

**Vehículos aéreos no tripulados (UAV) para la digitalización de modelos hidráulicos de
agua potable, alcantarillados y cuencas**

Richard Alonso Arenas Hernández

Juan Pablo Cala García

Diplomado en Ingeniería Ambiental y Herramientas Aplicadas en Recursos Hídricos

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Civil

Pamplona Norte de Santander

2022

**Vehículos aéreos no tripulados (UAV) para la digitalización de modelos hidráulicos de
agua potable, alcantarillados y cuencas**

Richard Alonso Arenas Hernández

Juan Pablo Cala García

Monografía de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Sánchez Tapiero Diego Iván

Ingeniero Civil

Universidad de Pamplona

Facultad de ingenierías y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Civil

Pamplona Norte de Santander

2022

DEDICATORIA

Dedicado primeramente a Dios, luego a mi madre María Fabiola Hernández por alentarme y apoyarme en completar este proyecto de vida, a Carlos Hernández por estar presente en los distintos procesos, mi novia Adriana Rojas por motivarme y ayudarme en esta etapa, por último, a amigos y quienes me colaboraron y me acompañaron durante mi proceso académico.

Richard Alonso Arenas Hernández

AGRADECIMIENTOS

Yo, RICHARD ALONSO ARENAS HERNÁNDEZ y JUAN PABLO CALA GARCIA,
quiero dar mis agradecimientos a:

La UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, institución educativa que me acogió y me dio la
oportunidad de pasar por esta casa de estudio.

Al ingeniero, DIEGO IVÁN SÁNCHEZ TAPIERO, director de trabajo de grado.

Y por último a todos y cada uno de los docentes y profesionales de la UNIVERSIDAD DE
PAMPLONA, que dieron y aportaron sus conocimientos durante mi etapa académica de forma
ética y profesionalmente.

TABLA DE CONTENIDO

NOTA DE ACEPTACIÓN.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	9
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN	14
1. Topografía	15
1.1. Herramientas topográficas	16
1.2. Ramas de la topografía.....	17
1.2.1. La Geodesia	17
1.2.2. La Fotogrametría.....	18
1.2.3. La Topografía Plana.....	27
1.3. Importancia de la topografía	28
2. Vehículos Aéreos No Tripulados	29
2.1. Clasificación de los UAV	30
2.1.1. Según su tamaño	30
2.1.2. Según su sustentación	31
2.1.3. Según su tipo de motor	33
2.1.4. Según su número de hélices.....	35
2.2. Aplicaciones.....	36
2.2.1. Control de obras civiles y / o de infraestructura	36
2.2.2. Monitoreo en parques naturales	37
2.2.3. Agricultura	37

2.2.4.	Militarmente.....	38
3.	Drones y Topografía.....	38
3.1.	Ventajas de usar drones pares realizar levantamientos topográficos.....	39
3.1.1.	Reduce el tiempo de campo y los costos del levantamiento topográfico	39
3.1.2.	Proporciona datos precisos y exhaustivos.....	39
3.1.3.	Mapea áreas que de otro modo serían inaccesibles	39
3.2.	Digitalización de redes.....	41
3.2.1.	Ortofoto.....	41
3.2.1.	Orto mosaico	42
3.2.2.	Orto fotogrametría digital	43
3.3.	Paso a paso de una digitalización de datos	44
3.3.1.	Importación de fotos	45
3.3.2.	Foto control	45
3.3.3.	Orientación de fotos.....	47
3.3.4.	Nube de puntos	47
3.3.5.	Generación de la malla.....	48
3.3.6.	Modelo digital de elevación.....	48
3.3.7.	Modelo digital de terreno.....	49
3.3.8.	Ortofotomosaico	50
3.3.9.	Exportación a AutoCAD Civil 3D.....	51
3.4.	El Modelo Digital de Terreno (MDT)	51
3.5.	El Modelo Digital de Elevaciones (MDE).....	53
3.5.1.	Estructuras de codificación de la elevación	53
3.5.2.	Métodos de generación de modelos digitales de elevación	54
3.5.3.	Validación de un Modelo Digital de Elevaciones (Detección y corrección de errores)	55

3.6.	Red hidráulica en Epanet a partir de un modelo digital de elevación (DEM)	56
3.7.	Modelamiento hidráulico con IBER	63
3.8.	Red de distribución de agua a partir de un MDE en Qgis y plugin Qwater	68
3.8.1.	Preparación de Qgis	68
3.8.2.	Trazado de la red.....	69
3.8.3.	Cálculo de la demanda	71
3.8.4.	Simulación preliminar de la red.....	72
3.8.5.	Optimización de diámetros de la red	73
3.9.	Ventajas del modelado de sistemas hidráulicos	74
Conclusiones		75
Referencias.....		76

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Herramientas topográficas.....	16
Ilustración 2 Interfaz Agisoft PhotoScan	22
Ilustración 3 Interfaz Agisoft Metashape	24
Ilustración 4 Interfaz Pix4d	25
Ilustración 5 Interfaz Autodesk ReCap	26
Ilustración 6 Interfaz Trimble Inpho	27
Ilustración 7 Ejemplos de clasificación UAV	31
Ilustración 8 Drone de alas fijas y sus partes	32
Ilustración 9 Drones de ala rotatoria (partes)	33
Ilustración 10 Tabla comparativa motores Brushless y Brushed	34
Ilustración 11 Tipos de drones según su tipo de hélices	36
Ilustración 12 generación de MDE.....	41
Ilustración 13 Parámetros para la generación del orto mosaico.....	42
Ilustración 14 Ejemplo final de ortofoto	43
Ilustración 15 Procesamiento digital.	44
Ilustración 16 Calibración de la cámara.	45
Ilustración 17 Puntos de fotocontrol.	46
Ilustración 18 Puntos de control.....	46
Ilustración 19 Marcador de control sobre la imagen.....	46
Ilustración 20 Orientación y nube de puntos dispersa.....	47
Ilustración 21 Nube densa de puntos.....	48
Ilustración 22 Malla de puntos	48
Ilustración 23 Modelo Digital del Elevaciones	49

Ilustración 24 Modelo Digital de Terreno escala de colores.....	49
Ilustración 25 Curvas de nivel.....	50
Ilustración 26 Ortofotomosaico.....	50
Ilustración 27 Planta MDT en software AutoCAD Civil 3D.....	51
Ilustración 28 procesamiento de información fotogramétrico	56
Ilustración 29 Pasos para la digitalización de redes	57
Ilustración 30 modelo digital de elevación en ArcMap	63
Ilustración 31 modelo digital de elevación en IBER.....	64
Ilustración 32 red triangular y rectángulos.....	64
Ilustración 33 condiciones hidrodinámicas del modelo	65
Ilustración 34 estudio hidrológico	65
Ilustración 35 histograma en IBER	65
Ilustración 36 polígonos para identificación de zonas	66
Ilustración 37 polígonos como formato DEM.....	66
Ilustración 38 hoja de cálculo Excel.....	67
Ilustración 39 apertura de archivo rugosidad	67
Ilustración 40 vista final de la modelación en IBER.....	67
Ilustración 41 datos del modelo.....	67
Ilustración 42 cálculos de la moderación	67
Ilustración 43 preparación de Qgis.....	69
Ilustración 44 habilitación etiqueta reservorio	70
Ilustración 45 habilitación etiqueta nodos.....	70
Ilustración 46 tabla de atributos de tuberías.....	71
Ilustración 47 ejemplo tabla demanda de nodos	72
Ilustración 48 informe simulación de red.....	72

Ilustración 49 tabla de diámetros optimizados	73
Ilustración 50 interfaz final de red de distribución de agua	73

RESUMEN

El objeto de estudio de esta investigación es la digitalización de modelos hidráulicos de redes de agua potable, como también alcantarillados y cuencas a partir de vehículos aéreos no tripulados (UAV), a través de modelación de datos obtenidos por medio de drones, que, a través de investigaciones teóricas de estas aplicaciones, nos dirán de qué manera y cómo funciona la digitalización de datos, para de esta forma trazarnos modelos o simulaciones de redes hidráulicas.

Se explicarán los principales vehículos aéreos no tripulados (UAV) el modo en el cual estos operarán y se compararán distintas aplicaciones de los mismos, así mismo se harán ciertas recomendaciones para priorizar una excelente obtención y desarrollo de datos.

Por último, se describirá el proceso utilizando softwares con la finalidad de saber la actividad y desarrollo de los componentes de las distintos modelos, de esta forma conocer datos prioritarios como lo es la precisión, velocidad, margen de error y demás características que me determinen las ventajas y desventajas de los (UAV).

Palabras clave: Digitalización, Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV), Softwares, Drones, Modelos.

ABSTRACT

The object of study of this research is the digitization of hydraulic models of drinking water networks, as well as sewers and basins from unmanned aerial vehicles (UAV), through data modeling obtained by drones, which, through theoretical investigations of these applications, will tell us how and how data digitization works, in order to draw models or simulations of hydraulic networks.

The main unmanned aerial vehicles (UAV) will be explained, the way in which these will operate and different applications of these will be compared, as well as certain recommendations will be made to prioritize an excellent data collection and development.

Finally, the process will be described using software in order to know the activity and development of the components of the different models, in this way to know priority data such as accuracy, speed, margin of error and other characteristics that determine the advantages and disadvantages of (UAV).

Key words: Digitalization, Unmanned Aerial Vehicles (UAV), Software, Drones, Models.

