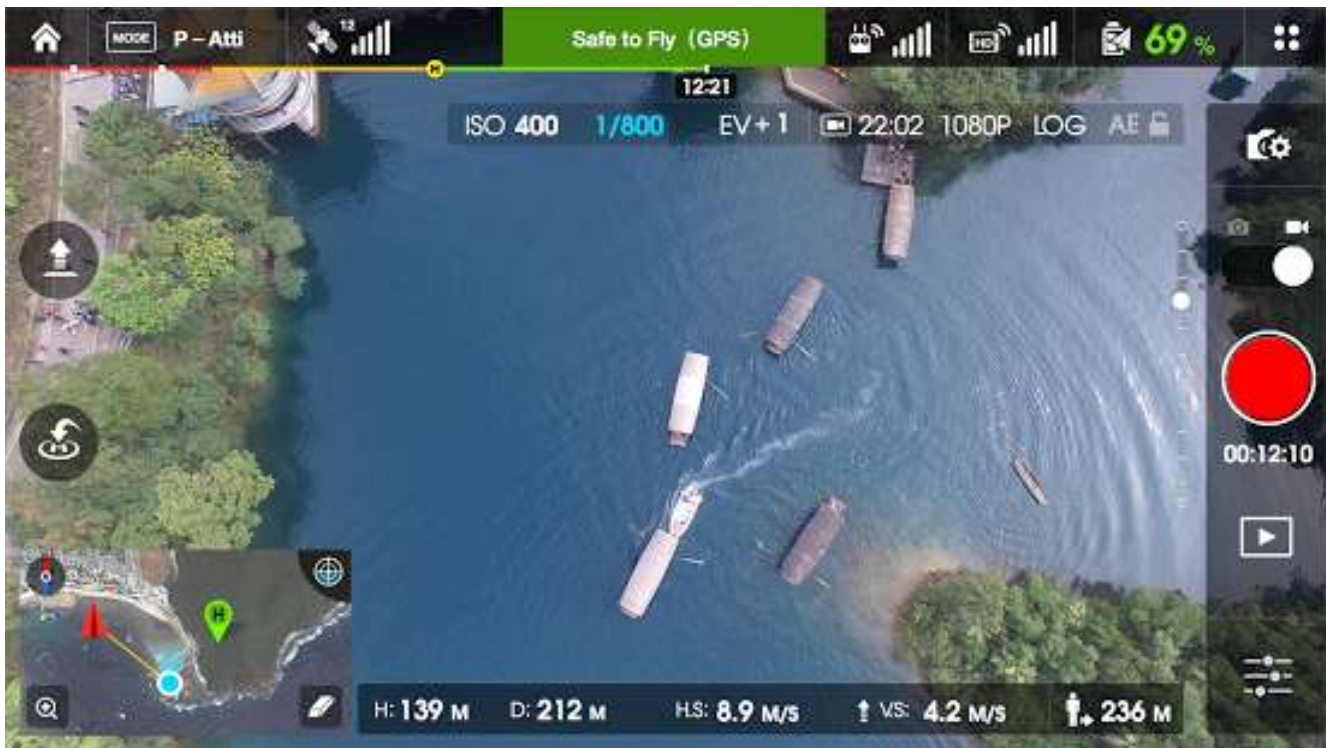


Figura 3.6. Pantalla de trabajo del software DJI Pilot.

- Skycatch Commander

Fabrica aviones no tripulados y software para monitorear sitios de trabajo, como áreas de construcción, extracción de petróleo y gas, minería y agricultura. Es compatible con los drones DJI. Es compatible con software de AutoDesk y con ArcGIS. Genera mapas de alta resolución en 2D. Genera la ruta óptima para la toma de fotografías. Acepta waypoints (puntos predefinidos). Visualiza las nubes de puntos generadas en alta resolución. Permite observar detalles y asignar texturas basadas en las fotos a la nube de puntos. Genera curvas de nivel. Genera Modelos Digitales de Superficie.

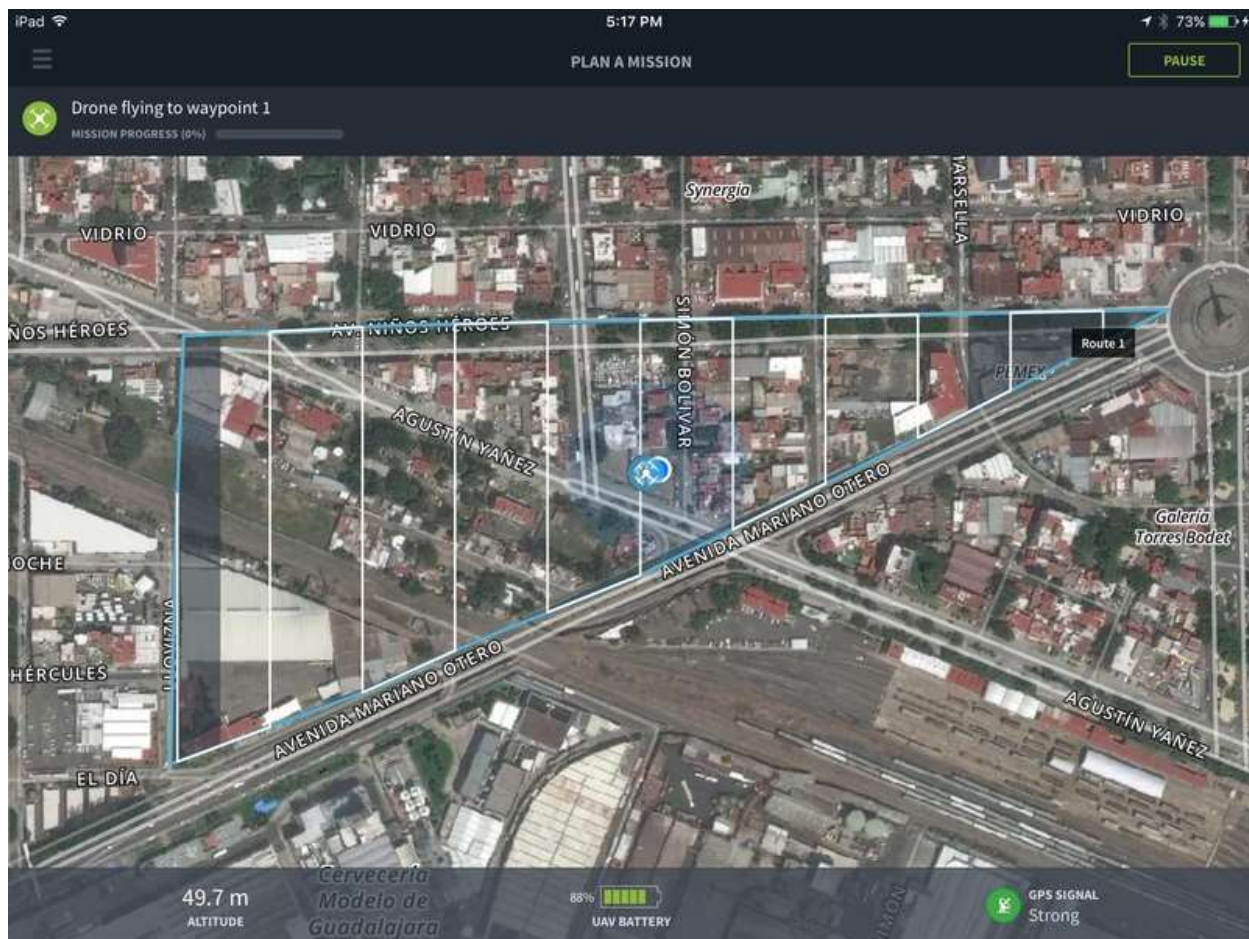


Figura 3.7. Pantalla de trabajo del software SkyCatch Commander.

- DJI Go

Permite filmar y utilizando un enlace de video en HD en tiempo real se puede observar exactamente lo que la cámara ve, los controles de la aplicación están colocados de la misma manera que una cámara. Se puede controlar completamente la velocidad del obturador, la apertura, el ISO.

Cuenta con distintos modos de vuelo tales como Anclaje al Punto de Inicio, Punto de Interés, Sígueme y Trayectoria.

Sincroniza automáticamente los registros de vuelo. Descarga la información conforme la va capturando. Edición profesional de video. Muestra intensidad de la señal GPS, así como de la señal de conexión.



Figura 3.8. Pantalla de trabajo del software DJI Go.

Software de proceso o transformación

- LASEdit fue comprado por la empresa Fugro. Ahora se llama Fugro Viewer. Incluye un algoritmo para la extracción de superficies que permite generar modelos del terreno y de superficie.
- Fugro Viewer tiene la misma interfaz que LASEdit. Solo permite la visualización y representación por medio de puntos. No permite análisis ni opción de exportar. Se descargó y durante las pruebas se colapsa por la falta de memoria.
- Los datos LiDAR requieren una serie de filtros antes de poder trabajar con ellos en cualquier aplicación. El primer tamizado, limpia todos los datos excéntricos que son consecuencia de errores, tanto del sensor como de otros elementos
- El segundo filtro de los datos, antes de almacenarse en formato .LAS, es el que permite separar el suelo de la vegetación y de los objetos de la superficie terrestre. Aunque en los datos generados mediante sensores fotográficos montados en drones no es posible hacer dicha separación.
- LP360. Es una herramienta de la empresa GeoCue Group, desarrollada para trabajar datos LiDAR en el entorno ArcGIS. Realiza diversas acciones con los archivos .LAS directamente en ArcMap. Entre ellas, importar archivos ASCII, XYZ y archivos shape de puntos. Muestra el número de puntos total del archivo .LAS. Exporta con diversas opciones: punto o raster de elevación. Genera automáticamente curvas de nivel, TIN, imagen de intensidad, extensión del conjunto de datos, combinaciones de retornos.

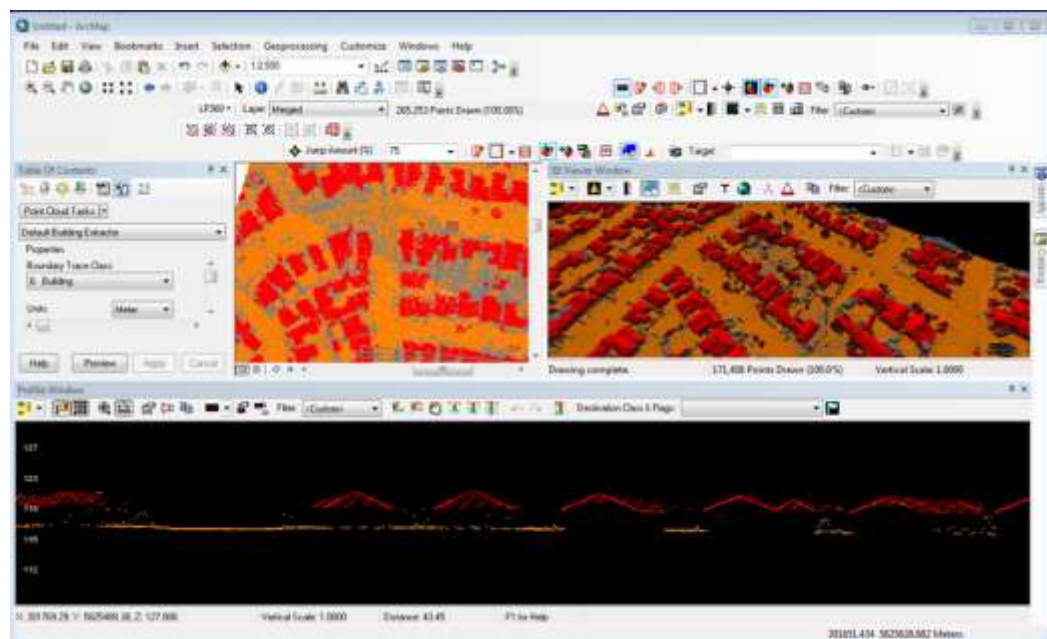


Figura 3.9. Funcionamiento de LP360 como barra de herramientas de ArcGIS.