INTRODUCCIÓN

El uso de los vehículos aéreos no tripulados (Unmanned Aerial Vehicle UAV) ha representado un avance tecnológico que brinda soluciones y hace más fácil el cumplimiento de algunas actividades en muchos campos en la ingeniería y demás campos afines. Por lo tanto, es fundamental crear la apertura de nuevas investigaciones que permitan mejorar esta área del conocimiento. Es por esto que la presente tiene como finalidad recopilar definiciones e investigaciones basadas en diferentes autores para hablar acerca de los UAV y su importancia para la digitalización de recursos hídricos, ya que su uso se ha incrementado durante los últimos años en razón a sus beneficios de costos y tiempo, puesto que los minimiza y acceso puesto que permite acceder a terrenos difíciles, ya sea por su ubicación o por sus dificultades climatológicas. Para ello, se hará una explicación desde lo más general hasta lo más específico, tal como las definiciones de topografía, su importancia, clasificación y software de digitalización, así como la definición de los UAV, su clasificación, aplicaciones e importancia teniendo en cuenta su impacto en la ingeniería civil, siendo una herramienta fundamental para el levantamiento topográfico de recursos hídricos mediante su uso, generando un impacto en la topografía que se conoce tradicionalmente.

Para recopilar dicha información en este documento se usará el apoyo artículos, investigaciones, tesis y revistas, teniendo en cuenta algunos levantamientos de topografía realizados con UAV en Colombia y otras partes del mundo y de esta manera usar información verídica en base a la definición de diferentes autores, en definitiva, esta investigación muestra la importancia de esta herramienta, proyectando un gran desarrollo para el campo de la ingeniería civil.

1. Topografía

Hacer una representación gráfica de superficies terrestres es un trabajo que necesita de algunos instrumentos y requerimientos especiales, llegando de esta manera a la topografía. Esta disciplina es indispensable en campos que están vinculados con la cartografía, la geografía, la oceanografía, la arquitectura e incluso la arqueología o la paleontología.(Ingeoxoert, 2021)

“El origen de la topografía proviene de «topo» para «lugar» y «graphia» para «escritura». Está relacionado con la geodesia y la topografía los cuales se encargan de determinar la superficie, área y extensión de la tierra, y con la geografía y los sistemas cartográficos como el SIG” (Gabri, 2019). Aunque no se sabe con certeza cuándo se creó esta ciencia, según parece los primeros trabajos topográficos se realizaron en el Antiguo Egipto. Mientras otros dicen que esto fue en Grecia, bajo la dirección de las cartas geográficas de Mileto y Anaximandro.

Según Ecomexico (2017) la topografía es el conocimiento el cual es el encargado de estudiar distintas técnicas que son usados para establecer cuáles son las ubicaciones relativas de los puntos en la superficie de la tierra y bajo esta, haciendo uso de la mezcla entre dimensiones conforme tres componentes tan importantes como lo son la elevación, la distancia, y la dirección. De manera que la topografía al ser una ciencia que tiene como fin de medir la superficie de la tierra, se encuentra dividido en tres principales ramas:

1. Planimetría: la cual se encarga de métodos o el proceso que se lleva a cabo para localizar los puntos deseados sobre un plano.
2. Altimetría: la cual se encarga de determinar diferencias en el terreno examinado, por ejemplo, en el caso de las desigualdades en cuanto a la altura de los puntos del terreno

3. Taquimetría: esto hace referencia a realizar en conjunto la planimetría y la altimetría para de esta manera poder analizar las tres dimensiones y localizar de manera más ágil y eficiente los puntos del terreno en tres dimensiones

1.1. Herramientas topográficas

Las herramientas topográficas son aquellas que hacen posible o facilitan el proceso de levantamiento topográfico y estos son clasificados en tres categorías según el tipo de medición a realizar, entre ellas encontramos:

- Medición de ángulos: entre ellos podemos encontrar el tránsito, el teodolito y la brújula.
- Medición de distancias: entre ellos podemos encontrar el distanciómetro, la cinta métrica, y el odómetro.
- Medición de pendientes: entre ellos podemos encontrar el basculante, el nivel de mano, el nivel de riel o el nivel fijo.



Ilustración 1 Herramientas topográficas

Fuente: (Blogger, 2016)

1.2. Ramas de la topografía

1.2.1. *La Geodesia*

La geodesia es una ciencia la cual se encarga de examinar la superficie de la tierra, tanto su forma como dimensiones y formas naturales y artificiales de manera parcial y global. Además, “la geodesia se ocupa de medir amplias extensiones de terreno, por ejemplo, como realizar la carta geográfica de un país, para construir tanto las fronteras como los límites interiores, para poder determinar líneas de acceso o permiso de navegación en lagunas o ríos, entre otros” (Ecomexico, 2017). Para realizar los levantamientos se debe considerar la verdadera forma de la tierra de manera precisa. Además, si la zona que se está tratando no es tan extensa, dicha precisión será más acertada teniendo en cuenta a la tierra como un círculo perfecto, no obstante, si la superficie es demasiado extensa, es necesario acoger la forma real de elipse de la superficie de la tierra. Es por esto que cuando se hacen los levantamientos de ciudades, por ser terreno tan extenso, estos se hacen considerando que la tierra posee forma esférica. De manera que, gracias a estas características, este tipo de levantamiento se ha llegado a considerar como uno de alta precisión puesto que a la vez permite establecer cada uno de los trazos de inspección primario, también considerados trazos geodésicos, los cuales tienen una vital importancia porque se constituyen a su vez como puntos de apoyo y de referencia para realizar otros levantamientos de inferior exactitud. De manera que, “los puntos geodésicos precisados como en el caso de los vértices de triangulación, se encargan de establecer una red que podría referir o sugerir otro levantamiento sin miedo a equivocarse ya sea en dirección o distancias horizontal o vertical, resultante de la divergencia entre la superficie de antecedente y la superficie real de la tierra” (Anat, 2015)

1.2.2. La Fotogrametría

“La fotogrametría es una técnica que se encarga de producir mapas o planos de amplias extensiones de terreno con ayuda de la fotografía aérea” (Borja et al., 2021). Esta disciplina tiene un amplio uso para aplicaciones en distintas disciplinas científicas e industriales como Obras Civiles, Catastro, Geofísica, Geotecnia, Geología, Arqueología, entre otros. y además, se ha ido perfeccionando con el pasar de los años con el fin de hacer mayores precisiones y tener nuevas aplicaciones que van desde la innovación con el uso de UAV y cámaras con una alta resolución, hasta la integración de tecnologías tales como el LIDAR (Light Detection And Rang), así como avances en software y algoritmos de interpretación y generación de resultados.

De manera que en términos simples y una descripción general, la fotogrametría como disciplina permite obtener mapas de los terrenos en base a las fotografías. Dichas fotografías de los terrenos son captadas con aparatos especiales como cámaras u otros instrumentos sensores que permiten obtener la información, datos y mediciones específicas y verídicas. Además, estas imágenes pueden ser captadas desde aviones o medios de transporte voladores, a lo cual también se le conoce como fotogrametría aérea. Por otro lado, estas imágenes también pueden ser captadas desde puntos elevados del terreno a lo cual también se le puede conocer como fotogrametría terrestre los cuales tienen su utilización en labores topográficas. Para esto, se emplean los ideales que se tienen en cuenta de la perspectiva para realizar la proyección sobre planos a escala, y a cada uno de los pormenores que se encuentren en las imágenes. Según Pérez (2001) para poder realizar trabajos la fotogrametría aérea es una excelente opción porque el basarse en fotografías captados desde dispositivos aéreos debidamente provisionados para la

labor, haciendo una mezcla de otros métodos para establecer posiciones de control y de esta manera obtener proyecciones reales del terreno.

Por lo tanto, la fotogrametría tiene excelentes ventajas pues permite que los trabajos se realicen rápidamente y obtener datos en sitios con un difícil acceso y así profundizar en cada pormenor. Además, en cuanto a aplicaciones, esta disciplina es usada por fuerzas armadas, para levantamientos de topografía, proyectos de vías, acueductos, canales y estudios urbanismo, tránsito, entre otros.

Pese a que la fotogrametría terrestre ha reducido su aplicación, esta compone un gran recurso asistente para los levantamientos de topografía tradicionales, ya que el levantamiento se realiza en base a las fotografías captadas desde estaciones situadas en el terreno, y esencialmente en el trazo de los planos en menos escala en relieves montañosos y también para realizar levantamientos cuando ocurran accidentes en carreteras. Para realizar esta labor se debe tomar la fotografía desde dos o más estaciones que ya han sido adecuadas y usarlas para conseguir los pormenores de la superficie que sea fotografiada, tanto en planta como en contorno o alzado.