- FUSION/LDV (LiDAR data Viewer). Es un software gratuito desarrollado por el Servicio Forestal y el Departamento de Agricultura de EU. Está orientado al análisis forestal. Permite trabajar con archivos raster, .LAS, shapefile, .csv

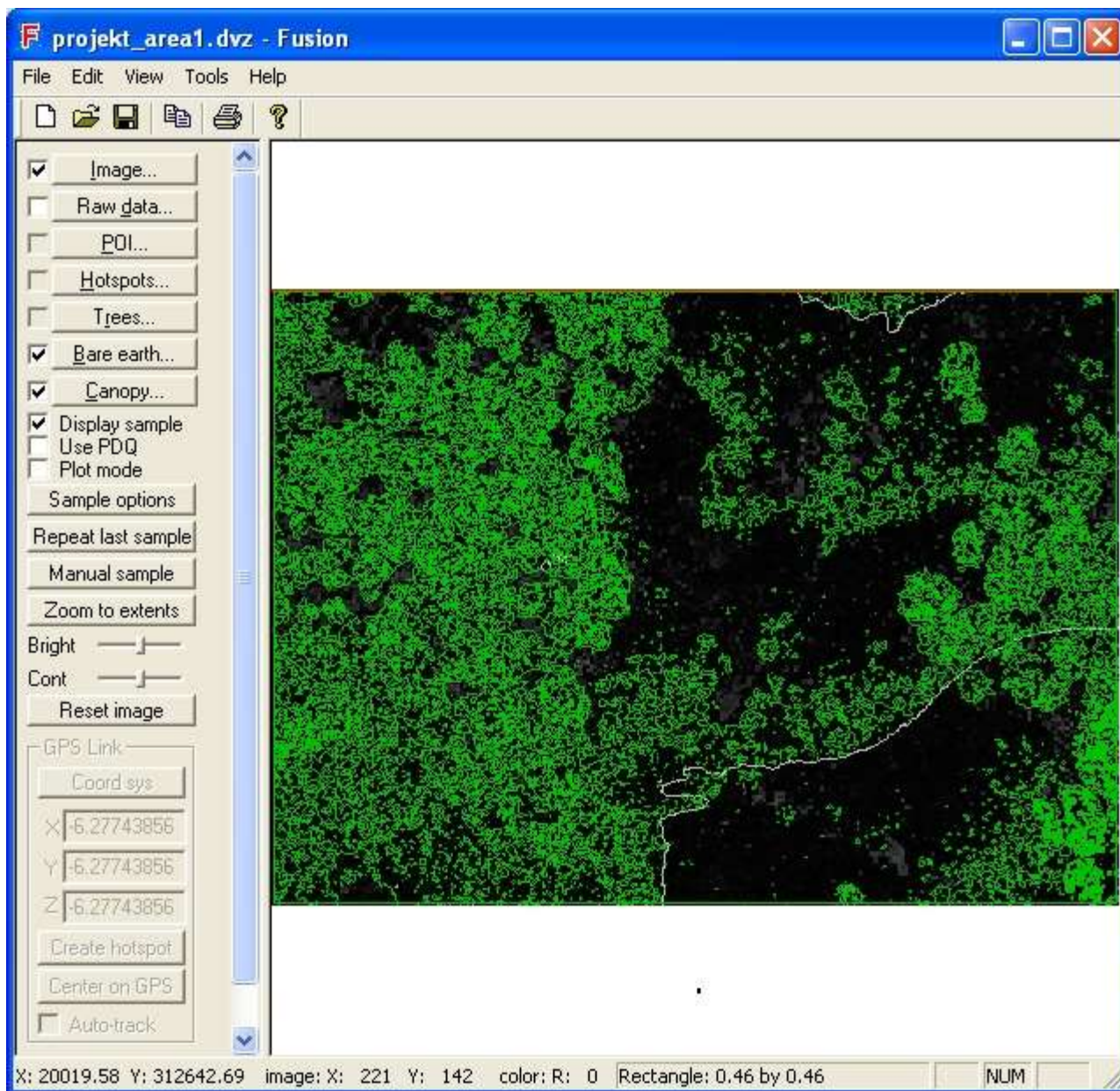


Figura 3.10. Pantalla de FUSION/LDV

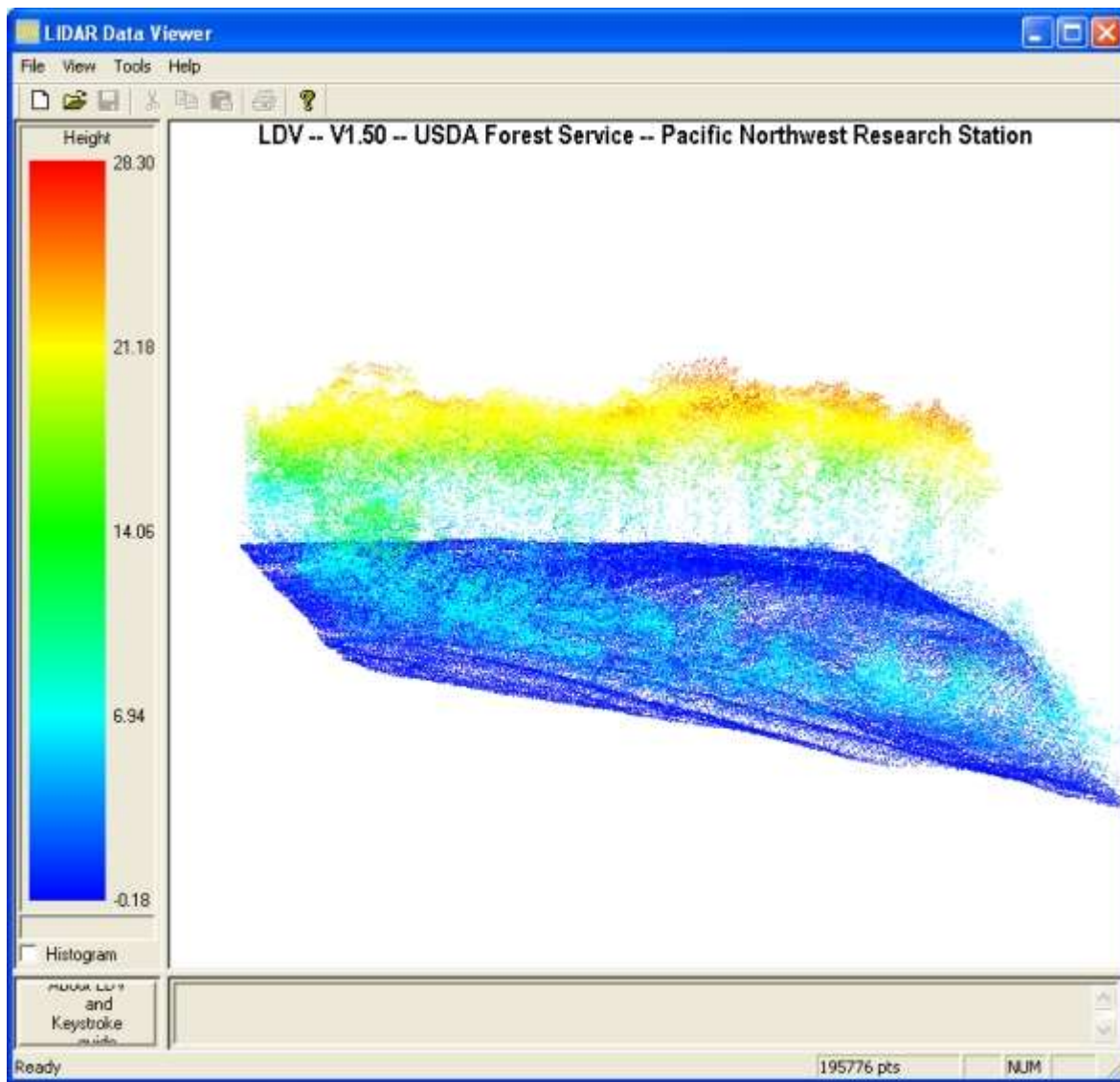


Figura 3.11. Pantalla de FUSION/LDV, vista en 3D.

Fuente: <http://lbi-archpro.org/als-filtering/lbi-project/results/fusion>

- PIX4D Mapper Pro

El software Pix4D Mapper Pro es el líder en el mercado de procesamiento de imágenes fijas con fines de construcción de nubes de puntos, ortomosaicos y análisis de fotografías. Las características principales del software son:

Tabla 3.1. Características de la entrada de datos.

Entrada de datos	Compatible con cualquier cámara y lente. Aérea (nadir y oblicua) y soporte terrestre. Multicámara
	Cualquier cámara (compacta, SLR, multiespectral, GoPro, Tetracam)
	Cualquier lente, incluyendo Fisheye
	Múltiples formatos y tipos de archivo (.jpg, simple o multi bandas, .tiff)
	Compatible con vídeo AVI y mp3
	Importación y edición de puntos de control en tierra
	Compatible con sistemas de coordenadas de referencia locales o globales
	Importa nube de puntos externa

Tabla 3.2. Características del proceso de datos

Proceso	Procesado en modo rápido
	Generación rápida de reporte
	Auto calibración de cámara
	Extracción de MDT y nube de puntos automática
	Filtrado y mejora de la nube de puntos
	Corrección automática del brillo y el color
	Reporta de calidad
	Fusión de proyecto
	Definición de área de proyecto

Tabla 3.3. Características del Editor RayCloud

Editor RayCloud	Vista de proyecto
	Edición de puntos con lazo manual
	Reoptimización de proyecto
	Anotación de imagen
	Creación de polilíneas
	Creación de superficies
	Medición de volumen
	Herramientas de digitalización

Tabla 3.4. Características de la calculadora de índices

Calculadora de índices	Edición de mosaico
	Generación de índices
	Edición de formulas
	Mapeo en color

Tabla 3.5. Características del editor de mosaicos

Editor de mosaicos	Selección de proyectos planas /orto
	Edición de uniones
	Edición de color y brillantez de mosaicos

Tabla 3.6. Características de la salida de resultados

Salida de resultados	2D	Orto mosaicos georreferenciados en formato GeoTiff
		Exportación en formato KML y HTML
		Índice de mapas en banda simple y en GeoTiff
	3D	Modelos digitales georreferenciados
		Modelos TIN
		Nubes de puntos en formato LAS, LAZ, XYZ, PLY
		Curvas de nivel en formato SHP, DXF, PDF

Para la realización del estudio piloto se descargó el software y se instaló con una licencia de prueba válida durante 60 días.



Figura 3.12. Pantalla de inicio de PiX4D Mapper, en donde existen las opciones de crear un nuevo proyecto, abrir proyecto existente, entrar a la ayuda o ver la guía de consejos.

The screenshot displays the Pix4Dmapper Discovery software interface. The main window shows a satellite view of an industrial area with a green flight path overlaid, consisting of red circular waypoints connected by green lines. The interface includes a top menu bar with options like 'Proyecto', 'Proceso', 'Ver', 'Vista mapa', and 'Ayuda'. A toolbar on the left contains icons for project management and processing. The bottom status bar shows 'Bienvenido', 'Vista mapa', 'rayCloud', and 'Editor de mosaico'. A right-hand panel provides project details and processing parameters.