Hoy en día se han desplegado diversas clases de fotogrametría y entre ellas podemos encontrar la fotogrametría satelital, la cual permite determinar la posición de diferentes terrenos haciendo uso de imágenes de satélite para poder medir y mapear extensas superficies en la tierra. También podemos encontrar la fotogrametría inercial y los sensores remotos, estos pueden tener usos específicos principalmente para realizar estrategias militares o para realizar seguimiento a itinerarios de transporte en grandes distancias. En la actualidad existen multitud de softwares que son usados para procesar las imágenes e información de campo, estos pueden variar según su localización y marca de fábrica, entre estos podemos encontrar:

1.2.2.1. Agisoft PhotoScan.

Agisoft PhotoScan es una herramienta que posibilita agregar fotografías aéreas tomadas con la ayuda de drones y de esta manera iniciar un desarrollo de reintegración por coincidencia espacial de fotografías entre los componentes interpretados en cada fotografía o imagen. De esta forma se facilitaría la visualización de la altura de las fotografías realizadas, así como la constitución de la representación espacial de todos los objetos visualizados en el terreno originando volúmenes. (Gis&Beers, 2016)

Agisoft PhotoScan es un programa que facilita y realiza el proceso de imágenes digitales, haciendo una combinación de la fotogrametría digital con la visualización por computadora, produciendo una construcción tridimensional del entorno (Agisoft, 2017)

Existe una versión profesional y otra estándar. La primera se diseñó para aquellas personas casuales que quieran generar nubes de puntos en función de múltiples imágenes. Por otro lado, la versión profesional trae consigo funciones especiales las cuales ayudan a generar productos geomáticos.

1. Lo primero que debemos hacer es añadir las fotografías obtenidas por el dron, esta desde la pestaña flujo de trabajo del programa.
2. seguido de estos nos arroja unos puntos o coordenadas, lo cual observamos en la ubicación de la antena dentro del GPS; luego lo que debemos realizar es el cambio de coordenadas de los puntos a la que más nos favorezca o sea necesario en el proyecto que se esté trabajando.

3. Luego de haber georreferenciado los puntos se procede a hacer la orientación de las fotos obtenidas del dron donde podemos elegirla precisión, al momento de elegir la precisión de debe tener en cuenta la cantidad de puntos de control que vamos a tener.
4. Al haber hecho orientación nos arroja unos puntos ya alineados, lo cual se considera como la nube de puntos dispersa, en este paso nos puede dar un cierto margen de error donde debemos corregirlo.
5. Para corregirlo debemos importar el archivo en el cual estamos trabajando que será un archivo .txt para de esta forma corregir y el cual nos denotará unos puntos de control, que entre más puntos hallan mejor la precisión y calidad del proyecto.
6. Luego debemos asegurar que los puntos de control estén bien ubicados mediante los puntos de referencia que se denotaron durante el vuelo del dron, para que podamos luego reducir el margen de error y nos dé una nube de puntos densa donde se observa mejor el mapeo del lugar.
7. Después crearemos el modelo digital de elevaciones, debemos seleccionar la nube de puntos densa para que el DEM, nos quede con mucha más calidad y de esta forma ya tenemos el archivo para trabajar en un SIG.
8. También es importante crear el orto mosaico el cual nos muestra como se ve nuestro proyecto ya de una manera más real y simulando de manera casi exacta las imágenes tomadas a través del dron.
9. Por último, solo queda guardar el archivo TIFF, para abrirlo con programas ya de georreferenciación para luego hacer un trazado o diseño hidráulico.

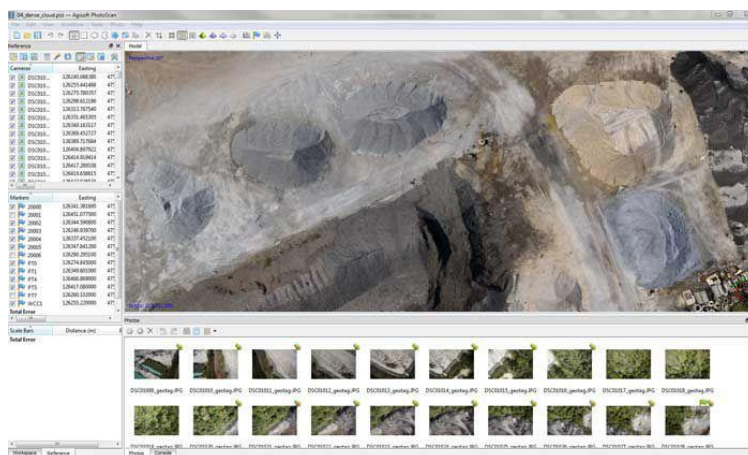


Ilustración 2 Interfaz Agisoft PhotoScan

Fuente: (Direct Industry, 2022)

1.2.2.2. Agisoft Metashape.

Agisoft Metashape es una herramienta de software que se encarga de realizar los procesamiento de fotogrametría de datos espaciales en 3D o las imágenes digitales para poder ser usadas en aplicaciones como SIG.

De manera que esta puede ser una técnica fotogramétrica digital que si se implementa o aplica correctamente con diferentes técnicas de visualización por ordenador puede tener como efectos un sistema que realiza los procesos de manera automática e ingeniosa que podría ser tramitado por algún principiante en todo lo referente a la fotogrametría. También tiene numerosas ventajas para los especialistas ya que podrían adecuar la afluencia del trabajo a diversas tareas características y a diversos tipos de información. Según diferentes investigaciones, la herramienta Metashape ha demostrado que sus resultados son precisos y de calidad.

“Si se procesan imágenes aéreas, Metashape ayuda a producir Ortofotos georreferenciadas de alta resolución y representaciones de raster texturizados con detalles de una alta calidad. La labor

es automática y procesa un gran número de fotografías aéreas, adquiridas por un UAV”

(Quinillo, 2019). De manera que la herramienta Metashape tiene la capacidad de procesar diferentes tipos de imágenes, desarrollando de esta manera modelos de dispersión, medición de longitudes, áreas y volúmenes, y creación de mallas tridimensionales, las cuales se pueden exportar a diversos formatos.

1. Primero deben irse a flujo de trabajo y añadir las fotografías capturadas mediante el dron, las fotografías correspondientes al área de estudio (vamos a tener el sistema de coordenadas geográficas por defecto) estas deben convertirse al sistema UTM mediante la opción convertir coordenadas y vamos a escoger la zona dependiendo el lugar donde nos encontremos.
2. Ir a flujo de trabajo y orientar las fotografías, lo que hace el programa es orientar y alinear las fotos según los píxeles que tengan en común. (se recomienda usarla calidad máxima en este paso ya que vamos a tener una mejor georreferenciación de las fotografías)
3. Una vez terminada la orientación vamos a obtener una nube de puntos dispersa del terreno y ya con las fotografías alineadas y orientadas)
4. El siguiente paso en caso de que se tengan puntos de control sería cargar los puntos de control y seleccionar las fotografías donde se encuentran cada punto de control
5. A continuación, se hace la creación de una nube de puntos densa
6. Si se necesita un modelo digital tridimensional el siguiente paso sería crear la malla y textura

7. El siguiente paso sería guardar el archivo, ir al flujo de trabajo y se crea un moldeo digital de elevación. Allí nos dice el sistema de coordenadas en el que está, cuál es el dato fuente a partir del cual se va a crear el modelo digital de elevación, clase de puntos y la resolución que vamos a obtener. Damos clic en aceptar y se empezará a procesar el modelo digital de elevación. El modelo digital de elevación que se obtiene es una capa raster de toda la superficie del terreno incluyendo todos sus elementos.
8. Como último paso nos vamos a flujo de trabajo y vamos a crear el orto mosaico. Una vez creado seleccionamos el orto mosaico, Damos clic derecho y “exportar orto mosaico” con la extensión TIFF/Geo TIFF para que el producto final este georreferenciado y podamos abrir luego un sistema GIS, ya sea QGIS o ArcGIS.

La interfaz de Agisoft Metashape se puede observar de la siguiente manera:

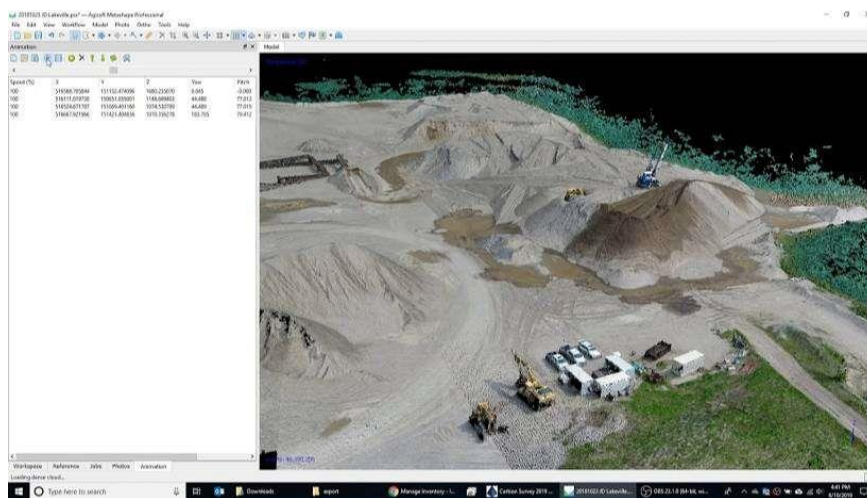


Ilustración 3 Interfaz Agisoft Metashape

Fuente: (Ghostsky, 2022)

1.2.2.3. Pix4d.

De acuerdo con GeoSpatial (2013) esta herramienta toma fotografías adaptadas. El software se ha encargado de crear importantes apps para celulares de sistema operativo Android o iOS convirtiendo a los drones que se usan como hobbies o recreación, en drones de uso profesional u laboral. Es por esto que se le ha llegado a considerar como un software guía en la fotogrametría en base al uso de UAV, dado que esta herramienta brinda soluciones de manera profesional para áreas importantes como la topografía, ingeniería, construcción, agricultura, entre otros.