Información sobre el proyecto

Resumen de los resultados del proyecto

Proyecto:
 Nombre: labhidraulicahd
 Tipo: Standard
 Espacio de trabajo: G:\Proyecto2016\VI01-16 Procesamiento de datos generados mediante drones\SetDatosDJ1_LabHidra
 Datum de salida: World Geodetic System 1984
 Sistema de coordenadas de salida: WGS 84 / UTM zone 14N
 Salida georeferenciada: SI

Procesamiento local:

1. Procesamiento inicial completado: SI
 Promedio GSD [cm/píxel]: 2.13751
 Archivos de parámetros generados: SI completada: SI
2. Densificación de la nube de puntos completada: SI
 Escala de la imagen: multiescala, 1/2 (Half image size, Default)
 Densidad de los puntos: High (Slow)
3. Generación de MDS y ortomosaico completada: SI
 Resolución [cm/píxel]: 2.13751
 Raster MDS generado: SI
 Grid MDS generado: No
 Ortomosaico generado: SI
 Teselas de Google Maps y KMl generados: No

Capas

- Imágenes
- Puntos de apoyo
- Áreas de proceso
 - Área de la densificación de la nub...
 - Área del ortomosaico

WGS84 - (20.4929089, -100.21097) WGS84 / UTM zone 14N - (373717.892, 2266495.39) [m]

Figura 3.13. Proyecto de estudio piloto, se muestra la ruta de toma de fotos del dron.

Software libre. Es aquel que puede ser usado, copiado, estudiado, modificado y redistribuido libremente.

- gvSIG es un software libre desarrollado por la Consejería de Infraestructuras y Transportes de la Generalitat Valenciana. Existe la aplicación de Dielmo Open LiDAR desarrollada por la empresa DIELMO y permite el tratamiento, visualización y análisis de archivos .LAS. Su punto fuerte es la capacidad de mostrar conjuntos de datos con gran cantidad de información junto con otras fuentes como imágenes o archivos shapefile. Se indica solo como referencia ya que no se descargó ni utilizó para este proyecto.



Figura 3.14. Pantalla demostrativa de uso de DIELMO.

Fuente: <http://www.dielmo.com/>

Software para análisis, interpretación y generación de mapas (Sistema de Información Geográfica)

Principalmente se utilizó ArcGIS como software para el análisis geoespacial e interpretación, y se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El ArcGIS no puede manipular ni leer archivos .LAS directamente, ya que este formato almacena los atributos en formato binario o de tipo BLOB²³,
- Para la creación del espacio de trabajo hay que tener en cuenta que es necesario almacenar todos los datos en una geodatabase. Esto permite manejar los datos .LAS y tratar la información de una manera más ágil y compacta, recogiendo todos los shapes dentro de un conjunto de datos de entidades (Feature Dataset).
- La elección del tipo de geodatabase depende de las características del proyecto. Debido a que los datos .LAS suponen gran cantidad de puntos almacenados, es recomendable elegir una geodatabase tipo archivo (File Geodatabase), que permite almacenar desde 1 TB hasta 256 TB.
- Las nubes de puntos pueden ser comprimidas en formato LAS (.laz) y/o en formato ASCII (.asc).
- Existe una extensión que funciona como caja de herramientas para ArcGIS y para ERDAS Imagine, QGIS y ArcGIS, tiene costo aunque no se fue posible conseguirlo a través del distribuidor²⁴. Ahí se indica que utiliza tecnología exclusiva para triangular miles de millones de puntos para la posterior rasterización en un DEM. Menciona que es posible procesar hasta 2 billones de puntos por archivo.

²³ Los BLOB (Binary Large Objects - objetos binarios grandes) es el conjunto de datos binario almacenados como una única entidad en una base de datos que permite comprimirlos. <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/blob.html>

²⁴ <http://rapidlasso.com/blast>

3.1.6 Estudio piloto

- Descripción del lugar de vuelo

Para fines demostrativos, uso y aplicación de los procesos se seleccionó la sección sur del terreno con que cuenta el Instituto Mexicano del Transporte en Sanfandila, Querétaro. Ahí se están construyendo instalaciones complementarias, lo que involucra movimientos de gente, de material y maquinaria.



Figura 3.15. Instalaciones del IMT, en la parte sur donde se muestran los puntos rojos se realizó el vuelo con el dron. Al lado este de la imagen se observa la pista de pruebas. Al norte de los puntos rojos se encuentran las instalaciones principales.

- Descripción del dron y del sensor utilizado

El dron utilizado fue un DJI Phantom 3 Advanced, con una cámara Sony Exmor. Se tomaron 48 fotos, a una altura de 60 mts y se obtuvo información para 0.04 km². Las fotos cuentan con georreferenciación y no cuentan con corrección diferencial en tiempo real ni en postproceso.



Figura 3.16. Fotografía del dron DJI Phantom 3 Advanced y la cámara Sony Exmor

Tabla 3.7. Características principales del dron Dji Phantom 3 Advanced.

<http://www.dji.com/es/phantom-3-adv/info#specs>

Peso (hélices y batería incluida)	1280 gr	Altura máxima de servicio (sobre el nivel del mar)	6000 m
Modo GPS	GPS/GLONASS	Max. Duración de vuelo	23 min. Aprox.
Sensor (cámara)	Sony Exmor R BSI 1/2.3"	Pixeles efectivos	12.4 megapixeles
Lente	FOV 94° 20 mm (35 mm formato equivalente) f/2.8, enfoque a ∞	Velocidad del obturador	8s -1/8000s
Tamaño máximo de imagen	4000x3000	Modos de fotografía	Disparo único Disparo en ráfaga: 3/5/7 disparos Exposición Automática en Horquillado (AEB): 3/5 Horquilla de Exposición a 0.7EV Bias Time-lapse
Control remoto	Hasta 5 km ó 3.1 millas (sin obstáculos ni interferencias) Según normas FCC. Hasta 3.5 km ó 2.1 millas (sin obstáculos ni interferencias) Según normas CE	Sistema operativo requerido	iOS 8.0 ó posterior Android 4.1.2 ó posterior

El proceso de datos involucro los siguientes pasos:

- Descarga de las fotos tomadas con el dron
- Revisión de los parámetros de vuelo
- Dentro del software Pix4D
 - Carga de las fotos en Pix4D

Se cargaron las 48 fotos que conforman el levantamiento en campo mediante el dron, ya que estas se encuentran georreferenciadas el Pix4D las coloca a cada una en el lugar que les corresponde.

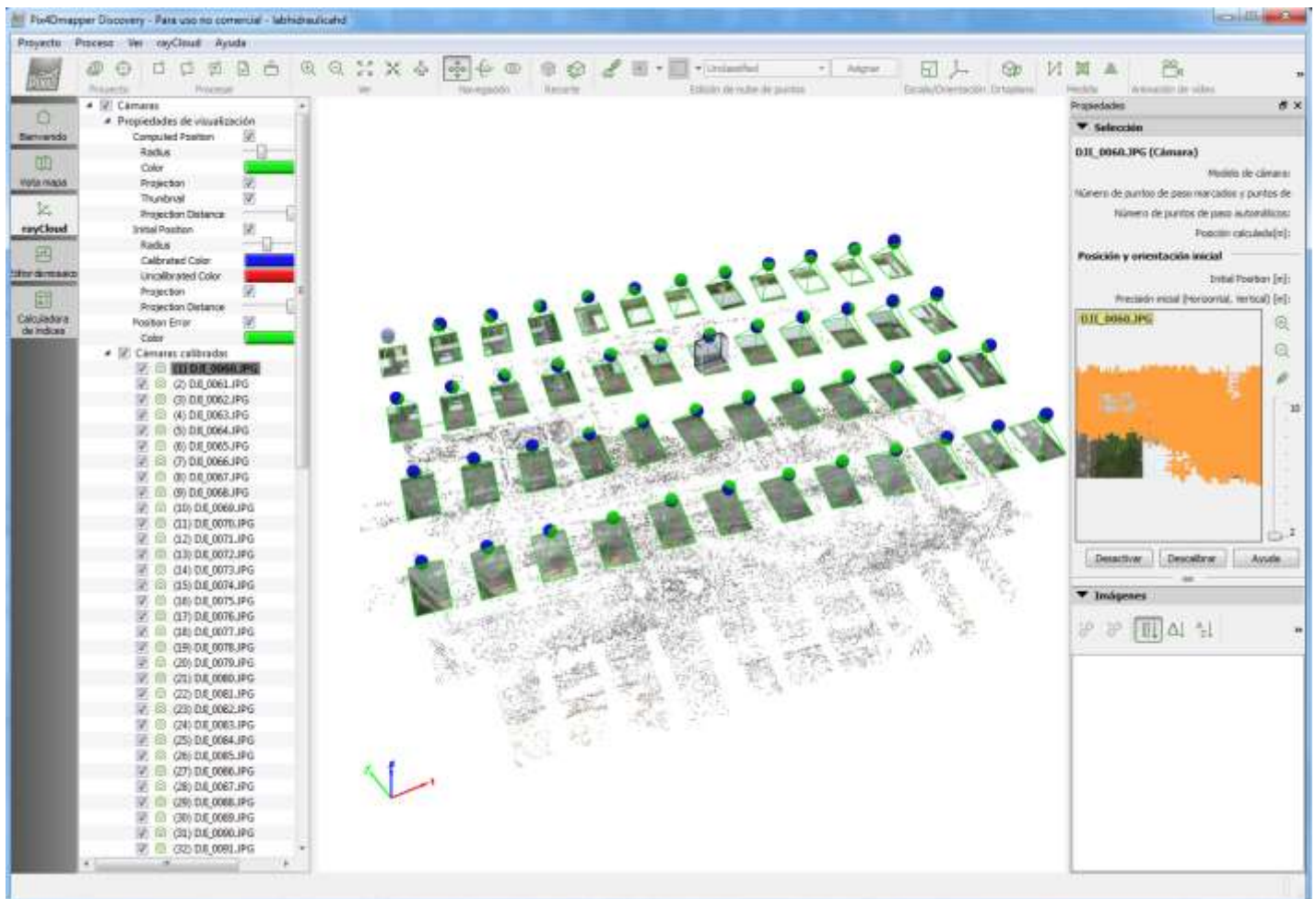


Figura 3.17. Se muestra la ubicación relativa de cada una de las fotos tomadas, así como una previsualización y el cubrimiento total del área de trabajo.

- Generación de proyecto de trabajo

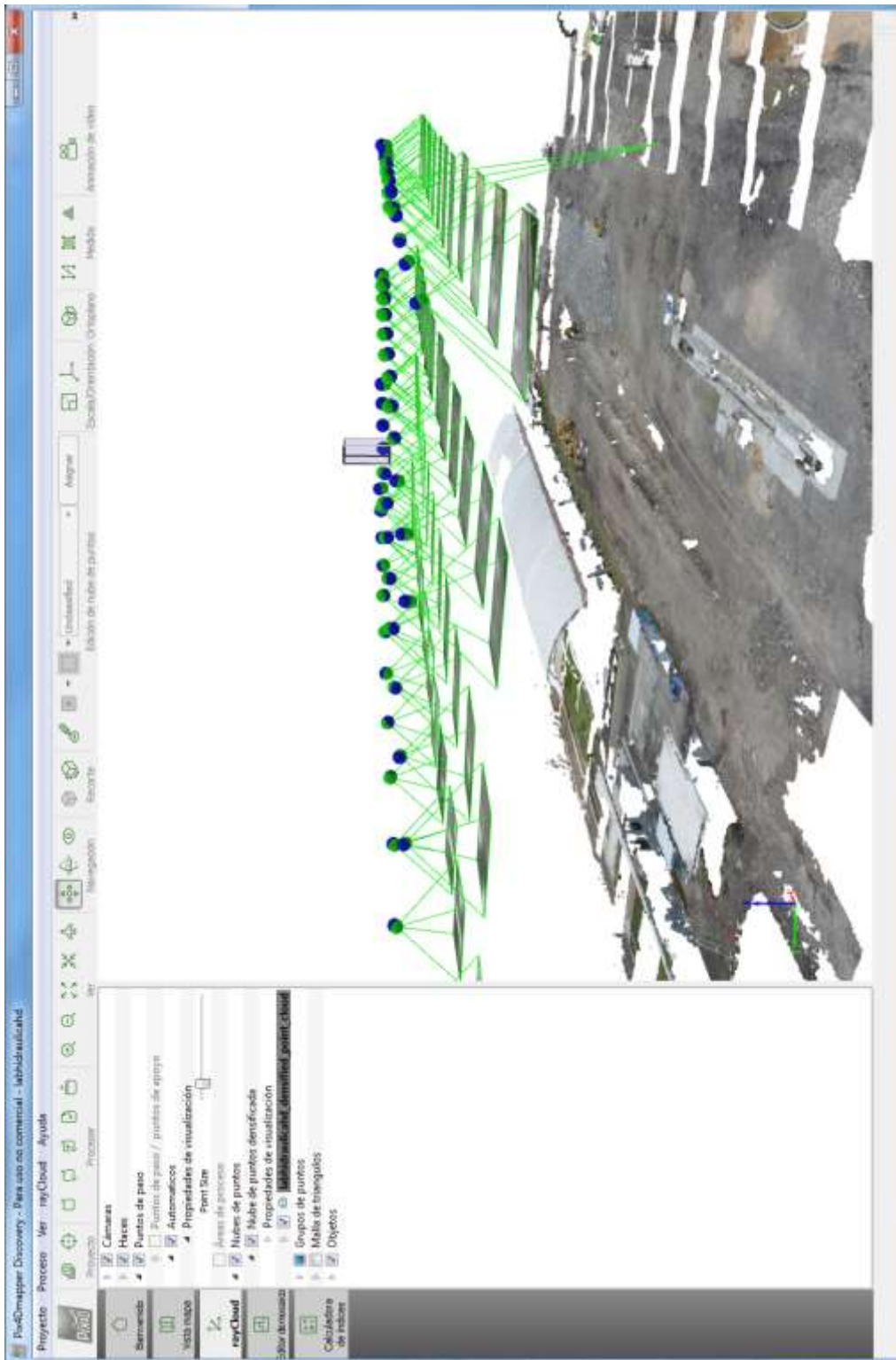


Figura 3.18. Vista desde otra perspectiva de la ubicación relativa de cada una de las fotos tomadas.

Una vez que se cargan las fotos en el proyecto, se procede con el Procesamiento local que consta de los siguientes pasos:

- Proceso inicial
- Densificación de nube de puntos
- Generación de MDS y ortomosaico

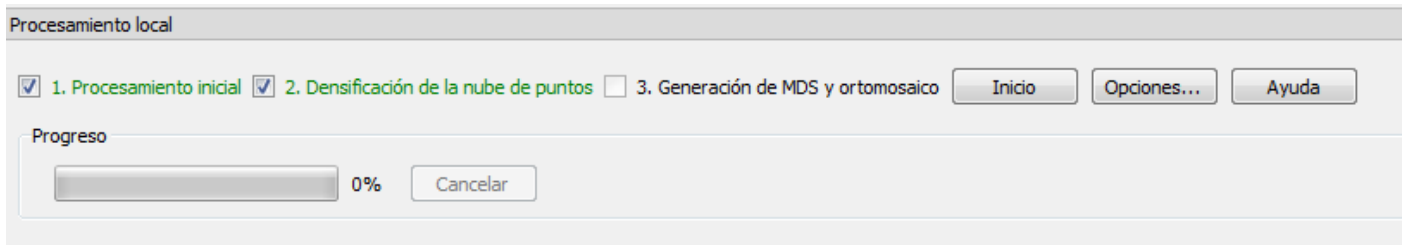


Figura 3.19. Pasos del procesamiento local.

El tiempo que tarda este proceso depende del número de imágenes y de la calidad elegida para la densificación de la nube de puntos

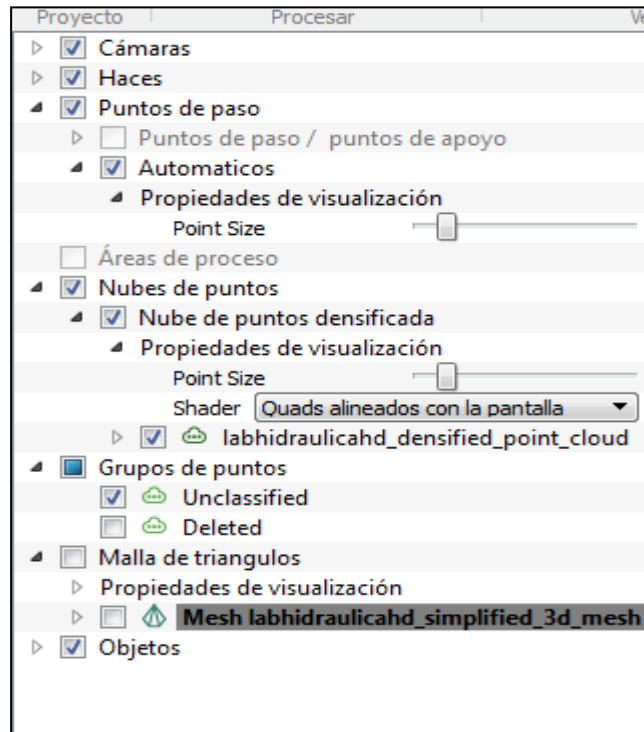


Figura 3.20. Después del procesamiento local, se muestran los resultados a través de distintas opciones.

- Generación de nubes de puntos, en formato .LZH y .LAS



Figura 3.21. Se muestra el resultado de la generación de las nubes de puntos aplicando textura tomada directamente de las fotos originales.

- Creación del informe del proyecto

Quality Report

Generated with Pix4Dmapper Pro - Versión de prueba version 2.0.104

 **Important:** Click on the different icons for:

-  Help to analyze the results in the Quality Report
-  Additional information about the sections

 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	labhidraulicahd
Processed	2016-06-08 13:51:45
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.13 cm / 0.84 in
Area Covered	0.04 km ² / 4 ha / 0.0155 sq. mi. / 9.8893 acres
Time for Initial Processing (without report)	06m:08s

Figura 3.22. Reporte de calidad. Se indica el nombre del proyecto, fecha y hora del proceso, distancia media de muestreo, área cubierta y tiempo inicial de proceso.

Quality Check











 Images	median of 21620 keypoints per image	
 Dataset	48 out of 48 images calibrated (100%), all images enabled	
 Camera Optimization	1.83% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
 Matching	median of 8818.66 matches per calibrated image	
 Georeferencing	yes, no 3D GCP	

Figura 3.23. Reporte de calidad. Se indica el numero de puntos por imagen, numero de imágenes calibradas así como porcentaje de optimización de la cámara.

Preview

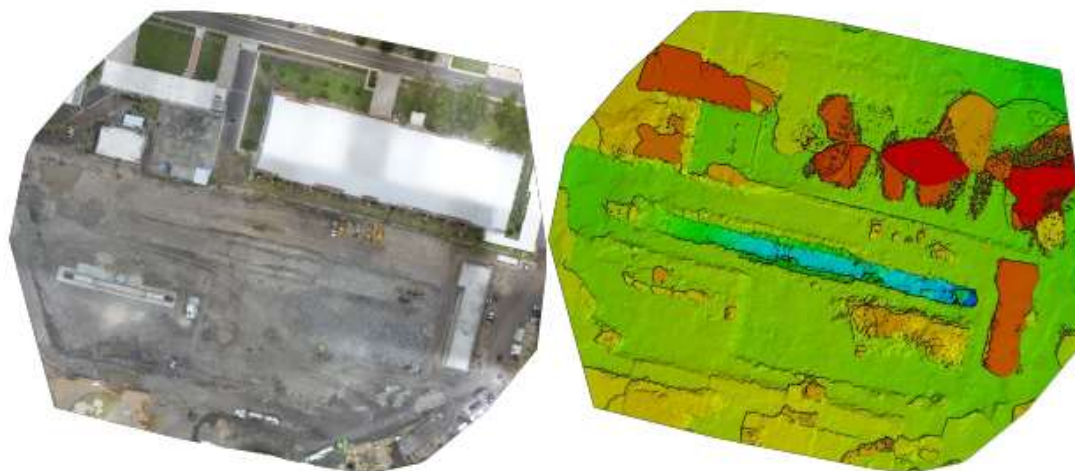


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Figura 3.24. Reporte de calidad. Previsualización del ortomosaico así como del Modelo Digital de Superficie

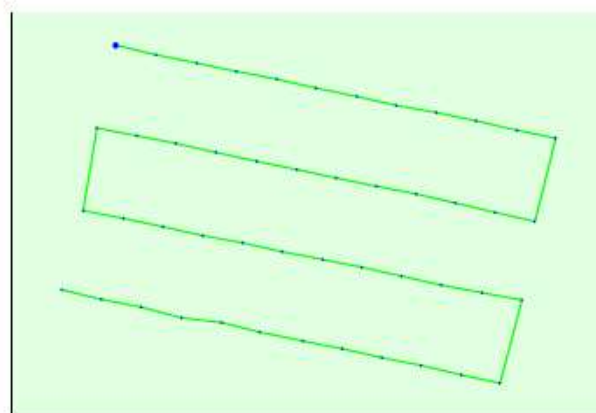


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Figura 3.25. Reporte de calidad. Posición inicial de las fotografías

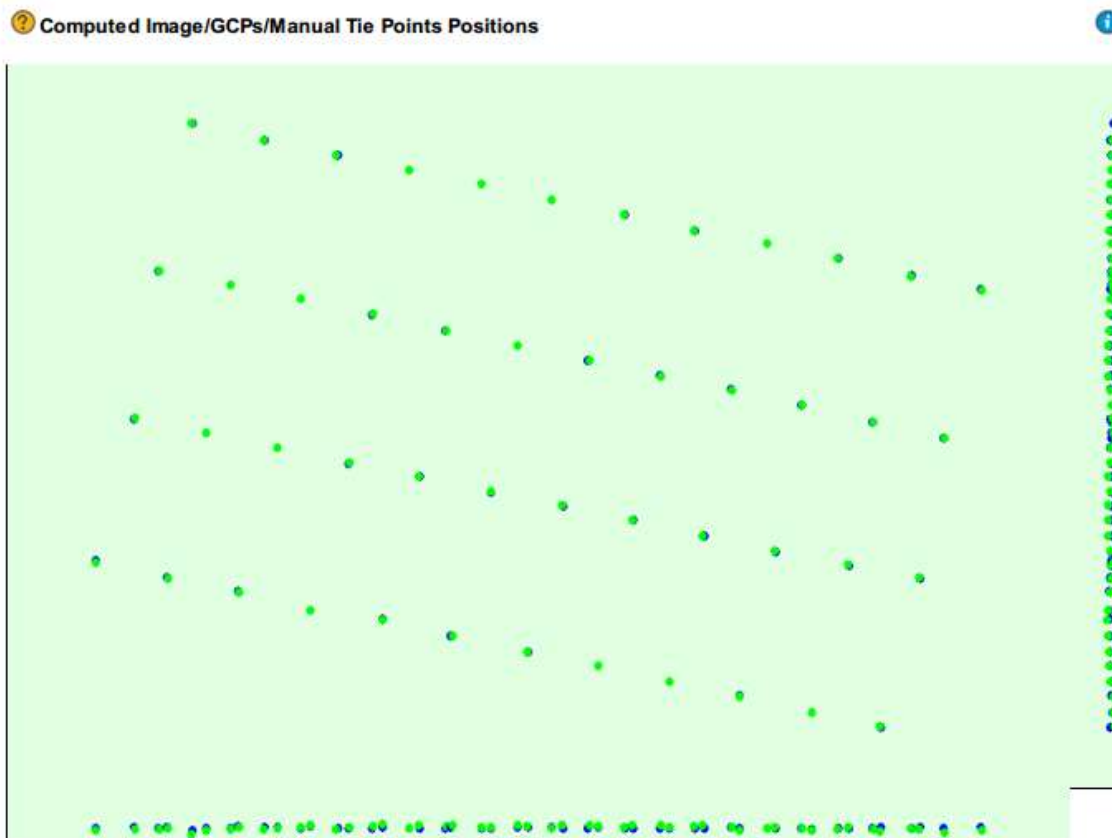


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane).