Es un sistema perfecto, completo y adaptable pues incorpora la organización del vuelo, obtención de imágenes, procesamiento de datos tanto en el ordenador como en la nube. Por lo cual trabaja como plataforma colaborativa en línea en la que se pueden compartir los proyectos ya sea con algún equipo de trabajo o con clientes. “Pix4Dmapper puede transformar las imágenes o fotografías en mapas o modelos 2D y 3D con referencias geográficas con una precisión muy alta, además, estos pueden ser editados según la funcionalidad que se le desee dar, y a su vez pueden complementar otros software o herramientas” (ACRE, 2022). La interfaz de Pix4d se puede observar de la siguiente manera:

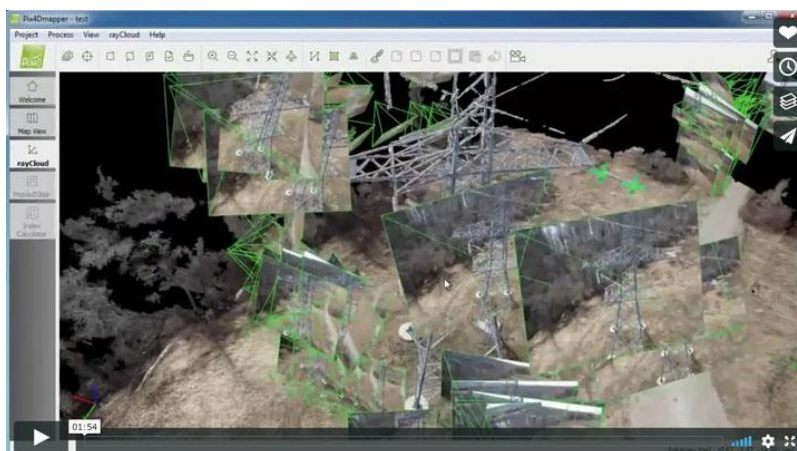


Ilustración 4 Interfaz Pix4d

Fuente: (Vertical spect, 2016)

1.2.2.4. Autodesk ReCap.

Según Autodesk (2021) “esta herramienta está constituida por una amplia gama de software y servicios para proveer la fluidez del trabajo y de esta manera consentir la manipulación de los datos adquiridos en base a las fotografías y nubes de puntos para la generación de los modelos e imágenes 2D y 3D o”. De manera que el software Autodesk ReCap es una herramienta que puede ayudar tanto a diseñadores como ingenieros a realizar modelos de alta calidad con muchos detalles de activos del mundo real como mallas texturadas geolocalizadas, nubes de puntos y ortofotos de las condiciones halladas a partir de las fotografías e información captadas por los drones o UAV. Este software puede ser dividido en dos principales aplicaciones que son:

- Autodesk ReCap Pro: que se encarga de obtener y manipular las nubes de puntos y de esta manera dar lugar a medidas para poder pasar la información a otras herramientas como, por ejemplo, 3D studio Max o AutoCAD.
- Autodesk ReCap Photo: que se encarga de crear modelos en base a las imágenes, fotografías y tanto manipulación como edición de los modelos.

La interfaz de Autodesk ReCap se puede observar de la siguiente manera:

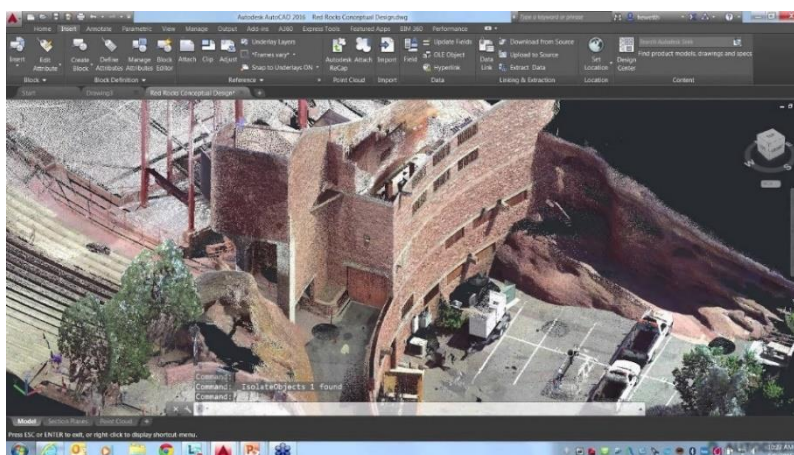


Ilustración 5 Interfaz Autodesk ReCap

Fuente: (Autodesk ReCap, 2015)

1.2.2.5. Trimble Inpho.

Según GeoSpatial (2022) este software "tiene un diseño que tiene como objetivo principal transformar de manera precisa las imágenes o fotografías aéreas en modelos de área y nubes de puntos exactos y homogéneos, diseños de ortofotos y cualidades digitalizadas en 3D por medio de métodos de fotogrametría y teledetección novedosos y recientes". De manera que esta es la herramienta adecuada para realizar el procesamiento completo de datos con ayuda de los vehículos aéreos no tripulados (UAV). La interfaz de Trimble Inpho se puede observar de la siguiente manera:

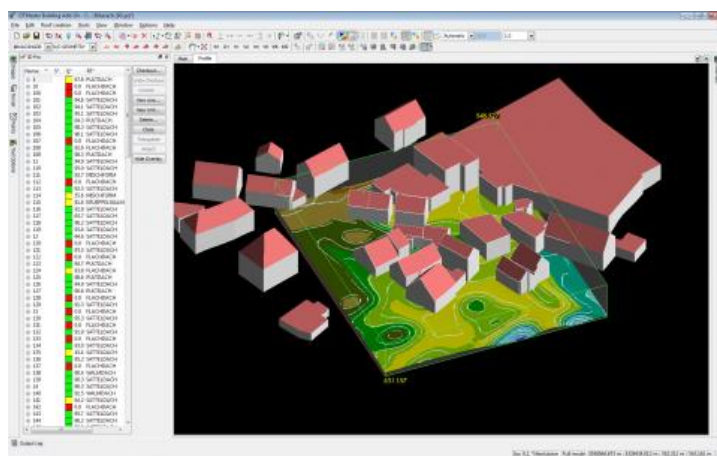


Ilustración 6 Interfaz Trimble Inpho
Fuente: (Datum Ingeniería, 2022)

1.2.3. La Topografía Plana

Según Ecomexico (2017) la topografía plana tiene el mismo objetivo que los levantamientos geodésicos, sin embargo, tiene una diferencia en cuanto a los métodos empleados, la magnitud y precisión. Este tipo de topografía principalmente se encarga de medir terrenos pequeños como lotes o parcelas los cuales se proyectan en un plano horizontal, teniendo en cuenta los impactos de la curvatura en el terreno.

En general, los proyectos en la ingeniería donde se deben realizar levantamientos son de este tipo puesto que "los desaciertos realizados al no considerar la curvatura del terreno son despreciables y el nivel de exactitud adquirido queda en el interior de los márgenes aceptables desde una perspectiva práctica" (Ecomexico, 2017). Por ende, se podría considerar otro tipo de levantamientos cuando las superficies son muy grandes porque allí es cuando solamente debe considerarse la forma real de la tierra para que su ejecución y resultados tengan una alta precisión. En el caso de que se deba determinar alturas, aunque los resultados no requieran de una alta precisión, no se debe despreciar la curvatura terrestre.

1.3. Importancia de la topografía

En ingeniería civil es importante entender a la perfección los conceptos básicos de topografía y cómo realizar levantamientos topográficos, es fundamental. Es una etapa muy importante antes de iniciar una construcción. Es fundamental hacer levantamientos topográficos antes de la construcción de la obra, así como durante y después, tal como en el caso de la construcción de carreteras, vías férreas, puentes, edificaciones, canales, represas, entre otros.

Antes de desarrollar un terreno propuesto, es fundamental considerar todos los factores debajo y alrededor de la topografía del terreno para trazar un plan de desarrollo exitoso. Los levantamientos topográficos brindan información detallada y precisa y datos integrales que ayudan a eliminar los riesgos y la probabilidad de falla una vez que comienza el proyecto de construcción o excavación. Evita gastos y retrasos innecesarios y a su vez asegura que no haya contratiempos importantes durante la fase de construcción.

Según GTS (2021) Para el campo de la ingeniería, los levantamientos topográficos son de gran ayuda. Estas encuestas les ayudan a determinar los cambios que deben realizarse en un

terreno antes de comenzar el trabajo de construcción. Esto proporciona una mejor estabilidad para dicho proyecto. También incluye investigaciones geotécnicas. Los ingenieros civiles utilizan mapas topográficos para determinar dónde y hasta dónde deben llegar las carreteras, los túneles o los puentes. Además, al planificar un proyecto de vivienda o hacer caminos, un ingeniero debe decidir cuánta tierra o tierra se necesita para equilibrar la elevación de la parcela para hacer una base uniforme.

2. Vehículos Aéreos No Tripulados

Un vehículo aéreo no tripulado es una aeronave que es manejada con la ayuda de un control remoto. Esta es su definición general, sin embargo, existen otros conceptos para hacer referencia a este tipo de aeronaves:

- Drone es la denominación más popular para hacer referencia a las aeronaves no tripuladas. El origen de esta palabra viene del inglés “drone” y su significado es “zángano”.
- RPA o RPAS las cuales son las siglas en inglés de Remotely Piloted Aircraft y Remotely Piloted Aircraft System. Estos conceptos se refieren al control remoto de las aeronaves no tripuladas.
- UAV o UAS las cuales son las siglas en inglés de Unmanned Aerial Vehicle y Unmanned Aerial System. Estos conceptos se refieren a la ausencia de un piloto que se encuentre a bordo de la aeronave.