Figura 3.26. Reporte de calidad. Ajuste entre la posición inicial (puntos azules) y la posición procesada (puntos verdes). El ajuste se realiza tanto en x,y,z

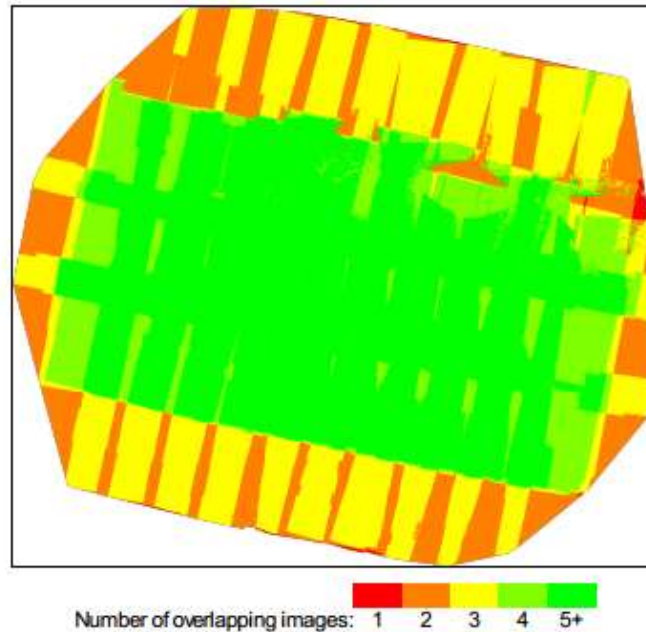


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

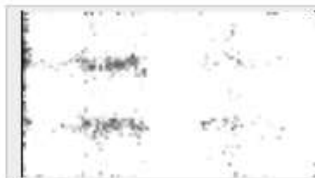
Figura 3.27. Reporte de calidad. Sobreposición de fotografías procesadas para cada pixel en el ortomosaico. El rojo y amarillo indica poca sobreposición. El verde indica sobreposición de 5 o mas fotografías, este es el valor idoneo.

Internal Camera Parameters

FC300S_3.6_4000x2250 (RGB). Sensor Dimensions: 6.317 [mm] x 3.554 [mm]

EXIF ID: FC300S_3.6_4000x2250

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	2381.842 [pixel] 3.762 [mm]	2000.000 [pixel] 3.159 [mm]	1124.999 [pixel] 1.777 [mm]	-0.140	0.129	-0.024	0.000	-0.003
Optimized Values	2338.102 [pixel] 3.693 [mm]	1988.877 [pixel] 3.141 [mm]	1111.466 [pixel] 1.755 [mm]	-0.007	0.012	0.002	-0.001	0.001



The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel averaged over all images of the camera model is color coded between black and white. White indicates that, in average, more than 16 ATPs are extracted at this pixel location. Black indicates that, in average, 0 ATP has been extracted at this pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the reprojection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization.

Figura 3.28 Reporte de calidad. Parametros de la camara. En este caso se aprecia que el tamaño del sensor es de 6.3 mm x 3.5 mm.

2D Keypoint Matches

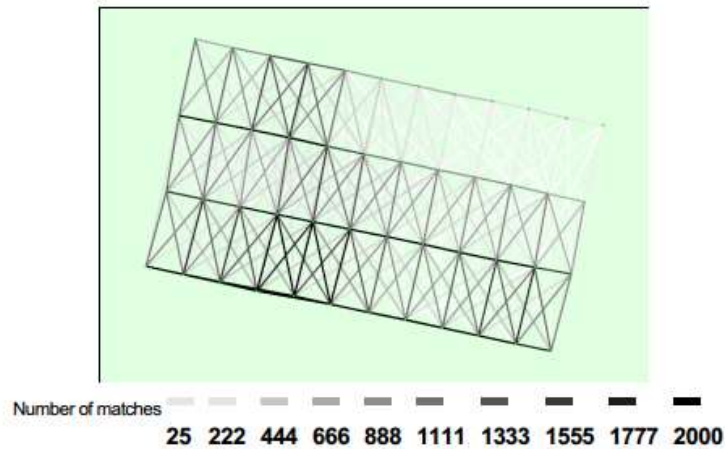


Figure 5: Top view of the image computed positions with a link between matching images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

Figura 3.29. Reporte de calidad. Coincidencia de puntos clave en 2D. Las líneas más oscuras indican que existen más coincidencia de puntos, las líneas más claras indican que se requieren más fotos.

Processing Options

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7 CPU 870 @2.93GHz RAM: 16GB GPU: ATI Radeon HD 4550 (Driver: 8.970.100.1100), RDPDD Chained DD (Driver: unknown), RDP Encoder Mirror Driver (Driver: unknown), RDP Reflector Display Driver (Driver: unknown)
Operating System	Windows 7 Professional, 64-bit
Camera Model Name	FC300S_3.6_4000x2250 (RGB)
Image Coordinate System	WGS84 (egm96)
Output Coordinate System	WGS84 / UTMzone 14N
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard, Internal Parameters Optimization: All, External Parameters Optimization: All, Rematch: yes

Figura 3.30. Reporte de calidad. Opciones de procesamiento, se indican las características del equipo de cómputo en donde se realizó el proceso así mismo el sistema de coordenadas.

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	High (Slow)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes, Maximum Number of Triangles: 10000000, Texture Size: 8192x8192
Advanced: Matching Window Size	7x7 pixels
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Densification Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	no
Time for Point Cloud Densification	19m:57s
Time for 3D Textured Mesh Generation	11m:06s

Figura 3.31. Reporte de calidad. Opciones de procesamiento en donde se detalla la densificación de la nube de puntos. El tiempo de proceso para la nube de puntos es de 19 minutos, mientras que para generar la vista en 3D se requirió de 11 minutos.

Results

Number of Generated Tiles	6
Number of 3D Densified Points	17102312
Average Density (per m ³)	1129.94

Figura 3.32. Reporte de calidad. Resultados del proceso, el número total de puntos 3D es de 17,102,312, la densidad promedio de puntos por metro cúbico es de 1,129

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.14 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes, Surface Smoothing: yes, Sharp
DSM Generation	yes, Method: Inverse Distance Weighting, Merge Tiles: yes
Time for DSM Generation	22m:26s
Time for Orthomosaic Generation	06m:24s

Figura 3.33. Reporte de calidad. Resultados del proceso, la resolución es de 2.14 cm/pixel, el tiempo de generación del MDS es de 22 minutos y el de la generación del ortomosaico es de 6 minutos.

Descripción del proceso de reconstrucción en ArcGIS

- En ArcGIS se genera un Mxd para contener los datos resultantes que se generaron en Pix4D.
- Dentro de ArcMap, se agrega el ortomosaico que resulta de integrar todas las fotos en un mosaico referenciado y corregido.

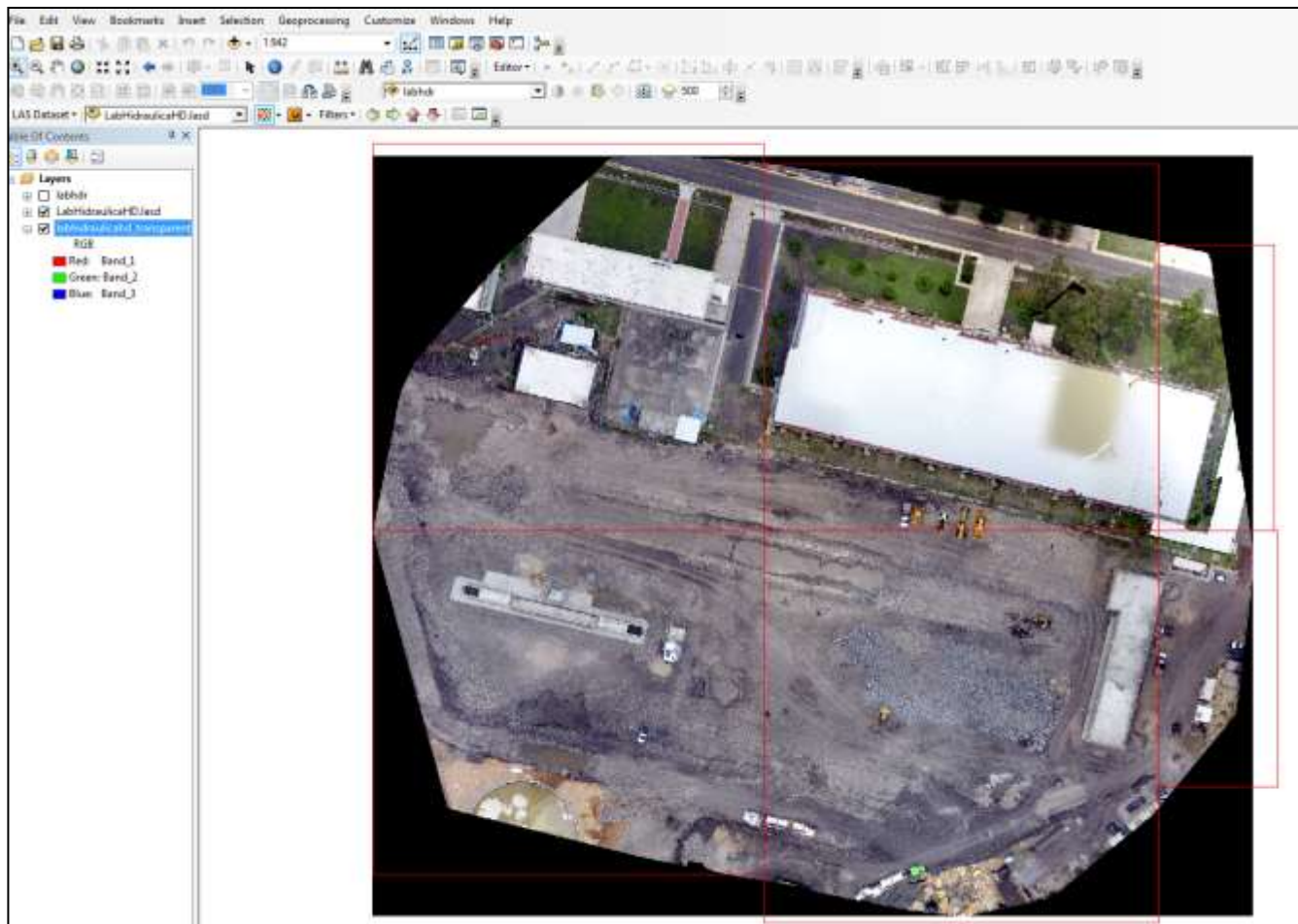


Figura 3.34. Carga y reconstrucción de la nube de puntos en ArcGIS.

Enseguida se cargan las nubes de puntos resultantes y se les aplica simbología que sea representativa de los datos, cabe mencionar que al ser información que cuenta con un gran tamaño (en el caso del ejemplo, aproximadamente 17,000,000 de puntos), el ArcGIS hace un muestreo para visualizar solo los puntos más representativos.

Cuando se reconstruyen las nubes de puntos en ArcGIS, cada uno de ellos se coloca en el lugar que le corresponde, esto es debido a que tienen coordenadas x, y, z, por lo que al representarlos se pueden asignar gradientes de colores para indicar las partes mas bajas o altas de cierta zona.