Según Garcia (2017) "los vehículos aéreos no tripulados UAV cuyo significado de siglas en inglés es “Unmanned Aerial Vehicle” o también llamados sistemas aéreos no tripulados UAS cuyo significado de siglas en inglés es “Unmanned Aerial Sistem” los cuales en español también

son conocidos por sus siglas VANT o drones, son vehículos aéreos que no necesitan tener a bordo tripulación humana para volar".

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) son aeronaves autónomas que son guiadas con la ayuda de controles remoto, además, puede llevar consigo sensores, visualizadores de objetivos, municiones ofensivas o transmisores electrónicos que son diseñados para interponer o acabar objetivos de enemigos. Como los UAV no tienen tripulación, pueden tener mayor eficiencia en cuanto a las prácticas de soporte vital y los requisitos de seguridad de diseño que deben tener este tipo de aeronaves, ya que esto principalmente permite ofrecer una resistencia y un alcance mayor en comparación a los demás sistemas tripulados equivalentes. Por ende, se puede deducir que los UAV cada vez se van integrando más en los espacios aéreos actuales, suministrando información y datos importantes y asean de vigilancia, de inteligencia o de reconocimiento tanto para aplicaciones militares como para aplicaciones civiles.

2.1. Clasificación de los UAV

No existe un estándar único cuando se trata de la clasificación de UAV. Las agencias de defensa tienen su propio estándar, y los civiles tienen sus categorías sueltas en constante evolución. Las personas los clasifican por tamaño, alcance y resistencia, y utilizan un sistema de niveles que emplean los militares. Para la clasificación según el tamaño, se pueden presentar las siguientes subclases:

2.1.1. Según su tamaño

- UAV Micro o Nano. Pueden tener el tamaño de un insecto no tan pequeño.
- UAV Mini. Pueden tener un tamaño por debajo de los dos metros.
- UAV medianos.

- UAV grandes. Estos a menudo son usados con fines militares o de vigilancia.



Ilustración 7 Ejemplos de clasificación UAV

Fuente: (Cómofuncionaqué, 2022)

2.1.2. Según su sustentación

Los vehículos aéreos no tripulados o drones según su sustentación pueden ser divididos en dos categorías según su tipo de ala: de ala fija o de ala rotatoria.

2.1.2.1. Drones de ala fija.

Estos drones poseen una forma aerodinámica, como por ejemplo tal como un avión de manera que para que estos puedan despegar suelen ser lanzados con la mano. Es por esto que tienen la capacidad de producir sustentación y permanecer en el aire a lo largo de varias horas, por lo tanto, en el caso de la realización de mapeados lo hace una herramienta ideal.

Sin embargo, una de sus desventajas es que si se van a desarrollar trabajos que requieran una imagen fija como por ejemplo en el caso de mapeados esta herramienta no es la adecuada debido a que el diseño que poseen no permite hacer vuelos estacionarios, es decir, no permite mantenerse fijo en algún punto. Para comprender mejor el funcionamiento de los drones de alas fijas a continuación se pueden observar sus partes.

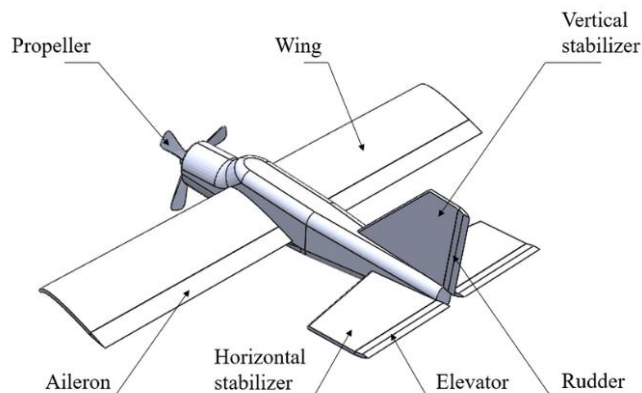


Ilustración 8 Dron de alas fijas y sus partes

Fuente: (Cui, 2020)

2.1.2.2. Drones de ala rotatoria.

A estos drones también son denominados multirrotores y son los más populares al vuelo estacionario gracias a sus motores los cuales pueden variar y que permiten tener una imagen fija y sólida. La utilización de este tipo de drones ha representado un gran desarrollo en muchos ámbitos o campos en los cuales se requieren cámaras como en el caso de grabación de películas, vigilancia, entre otros.

Estos drones son los más populares y los que en la actualidad son mayormente vendidos. Estos drones tienen una gran estabilidad y consiguen la sustentación gracias a las múltiples hélices que posee en cada extremidad. Cada una de estas hélices son impulsadas por un motor y esto principalmente es lo que les posibilita una mayor estabilidad durante los vuelos. Para comprender mejor el funcionamiento de los drones de alas rotatoria a continuación se pueden observar sus partes.

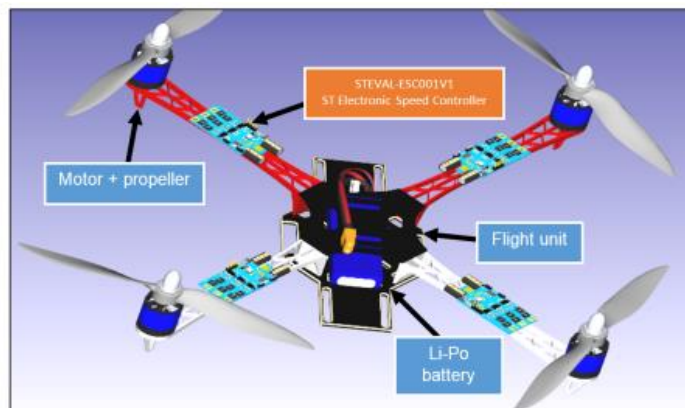


Ilustración 9 Drones de ala rotatoria (partes)

Fuente: (st, 2021)

2.1.3. Según su tipo de motor

Los drones pueden tener dos tipos diferentes de motores, entre ellos podemos encontrar los motores brushless y los motores brushed.

2.1.3.1. Motores de drone Brushed.

Estos tipos de drones se conocen porque no poseen escobillas. Por lo tanto, a menudo los drones que usan este tipo de motores son aquellos que son usados para actividades de pasatiempo. No obstante, aunque estos sean motores tengan un precio más económico, necesitan de un constante mantenimiento a diferencia de los motores brushless.

Su potencia no varía, es decir que todos los motores de este tipo tienen una misma potencia, lo único que podría variar sería su tamaño, ya que, entre más mayor, mejor potencia. Sin embargo, gran parte de estos motores no tienen ningún tipo de contacto directo con la hélice pues en este caso el motor se encuentra unido a una diminuta rueda dentada la cual tiene como función hacer girar otra rueda más grande y de esta manera hacer mover el motor. Así que gracias a estas dos ruedas dentadas se simplifica la potencia máxima que puede brindar el motor,

y a esto se le conoce como “reductora”. De manera que esto nos auxiliará con la utilización del dron, y dará más tiempo a su vida útil ya que nunca será llevado al límite.

2.1.3.2. Motores de dron Brushles.

A diferencia de los motores Brushed, estos no usan escobillas que tengan algún tipo de conexión con el rotor. Por lo tanto, su funcionamiento es óptimo y muy eficiente, lo cual no hace necesario que se realicen mantenimientos con habitualidad. Además, otra gran diferencia en cuanto a los motores Brushed es la potencia, ya que la potencia de los motores brushless es superior (50-70km/h, frente a los 150-200km/h de un motor brushles).

Sin embargo, la mayoría de estos motores funcionan con la ayuda de una corriente alterna, lo cual requiere que cada motor lleve un control electrónico de velocidad o variador electrónico, que ayude a puntualizar la velocidad de giro de este motor.

A continuación, se presenta una tabla comparativa entre los motores Brushles y Brushed:

	Brushless (sin escobillas)	Brushed (con escobillas)
Motor	Ciclo de vida mayor. Menor mantenimiento.	Ciclo de vida menor. mayor mantenimiento.
Precio	Más caro	Más barato
Eficiencia	Mayor eficiencia	Menor eficiencia
Relación potencia de salida/tamaño	Óptima	Moderada
Velocidad	Mayor	Menor

Ilustración 10 Tabla comparativa motores Brushless y Brushed

Fuente: (Radiocontrolers, 2022)

2.1.4. Según su número de hélices

Los drones también pueden ser clasificados según el número de hélices que tenga. Cada una de estas hélices debe tener un motor y se clasifican de la siguiente manera:

2.1.4.1. Tricóptero.

Estos drones se componen de tres hélices y por lo tanto tres motores: los dos motores de la parte delantera giran en dirección contraria para poder contrarrestarse entre sí, y el motor de la parte trasera opera como un actuador rotativo que le brinda mayor estabilidad al dron durante el vuelo.

2.1.4.2. Cuadricóptero.

Estos drones se componen por cuatro hélices y por lo tanto cuatro motores, uno en cada hélice, estos son los más populares y sobre todo los más vendidos en el mercado.

2.1.4.3. Hexacópteros.

Estos drones se componen de seis hélices y hacen parte de los drones profesionales. Estas seis hélices le brindan una gran estabilidad para hacer tomas aéreas ya sean vídeos o fotografías. Además, aunque estos lleguen a perder algún motor durante el vuelo, al tener esta variedad, se puede tener total seguridad para aterrizar.