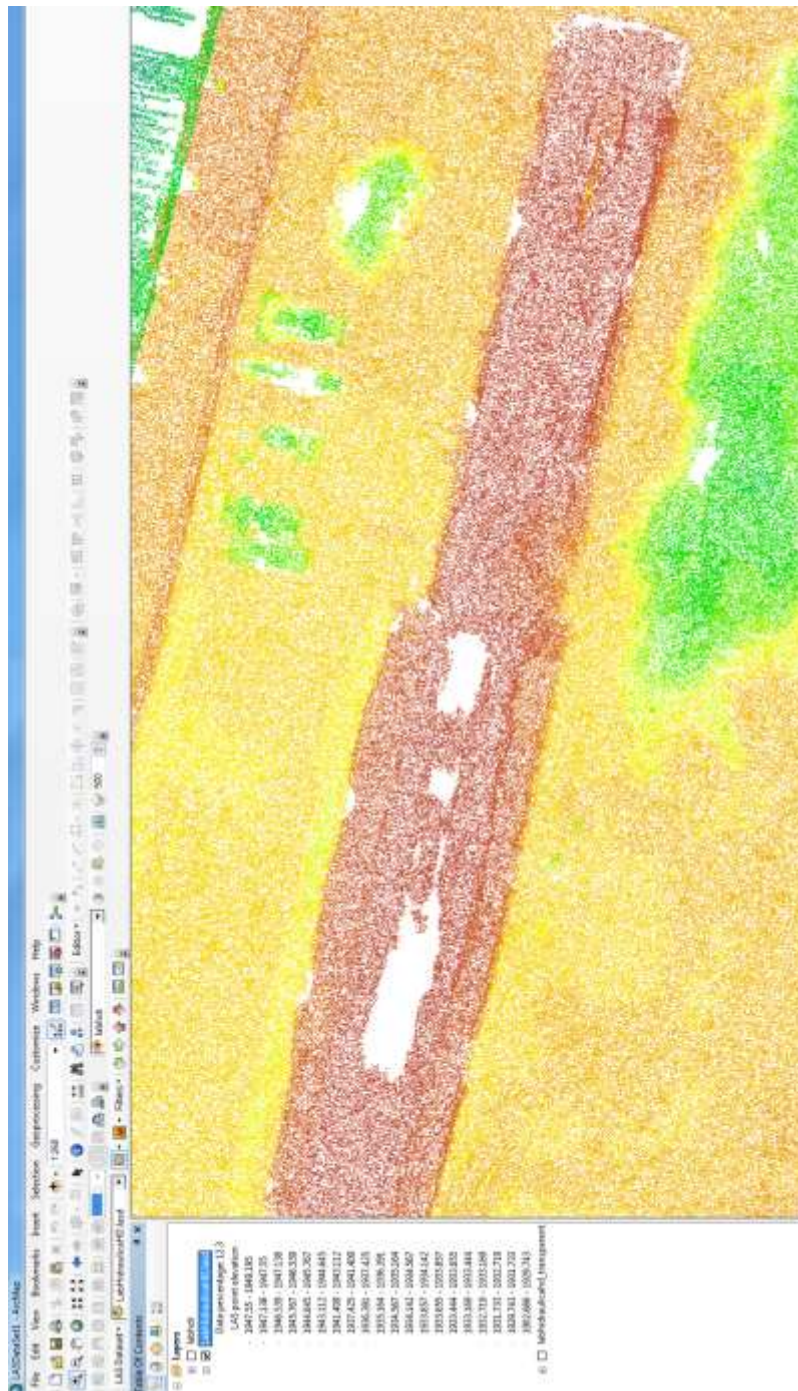


Figura 3.35. Carga y reconstrucción de la nube de puntos en ArcGIS. Los tonos rojos indican las partes mas profundas, los tonos verdes indican las partes mas altas.



Figura 3.36. Carga y reconstrucción. Nube de puntos sobrepuesta al ortomosaico. En este caso se puede apreciar que el canal es la parte mas baja y el monticulo que se encuentra del lado superior derecho es la parte mas alta.

Como se menciono anteriormente, al contar las nubes de puntos con coordenadas x, y, z también se pueden generar modelos en 3D, haciendo posible rotar, acercar y visualizar los datos desde otra perspectiva.

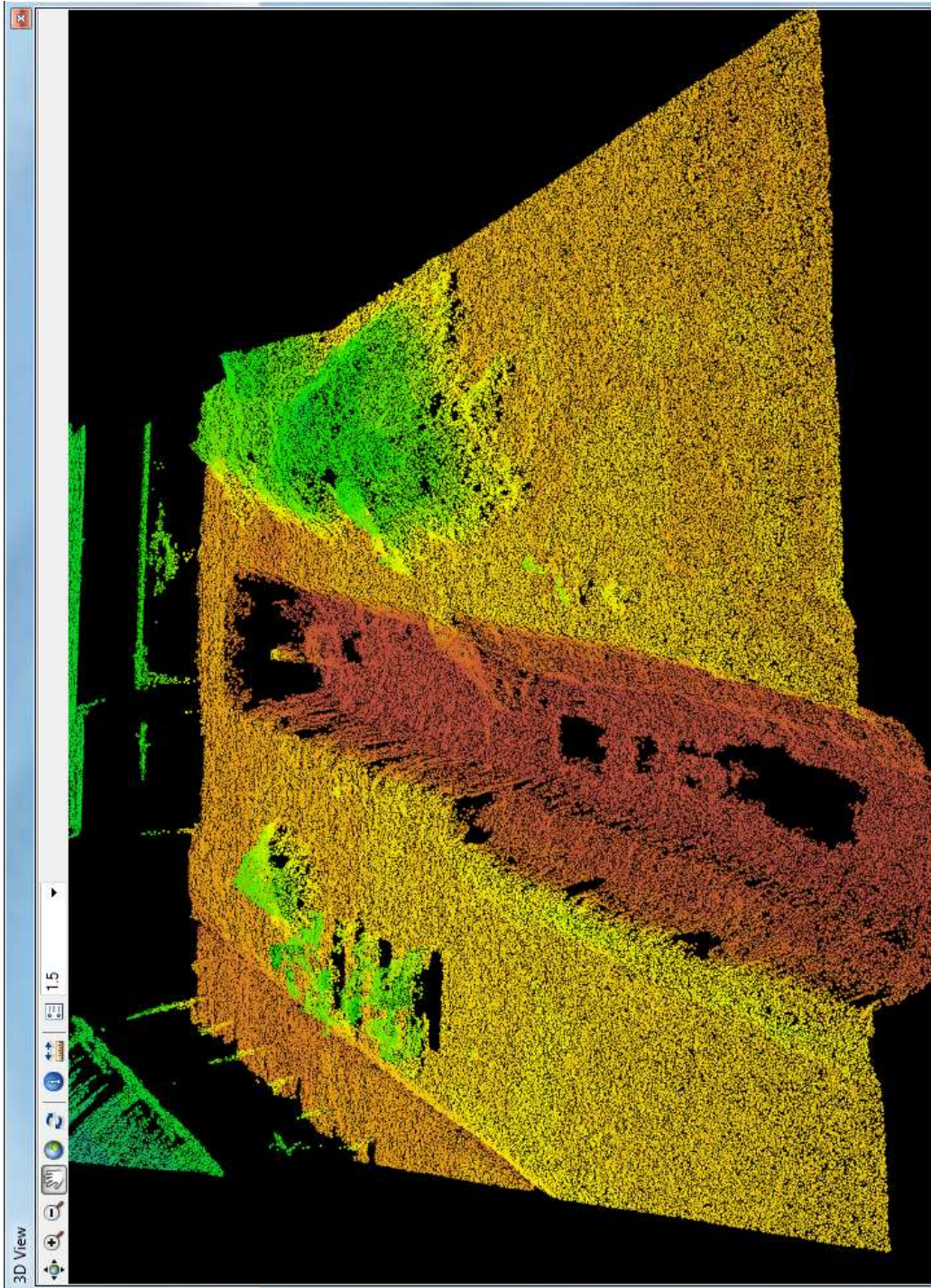


Figura 3.37. Visualización en 3D de la sección del canal en construcción así como del material desplazado. Se puede apreciar maquinaria trabajando al fondo del canal.

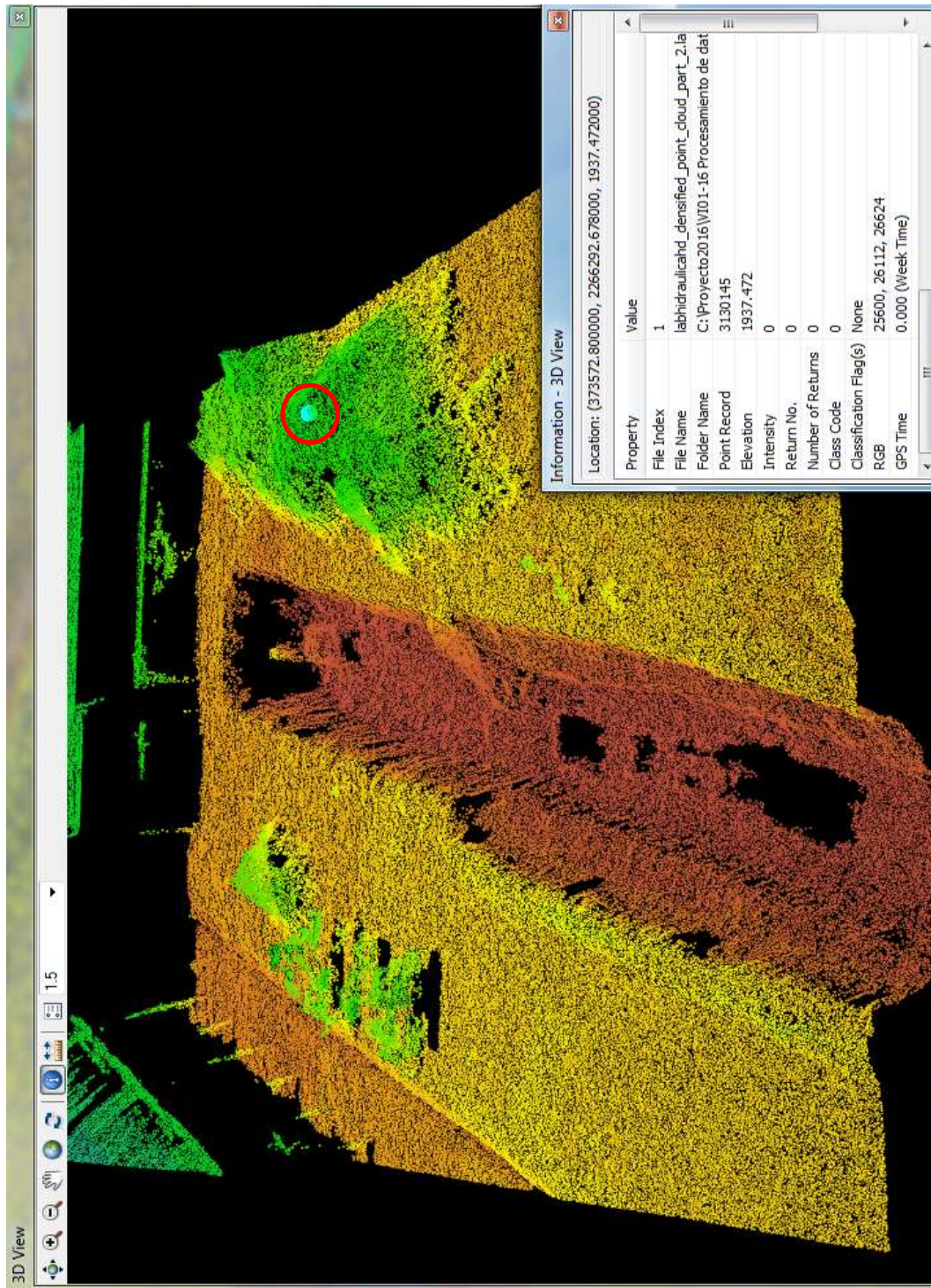


Figura 3.38. Consulta a la base de datos de un punto seleccionado, se observa que tiene una altitud de 1937.4 mts.

Otra de las opciones existentes, es la generación del un perfil de terreno, que permite visualizar una corte transversal o longitudinal para identificar las partes mas altas, las medias y bajas.