2.1.4.4. Octocópteros.

Este tipo de drones tienen una mayor estabilidad, optimización y potencia, ya que esto se los brinda el número de hélices. Sin embargo, es importante considerar que esto también los hará más pesados, haciendo más difícil su manejo en espacios reducidos.

2.1.4.5. Coaxiales.

Estos drones no se caracterizan según el número de hélices sino por el número de motores por hélice. Este tipo de drones poseen dos motores en cada hélice, por lo tanto, pueden soportar más peso que cualquier otro. Por lo cual son una excelente y óptima opción para trabajos profesionales.

A continuación, se ilustran los distintos tipos de drones según su número de hélices:

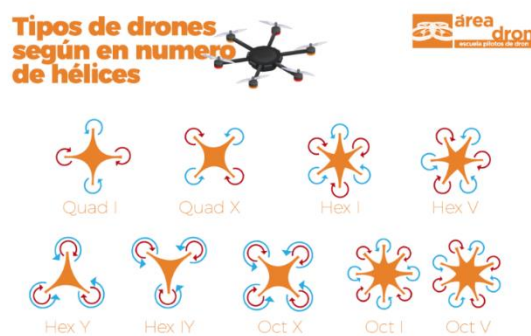


Ilustración 11 Tipos de drones según su tipo de hélices
Fuente: (AreaDron, 2019)

2.2. Aplicaciones

Los UAV han aportado al desarrollo tecnológico. Son diversos los avances que ha logrado la tecnología con los UAV. Según un estudio bibliométrico desarrollado por Montealegre (2017), las principales aplicaciones de los UAV son las siguientes:

2.2.1. Control de obras civiles y / o de infraestructura

Actualmente, muchas empresas de construcción usan drones para supervisar desde el aire las construcciones civiles y de esta manera, por ejemplo, hacerles un seguimiento a los progresos la obra civil, también monitorizar puntos críticos en la obra si es que los hay, y finalmente, realizar

videos corporativos o de publicidad para promocionar tanto su empresa como proyectos. El principal beneficio de estos seguimientos e inspecciones en tiempo real es que esto puede minimizar el tiempo y también se podría analizar fácilmente el impacto ambiental de la obra en general. En el caso del análisis y monitoreo de las zonas difíciles, los drones pueden hacer vuelos que son programados teniendo como auxilio las coordenadas geográficas (GPS) siendo anteriormente definidas, y de esta manera alcanzado una toma de información y datos de campo objetivos. Finalmente, en el caso de los vídeos publicitarios o corporativos, esto puede aportar una ganancia de clientes para la empresa ya que toda publicidad que esté relacionada con tecnología de realidad aumentada ha aptado en los últimos años la atención de los usuarios, ya que permite visualizar desde una mejor perspectiva la infraestructura de las obras civiles.

2.2.2. Monitoreo en parques naturales

Según Montealegre (2017) en este campo, el uso de los UAV ha aumentado para vigilar zonas forestales, monitorizar la fauna y flora, y detectar incendios o desastres naturales que puedan presentarse. Por ejemplo “en Colombia, hay un proyecto de la Unidad de Parques Nacionales Nacionales para observar y controlar con drones el Parque Natural de Chiribiquete, el cual está localizado entre el Guaviare y Caquetá, el cual, a causa a su gran extensión, ha dificultado el trabajo de vigilancia de funcionarios guardabosques” (Montealegre, 2017).

2.2.3. Agricultura

En el campo de la agricultura, los UAV también tienen un gran potencial porque brindan por la posibilidad a los agricultores para observar grandes extensiones de tierra, y de esta manera recolectar y pasar grandes cantidades de datos e información de manera muy rápida sin la necesidad de tener algún tipo de contacto con el material biológico (Montealegre, 2017).

2.2.4. Militarmente

Montealegre (2017) en el área militar también se realiza con mayor frecuencia el uso de UAV. En la actualidad, los UAV usados por los militares pueden realizar ya sea tareas para reconocer, así como de ataque. Aunque muchos de los ataques realizados con estos dispositivos han sido exitosos, estos también pueden llegar a causar daños colaterales o a identificar erróneamente objetivos.

Además, de la misma manera se pueden usar en ambientes con problemas de niveles altos de toxicidad química y radiológicos como por ejemplo en el caso de Chernóbil y otros lugares sea necesario hacer tareas para controlar el ambiente o tomar muestras de pacientes.

3. Drones y Topografía

El uso de los UAV ha ido aumentando con el pasar de los años gracias a su desarrollo y avance con el pasar del tiempo, que han facilitado tanto la producción como la comercialización de drones profesionales, por lo tanto los UAV actualmente se consideran herramientas indispensables para diversos campos profesionales, como en este caso, la topografía.

Gracias al uso de los drones y los procesamientos y digitalización de fotografías se ha podido precisar más los levantamientos topográficos para hacer una representación de modelos 3D. Aunque los drones no dejan de un lado la ayuda necesaria de topógrafos especialmente capacitados, estos ayudan a que el procesamiento de datos sea mucho más eficaz al momento de tomar datos, particularmente en sitios de trabajo de cinco a quinientas hectáreas.

Aunque los levantamientos topográficos tradicionales también son buenos, los drones tienen muchas más ventajas ya que aceptan la visualización de ortofotografía, mapas de silueta, modelo

de terreno digital y nubes de puntos densas. Como resultados se pueden obtener una considerable cantidad de datos altamente precisos y listos para el análisis, pues sus ventajas son innumerables, por ejemplo, en el caso de la agricultura, los drones ayudan a reducir los gastos.

3.1. Ventajas de usar drones para realizar levantamientos topográficos

3.1.1. Reduce el tiempo de campo y los costos del levantamiento topográfico

Topografía y SIG (2022), argumenta que la captura de datos topográficos mediante el uso de drones es cinco veces más rápida que con los métodos terrestres, requiriéndose menos mano de obra. Así mismo se ahorra tiempo con el geoetiquetado PPK, al no ser necesario colocar numerosos PAFs.

3.1.2. Proporciona datos precisos y exhaustivos

Igualmente, Topografía y SIG (2022), indica que una estación solo evalúa puntos individuales, distinto al uso de drones, el cual genera miles de mediciones, las cuales pueden ser de diferentes formatos (orto mosaico, nube de puntos, MDT, MDS, curvas de nivel, etc.), además que los pixeles producidos contienen datos geográficos tridimensionales.

3.1.3. Mapea áreas que de otro modo serían inaccesibles

Por otro lado, Topografía y SIG (2022), nos dice que un dron de cartografía aérea es capaz de despegar y volar en casi cualquier zona, llegando a zonas inalcanzables, pendientes empinadas, o demás que son características inadecuadas para las herramientas de medición tradicionales. adicionalmente, con el uso de drones, no es necesario realizar el cierre de carreteras o vías, de hecho, se pueden capturar datos durante la operación normal sin ninguna sobre carga operativa.

García (2010) indica que el proceso de vuelo fotogramétrico “es la etapa fundamental incluso antes de la digitalización debido a que el éxito de cualquier proyecto fotogramétrico final, depende principalmente de la calidad de las fotografías que de cualquier otra cosa”. Además, antes de realizar el vuelo fotogramétrico se deben realizar algunos cálculos con el objeto de ordenar las operaciones y de esta manera alcanzar el objetivo propuesto.

A esto se le suma lo que plantean Yoo et al. (2018) quienes mencionan que se debe determinar la cobertura del área que se va a estudiar, antes de un vuelo para que este sea diseñado asertivamente. Este plan requiere una contraseña de coordenadas que se aproximen como un insumo para diseñar el plan de vuelo.

Según Blandon (2022) para realizar levantamientos de topográficos fotogramétricos se debe hacer un recorrido del área en el que se tenga interés teniendo en cuenta un patrón que ya se encuentre definido, de esta manera los datos, fotos o imágenes pueden ser recolectadas sobre una retícula regular. Sin embargo, es importante tener en cuenta que toda la información que se obtenga sea redundante para que su procesamiento posterior sea mucho más sencillo.

Otra característica que tiene adquirir imágenes con UAV es que cada foto se vincula con los valores de posición y orientación, los cuales se registran con el sistema de GPS durante el instante de la captura. Lo cual hace parte de la información que puede ser procesada durante las siguientes etapas, como la digitalización. (Escalante et al., 2016)

En el campo de la fotogrametría hoy en día existen muchos avances para este tipo de tecnología, las investigaciones relacionadas a este tema tienen como objeto usar herramientas o aplicaciones de bajo costo, las cuales puedan tener sensores ópticos o infrarrojos los cuales

faciliten que se realicen de manera autónoma los levantamientos fotogramétricos (Marenchino, 2018).

3.2. Digitalización de redes

3.2.1. Ortofoto

Según Martínez (2018) iniciando de un modelo digital de elevación, se produce un orto mosaico, el cual se utiliza un modo que mezcla el mosaico, debido a que el software usa un enfoque de distanciamiento de datos en varias frecuencias o dominios de la misma, así son combinados de una manera independiente. En las frecuencias la más alta se puede mezclar solamente a través de la línea de costura, entre cada paso este más distanciado de la línea de unión, produce un cantidad o números más reducidos cuando los dominios se mezclan.

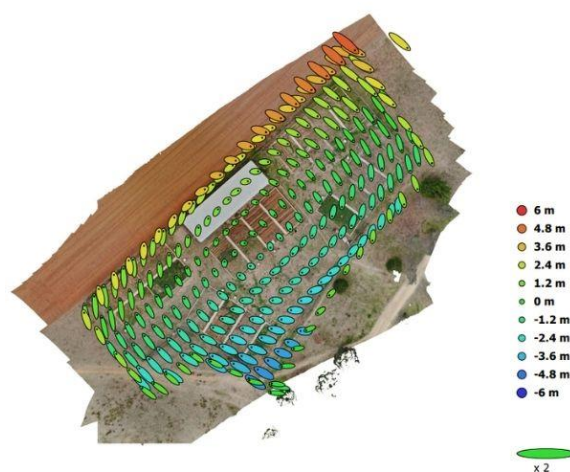


Ilustración 12 generación de MDE

Fuente: (Fiovodrone, 2022)

3.2.1. Orto mosaico

Se Define que el mosaico es una agrupación de ilustraciones o imágenes, que pueden superponerse entre sí y estas se logran fusionar para crear una sola imagen, todo esto con la finalidad de aumentar el área en que se desarrolla el proyecto, se le denomina orto mosaico en el instante en que dicho mosaico es corregido de cualquier defecto que posea a causa del relieve y los elementos que allí se pueden encontrar

Dice que, en cuanto a la elaboración de orto mosaicos, las imágenes que son de manera individual deben ser verificadas a raíz de modelos de elevación, así reduciendo la distorsión que es causada por el relieve; este proceso proyecta pixeles de una imagen por encima del MDE con la finalidad de hallar la altitud, que se puede proyectar en cierta imagen, la proyección y Re proyección que genera cada pixel de la imagen, es elaborada por medio de ecuaciones entre la que está presente principalmente la de colinealidad y son comprobadas al final y mezcladas surgiendo así un mosaico.(Chen et al., 2011)



Ilustración 13 Parámetros para la generación del orto mosaico

Fuente: (Valencia, 2018)

Según Valencia (2018) entonces cuando es generada una ortofoto esta es guardada en formato TIFF y al ser importada en un software como global Mapper se hará un recorte y se exportará en formato EWC, con un fondo negro para así reducir la memoria que ocupa el proyecto.



Ilustración 14 Ejemplo final de ortofoto

Fuente: (Valencia, 2018)

3.2.2. Orto fotogrametría digital

Pinzón (2019) dice que la orto fotogrametría es un archivo fotográfico, que da más ventajas en diferentes aplicaciones en cuanto a los mapas gráficos, debido a su gran importancia nos permite obtener el mejor aprovechamiento a la información que contiene la foto aérea y de esta manera generar medidas de la misma forma en lo que a un plano grafico concierne, iniciando de un plano ideal en el cual la creación de la fotografía sea definitivamente vertical, no importa qué tipo de zona de estudio sea, ya que si es plana u horizontal, la tierra encajara con la mencionada fotografía ortogonal. Sin embargo, si la no llegase a ser plana y diagonal, pero el eje en cuanto a la toma es algo inclinado en comparación de la vertical, se deberá comprobarse la fotografía comúnmente, esta se debe verificar a gran medida para que de esta forma queda obtener una ortofotografía.

3.3. Paso a paso de una digitalización de datos

Al hacer el vuelo con los drones nos arrojarán unos datos obtenidos por dichos equipos, estos equipos son configurados con GPS de una frecuencia en específico lo cual permite hacer rastreo siguiendo las diferentes normas. Los datos obtenidos pueden ser procesados por uno de los varios tipos de aplicaciones que se implementan en la digitalización de modelos; el software permite hacer un seguimiento de los tiempos de actividad o rastreo teniendo en cuenta la ubicación, intercepción y datos geográficos. La aplicación elegida

ofrecerá la totalidad del rastreo, en cuanto a correlación de datos para que de esta forma se pueda procesar la información de manera correcta en las exigencias que obliga la aplicación. (Herrera & Medina, 2019)

Como ejemplo se usará Agisoft PhotoScan, el cual es un programa que permite el proceso digital de los datos, que a través de imágenes en 2D se lo logran hacer modelo en 3D con datos espaciales, de esta forma llegando a las grandes SIG:



Ilustración 15 Procesamiento digital.

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)

3.3.1. Importación de fotos

primeramente, en el uso de la plataforma debe haber certeza en el funcionamiento de la cámara; dicha cámara posee características importantes como: distancia al foco, el punto determinante de la imagen y os distintos tipos de daños que pueda sufrir el lente y de esa manera provocar distorsiones y cambios del pixel; esto es vital para que el proceso de las imágenes no influyan en el cálculo o resolución de las imágenes; seguido a esto se obtendrá el sistema coordinado en el sitio donde esté trabajando en dicho proceso.(Nieto & Becerra, 2019)

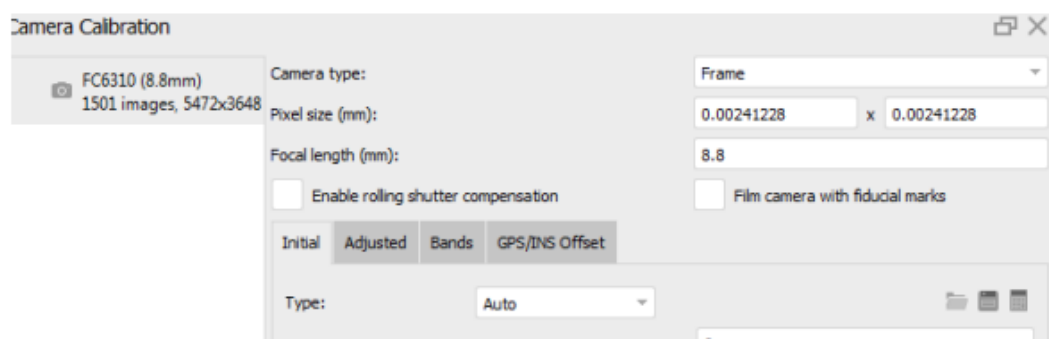


Ilustración 16 Calibración de la cámara.

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)

3.3.2. Foto control

la localización de los diferentes puntos de control ha sido obtenida en zona donde no hay vegetación para detallar de esta manera en donde se ubica de una forma más acertadas las imágenes, los datos de control son localizados de manera uniforme en cuanto al manejo del proyecto y de esta forma cada punto se posicionará a acción del satélite.

Los puntos preferiblemente pueden obtener coordenadas o lugares más importantes, en el proceso se obtuvieron 6 puntos de control, entre estos tenemos dos imágenes georreferenciadas y 4 puntos determinantes del lote que se pueden apreciar en la figura. Continuando se utiliza la

enumeración de cada dato o punto ya con un plano dado y de esta manera se observen las imágenes donde está ubicado los puntos de control, de esta manera se visualiza el desarrollo del control de la foto.(Nieto & Becerra, 2019)

✓	GPS 01	1035042.102000	1121608.805000	2601.282000
✓	GPS 02	1035069.220000	1121791.299000	2601.929000
✓	PC01-...	1035054.141000	1121670.981000	2600.471000
✓	PC02-...	1035007.466000	1121561.865000	2600.563000
✓	PC03-...	1035024.745000	1121604.523000	2600.444000
✓	PC04-...	1034931.342000	1121690.492000	2607.378900

Ilustración 17 Puntos de fotocontrol.

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)



Ilustración 18 Puntos de control

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)



Ilustración 19 Marcador de control sobre la imagen

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)

3.3.3. Orientación de fotos

La dirección de las imágenes o fotos es basada en cuanto a indagación de datos obtenidos en vuelo, planos con referencia y ángulos, así mismo cada quien obtiene coordenadas geográficas lo cual permite que el software cambie a coordenadas planas y de acuerdo a esta orientación tendrás orientaciones fijadas, así logrando obtener un espacio fotogramétrico y la cloud de puntos de manera discontinua.

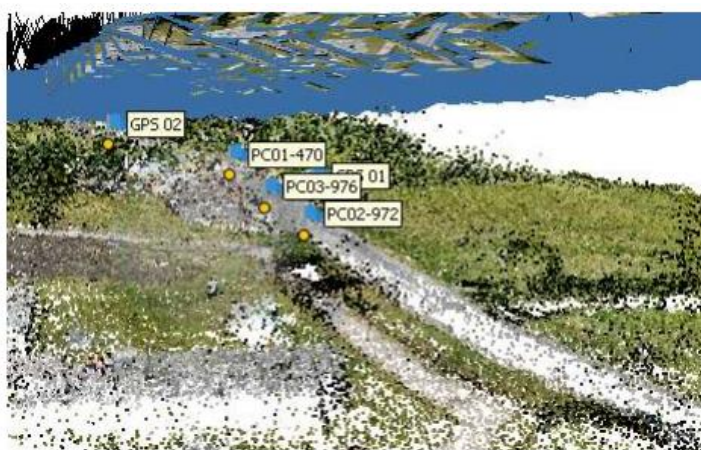


Ilustración 20 Orientación y nube de puntos dispersa

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)

3.3.4. Nube de puntos

pertenece a un grupo de puntos el cual posee coordenadas de manera tridimensional lo cual hacen alusión de una parte elevada, en la imagen se logra observar que la nube tiene los distintos datos ya fotografiados desde distintos sitios o lugares; los datos que de allí se obtienen son usados en distintas clases de actividades como espacios, curvas de nivel, MDT, MDE que finalmente se pueden llevar o abrir para mejorarse o regenerarse en programas tales como ArcGIS, AutoCAD civil 3d.