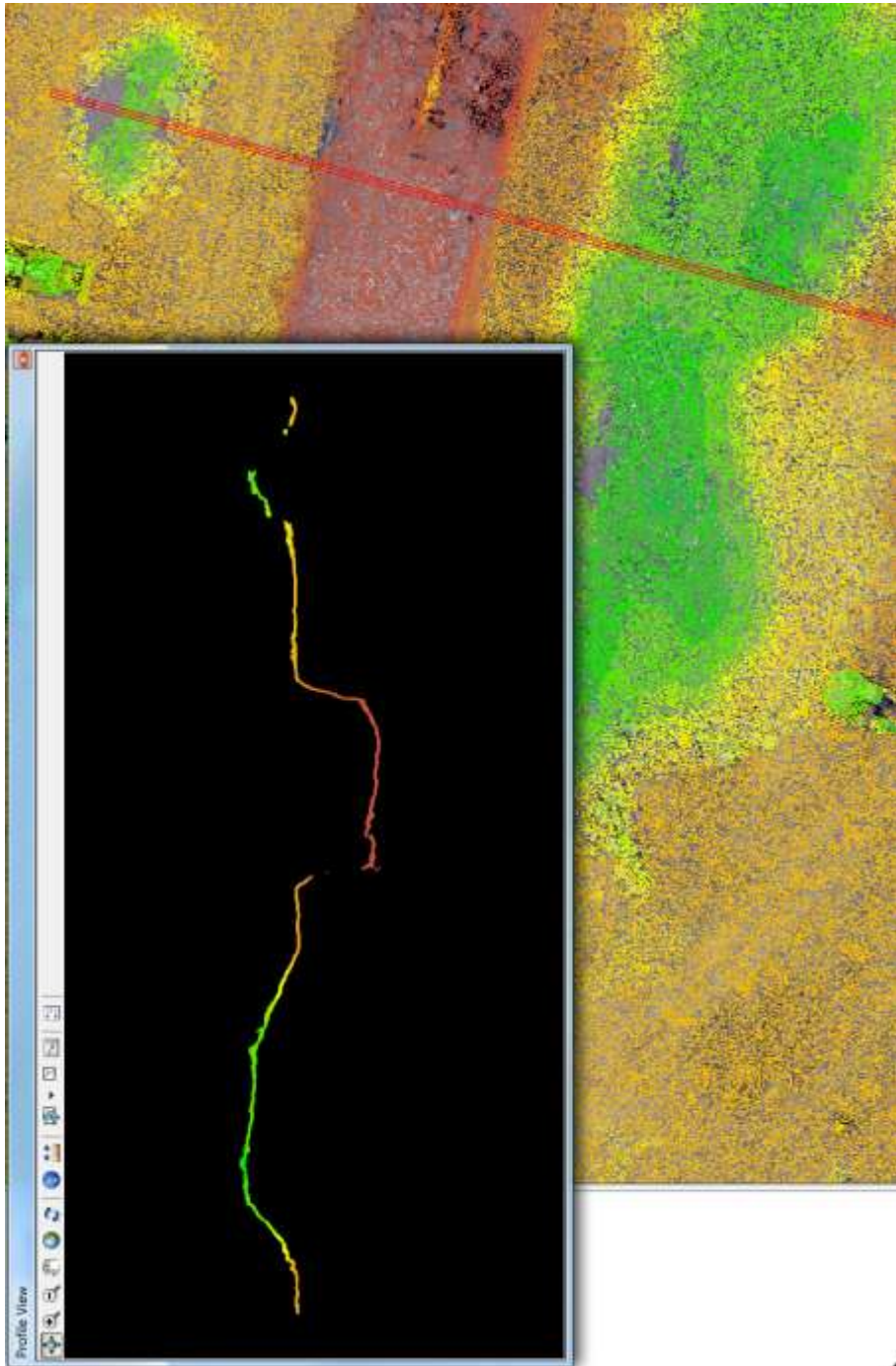


Figura 3.39. Perfil de terreno mostrando las alturas de cada sección, vista transversal.

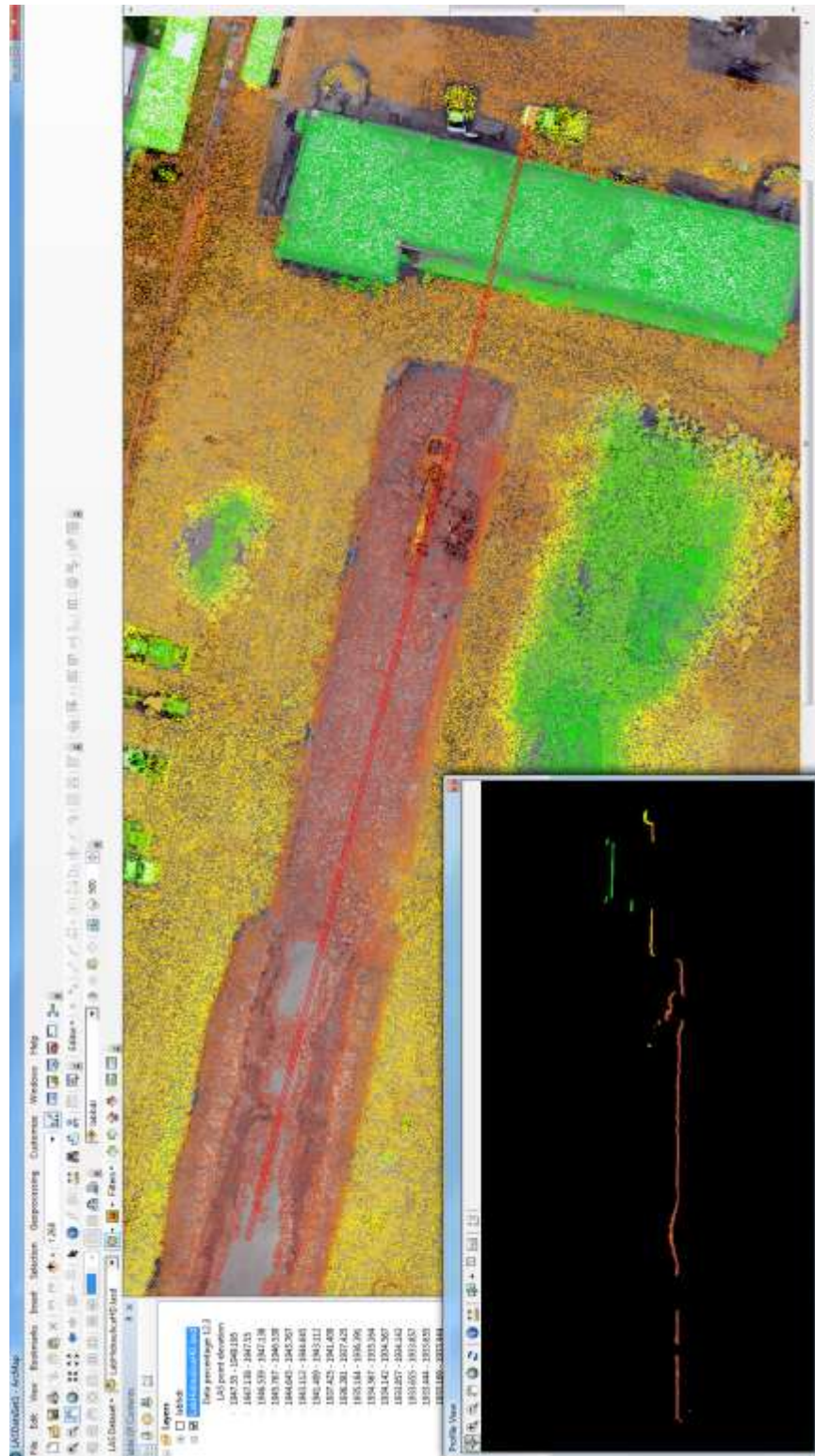


Figura 3.40. Perfil de terreno mostrando las alturas de cada sección, vista longitudinal.

Algunos de los productos resultantes del proceso de las nubes de puntos se muestran a continuación:

- Modelo digital de elevación

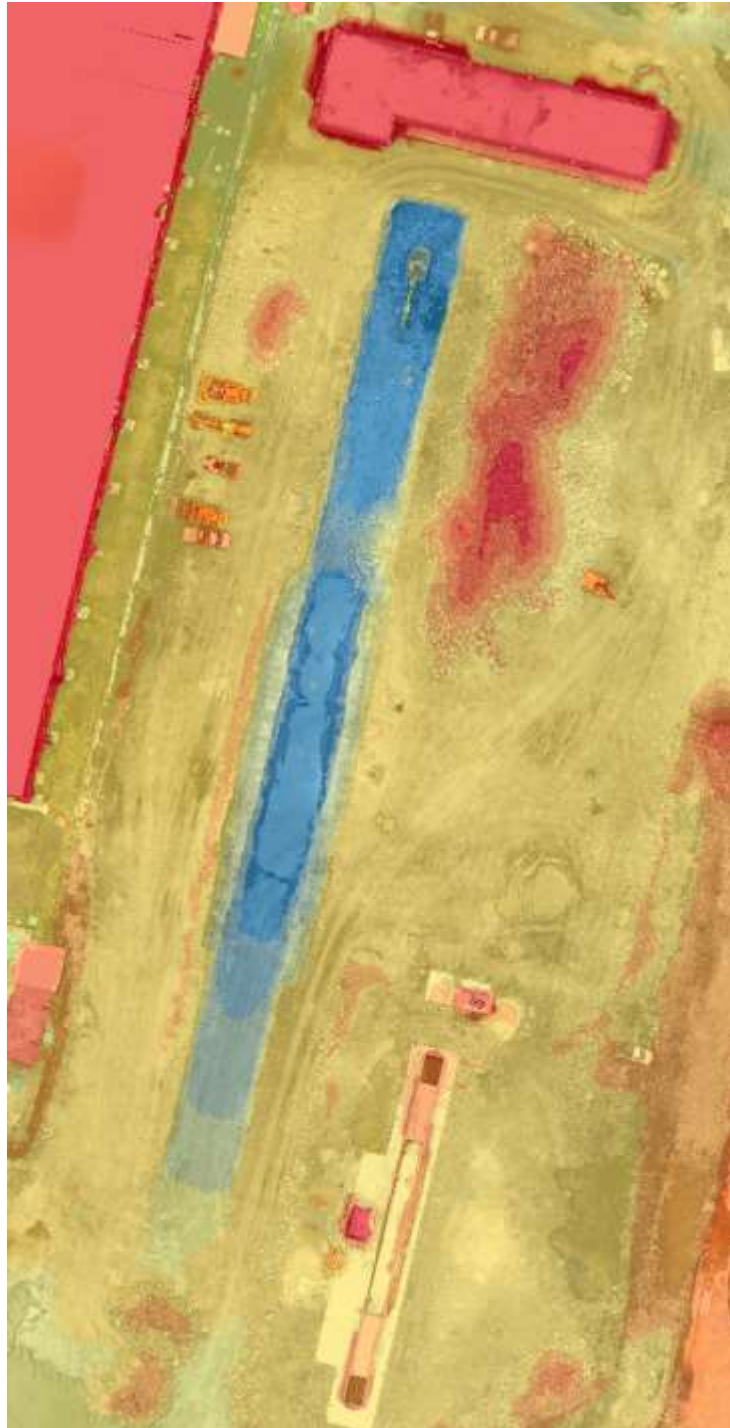


Figura 3.41 Generación del Modelo Digital de Elevación a partir de la nube de puntos.



Figura 3.42. Curvas de nivel generadas a partir del Modelo Digital de Elevación.

Derivados de la manipulación y proceso de las capas de información mencionadas anteriormente se generan los siguientes subproductos que pueden ser útiles para otros proyectos o aplicaciones específicas.

- Acumulación de flujo



Figura 3.43. Se muestran direcciones y grado de acumulación de flujo de agua. Los tonos rojos indican el mayor acumulación.

- Cálculo de volúmenes y área, en este caso, de material desplazado

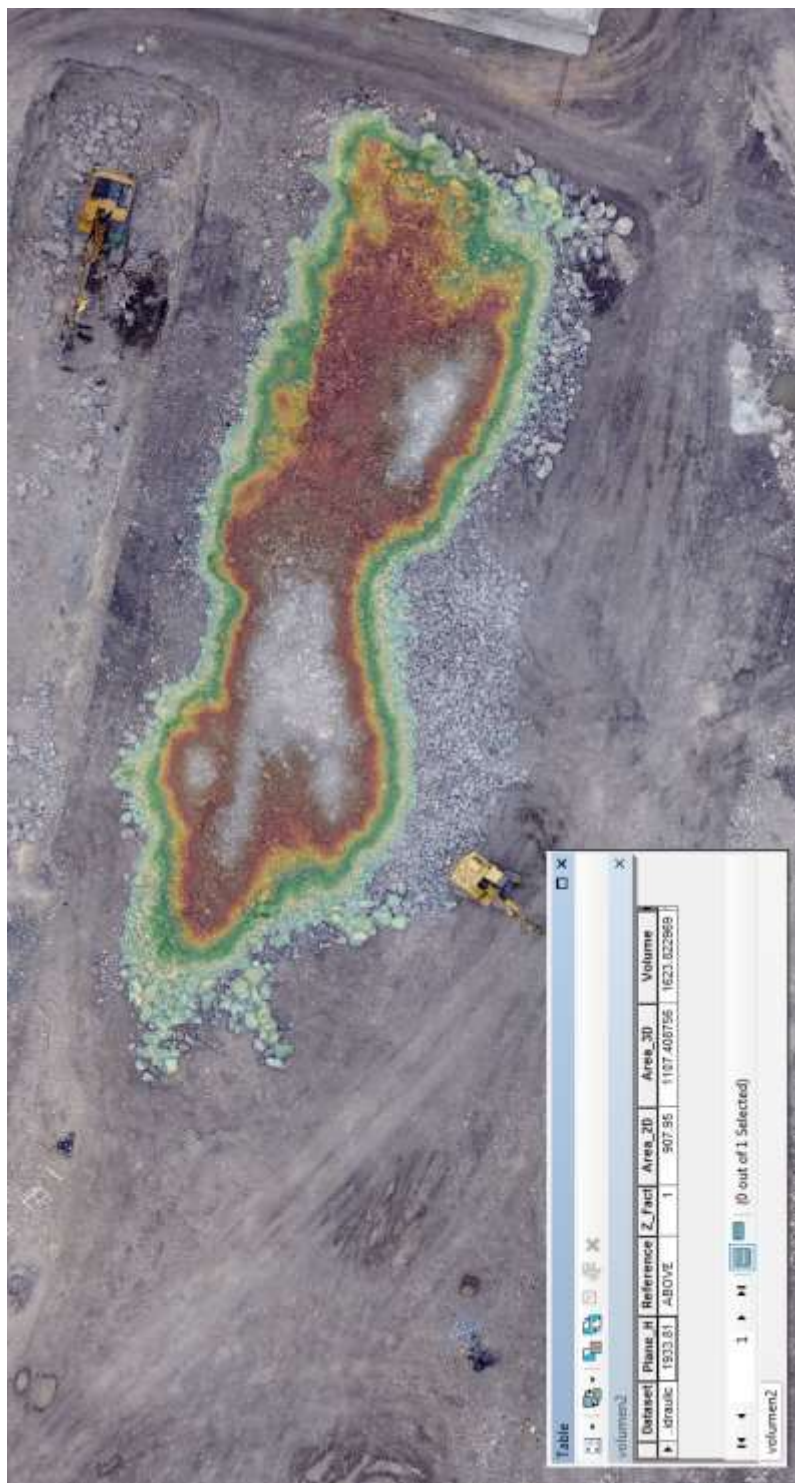


Figura 3.44. Se muestra el área en 2D así como el volumen de material retirado.

- Cálculo de volumen total



Figura 3.45. Se muestra el área en 2D así como el volumen requerido para llenar el canal hasta los límites indicados.

4 Conclusiones

En primer lugar conviene indicar que es más relevante el sensor utilizado que el dron seleccionado para hacer el levantamiento²⁵, así como tener una idea clara y objetivos bien definidos sobre lo que se pretende obtener con las fotografías tomadas así como con los productos resultantes de procesarlas.

Es sumamente importante considerar varios aspectos cuando se trabaja con este tipo de tecnología:

- El costo del dron

En este sentido pudiera ser más conveniente rentar el dron²⁶, tomando en cuenta si realmente se requieren los datos y sobre todo si se tiene una idea clara del uso que se le dará. También es posible utilizar datos que hayan sido levantados anteriormente por otras instituciones. Otro criterio es el que no en todos los proyectos se hace necesaria la utilización de los datos de un dron. En la actualidad los fabricantes y desarrolladores de drones sacan al mercado sus productos con relativa frecuencia, haciendo que los modelos anteriores pierdan valor y rentabilidad, esto ocasiona que en caso de invertir en la compra de algún dron con su sensor asociado sea muy difícil recuperar la inversión.

- El volumen de los datos

Este volumen suele ser muy elevado, por lo que será necesario contar con un proceso de almacenamiento y recuperación de este gran cumulo de datos. También se requerirá un equipo de cómputo lo suficientemente poderoso para

²⁵ Aunque para obtener datos confiables, actualizados, usables, procesables y que generen un resultado correcto, el dron debe cumplir con las características técnicas mínimas indicadas por el usuario o dependencia que requiere la información.

²⁶ El costo promedio de uso de un dron se cotiza en promedio en \$8,500 por día, esto incluye el piloto, la planeación de la toma de datos y la entrega de una cantidad mínima de imágenes sin edición. La edición y proceso tiene un costo aparte.

[http://rentatudrone.com/
EQUIPOSespeciales.html](http://rentatudrone.com/EQUIPOSespeciales.html)

<http://rentaundron.com/>
<http://www.dronesciclope.com/>

<http://rentauna7d.com/02-08->

procesar en el menor tiempo posible las fotografías así como las nubes de puntos generadas.

- El sensor utilizado

Se debe tomar en cuenta para la selección del sensor la finalidad del proyecto y los productos terminados que se esperan conseguir al procesar los datos. Esto definirá el sensor, la resolución, el tipo de dato que levantará así como el tamaño o espacio de almacenamiento requerido.

- El software de procesamiento

Aunque se tengan las fotos que fueron levantadas mediante el sensor colocado en el dron, no quiere decir que el trabajo esta concluido, para esto hace falta procesar dicha información y generar algunos productos como:

- Ortomosaicos
- Nubes de puntos en diversos formatos
- Visualizaciones 3D del terreno

Para esto es necesario contar con una licencia completa del software de procesamiento seleccionado, así como personal técnico capacitado en su uso y manejo.

- Lista de productos finales

Desde el inicio del proyecto se deben indicar los resultados esperados, así como los beneficios que se derivarán de la utilización de esta tecnología.

Algunos de los productos que se pueden generar son:

- Nubes de puntos georreferenciadas
- Ortomosaicos
- Capa de curvas de nivel
- Modelo digital de elevación

Y al procesarlos se pueden generar otros productos útiles para otros proyectos o aplicaciones

- Capa de acumulación de agua
- Capa de dirección de escurrimientos
- Capa de cálculo de volumen de tierra

En este sentido, este acercamiento a la tecnología de los drones y sensores que se pueden utilizar para levantar datos que se puedan transformar en información útil para integrarlos a determinado proyecto ha abierto las puertas para seguir trabajando en este tema para generar, por ejemplo: análisis de impacto ambiental, análisis del estado de materiales que conforman un puente o una carretera, detección de cambios de forma automática pudiendo ser estructurales o de composición de los materiales, análisis de saturación de redes, identificación de zonas conflictivas o con más posibilidad de generar accidentes, análisis de las causas de los accidentes, estudio de la saturación de patios de autotransporte, ferrocarriles, puertos y aeropuertos, evolución y cambios en la línea de costa así como los movimientos de arena que pudieran afectar a los puertos, monitoreo de mercancía y buques, estudios del terreno para identificar comportamientos relacionados a las corrientes marinas o fluviales, mareas, marejadas, lluvias y de este modo planificar la construcción de nueva infraestructura o modificación de la que ya existe.

El uso de los vehículos aéreos no tripulados en los distintos rubros del transporte permite que responsables de la planeación, organización, gestión y operación de los distintos modos de transporte, tanto del sector público como de la iniciativa privada y del ámbito académico, cuenten con la posibilidad de generar datos georreferenciados actualizados, veraces y oportunos para sus fines; no obstante, se debe tomar en cuenta la reducida autonomía de tiempo y alcance de vuelo, las condiciones meteorológicas adversas, las limitaciones legales y el alto costo del dron, así como de los sensores, lo que puede generar demoras y sobrecostos en el proyecto.

Es así que este trabajo sirve de precedente y modelo de desarrollo para futuras aplicaciones orientadas al tratamiento de datos generados a partir de sensores colocados sobre drones y su posterior procesamiento, análisis y manipulación en una plataforma SIG, en este caso, ArcGIS, así como guía a la introducción de todo el proceso de los datos mencionados.

Se requiere investigación más extensa para producir métodos que sean eficientes en el proceso de los datos, así como la identificación y uso para fines específicos en el transporte. Es necesario que el IMT cuente con drones propios o establezca convenios con algún fabricante para poder utilizar y evaluar las capacidades de los drones, esto se debe aplicar también a los sensores para identificar las necesidades específicas del IMT y la SCT en cuanto al tipo de datos que se requieren para determinados proyectos.

Es necesario que los resultados obtenidos sean revisados por las diversas áreas del IMT y la SCT para identificar la pertinencia de su utilización así como para generar retroalimentación y procesar los datos de acuerdo a las necesidades específicas de cada área.

Se deben promover el uso interdisciplinario de los drones, su proceso y aplicación con Sistemas de información Geográfica dentro del gobierno e instituciones académicas para la planeación, operación, control, integración y disposición de los datos resultantes y de este modo, se podrán utilizar como modelo natural mínimo para la normalización e integración de datos de relieve que puedan ser aprovechados en las distintas áreas de la SCT.

Bibliografía

Arellano Sánchez, J. Betts Gómez S. Ramírez Rodríguez O. *Gestión de datos Lidar a través de SIG y base de datos geoespacial*. INEGI. México

Consejería de Economía y Hacienda. *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. España. 2015

Curso Sarmiento J. M. *Procesos de segmentación de nubes de puntos*. Universidad Politécnica de Cataluña. Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad. España. 2012

Díaz, J. *Lidar en ArcGIS*. ESRI Colombia

García, J. C. DielmoOpenLiDAR. *Control de calidad de datos Lidar y generación de productos finales*. DIELMO. España

Jaspe Villanueva, A. *Sistema multirresolución para el tratamiento de grandes datasets de nubes de puntos 3D*. Universidad de Santiago de Compostela. España. 2012

Manual Pix4D Mapper. Pix4D SA.

Perez A. Michael. Wesley C. Zech. Wesley N. Donald. *Using unmanned aerial vehicles to conduct site inspections of erosion and sediment control practices and track project progression*. Transportation Research Record No. 2528 Washington D.C. USA. 2015

Salinas Castillo, W. E. Paredes Hernandez, C. U. Martínez Becerra, X. Guevara Cortina, F. *Evaluación de la exactitud posicional vertical de una nube de puntos topográficos lidar usando topografía convencional como referencia*. *Investigaciones Geográficas*, Boletín, Num. 85. Instituto de Geografía, UNAM, México. Pp. 5-17. 2014

San José Albacete, A. Mauro Gutiérrez, F. *Metodología para procesar datos Lidar con ArcGIS Desktop 10*. Universidad Complutense de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. España, 2011

Ligas de interés:

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/lidar.aspx>

<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>



Km 12+000 Carretera Estatal 431 "El colorado-Galindo"
Parque Tecnológico San Fandila
Mpio. Pedro Escobedo, Querétaro, México
CP 76703
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>