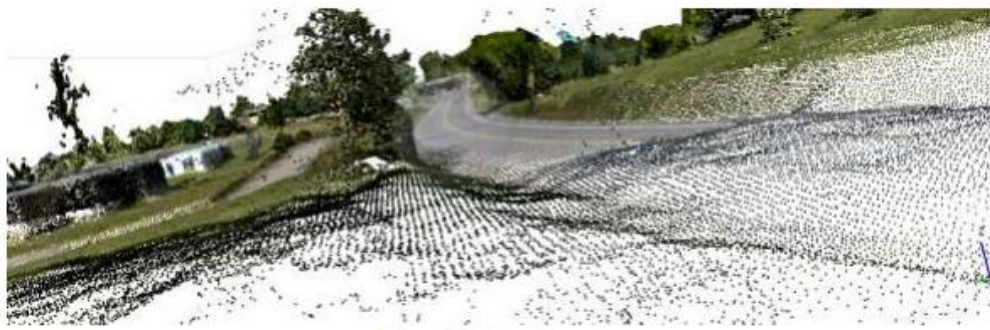


Ilustración 21 Nube densa de puntos

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)

3.3.5. Generación de la malla

La malla de muestreo es la mezcla de una nube con una gran cantidad de puntos, ya que pueden generar una superficie de las elevaciones, ya que con esto puedo obtener un texturizado en el área superficial.

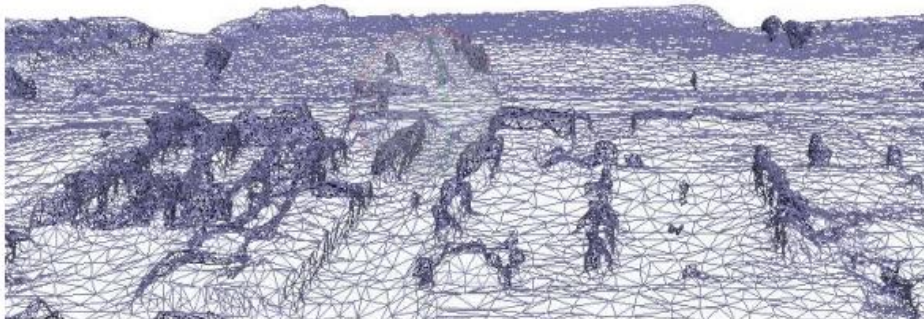


Ilustración 22 Malla de puntos

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)

3.3.6. Modelo digital de elevación

Es la muestra en tres dimensiones de la obtención fotogramétrica de georreferencias o coordenadas ya distinguidas y elevaciones que están sobre la altura que posee el nivel del mar, este dato es de los más importantes para la realización de una muestra de manera digital de

terreno, hay que tener precaución debido a que es un modelo con inmensas utilidades, la imagen me permite ver, que la superficie de la misma manera que dicha nube de puntos conlleva todo lo conseguido en la imagen generando así vegetación, alturas, infraestructura edificaciones y cambios del terreno



Ilustración 23 Modelo Digital del Elevaciones

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)

3.3.7. Modelo digital de terreno

Ya cuando se adquiere el modelo importante, en el MDE se puede hacer una limpieza en el área en cuanto a elementos que no se quieren como lo son árboles, vegetación densa y de esta manera el modelo podrá generar curvas de nivel, lo cual me genera un documento o modelo que se puede exportar y así para la ejecución de cualquier tipo diseño.

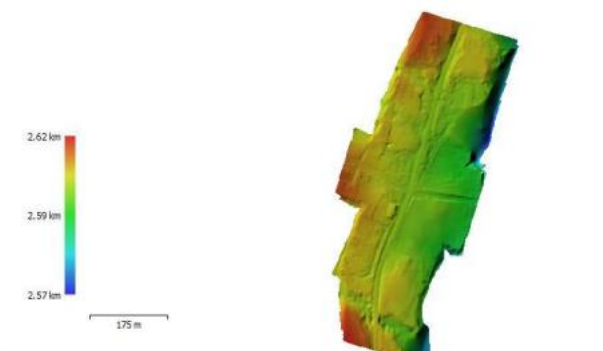


Ilustración 24 Modelo Digital de Terreno escala de colores.

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)

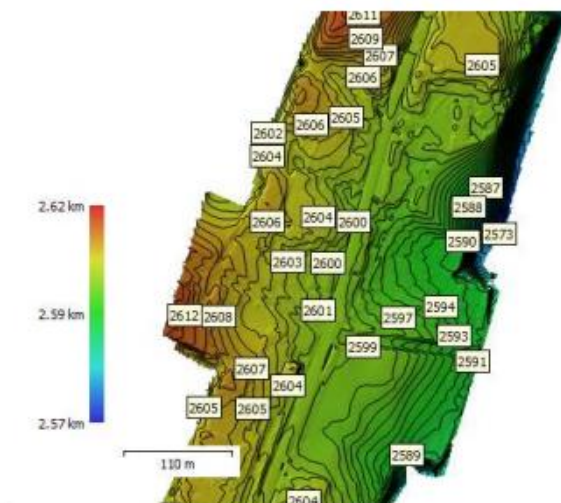


Ilustración 25 Curvas de nivel

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)

3.3.8. Ortofotomosaico

Ya entre los pasos finales se va a obtener el ortofotomosaico, este logra unir a través de los traslajos de las imágenes o fotografías que se realizó en el sobrevuelo y así mismo su correspondiente configuración de foto control.



Ilustración 26 Ortofotomosaico

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)

3.3.9. Exportación a AutoCAD Civil 3D

Para un mejor paso, también podemos exportar el MDT a uno de los software más utilizados y comerciales lo cual es el AutoCAD civil 3D, en este programa puede realizar diferentes tipos de actividades, se puede hacer un diseño geométrico de vías, delimitación de lotes y lo más importante el uso de software como EPANET, Agisoft o ArcGIS para el trazado de redes hidráulicas.



Ilustración 27 Planta MDT en software AutoCAD Civil 3D.

Fuente: (Nieto & Becerra, 2019)

3.4. El Modelo Digital de Terreno (MDT)

Una de las características básicas de alguna muestra digital o representación cuando a la superficie terrestre nos referimos, son las modelaciones digitales de terreno (MDT). Atribuyen si fundamento a una gran cantidad de aplicaciones en distintas áreas del saber cómo de la naturaleza o tierra, del medio ambiente y en distintos tipos de ingeniería.

Se le llama MDT al grupo que tiene capas (mayormente raster) que nos dejan ver distintos elementos o particularidades de la superficie del planeta tierra, estas proceden de un manto de ciertas inclinaciones a la que se le llama Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Sin embargo,

unos conceptos se atribuyen dentro de los MDT básicamente ya sea una variable cuantitativa que sea regionalizada, por esto se prioriza limitar el MDT al grupo de capas que son derivaciones del MDE

La labor con MDT introduce las consecuentes fases que, si decimos de necesidad en el tiempo, no lo serian consecutivas:

- Promoción del MDE
- Tratamiento del MDE para la obtención de distintas capas del MDT (inclinación, dirección, curvatura, etc.)
- Reflejar bidimensionalmente o a través de levantamientos 3D incluyendo todas las capas de forma que se puedan encontrar los errores
- Indagación del MDT (estadístico, morfométrico, etc.)
- Utilización, por ejemplo, como lo puede ser una variable de manera individual en un modelo que sea de retorno que me permita hacer una aproximación desde la altitud estimar la temperatura.

De las causas lo cual estas etapas se solapan es que en la mayoría de los casos la manejabilidad, observación y análisis permitirán el descubrimiento de errores en el MDE. De esta manera se regresa a la fase uno y produce un MDE mucho mejor.

3.5. El Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

3.5.1. Estructuras de codificación de la elevación

Un Modelo Digital de Elevaciones logra estar presente de forma general con la ecuación:

$$z = f(x, y)$$

determina un espacio de alteración continua. La incapacidad de dar solución a la ecuación mencionada para los puntos del área que obliga a determinar características reservadas del cual el mismo dan simplificación y la encriptación de la inclinación. Las más comunes son:

- **Curvas de nivel:** se define como líneas, que se definen por una secuencia de coordenadas en pares, que poseen como rasgo característico el coste de la inclinación en las puntas de cada línea, normalmente el intervalo es constante en cuanto a curvas de nivel hablamos.
- **Red Irregular de Triángulos (TIN):** un grupo de puntos, en los que se sabe la inclinación, en cual se hace un trazado en grupo de triángulos, que se forma por coordenadas de manera no colineales pero que están de manera cercana y también en tripletas, generando un mosaico. A veces se puede decir que se divide de las curvas de nivel, debido al deterioro de dichos puntos, produce una red de triángulos irregular. Se debe saber muy bien que puede aparecer triángulos a partir de puntos sacados de una similar curva de nivel, por eso con un igual valor, darán espacio a triángulos planos que poseen utilidad como el acoplarse de mejor manera a las distintas desigualdades que se presentan en el terreno, estas pueden disminuir el espacio que ocupan y a su vez dar excelentes resultados a la hora de observar

modelos en 3D o la determinación de valles que sean visibles. Uno de los inconvenientes que se puede destacar es un mayor tiempo en cuanto al proceso y que resulta bastante inútiles cuando se integra con información de distinto tipo.

- **El raster o formato raster**, es de los mejores y el más apto, ya que en cuanto a materia de integración de las elevaciones hablamos, puede permitir el uso de varios instrumentos para la extracción de mapas a consecuencia del MDE, dichos mapas serían nuevos.

3.5.2. Métodos de generación de modelos digitales de elevación

- **Generación en base al método fotogramétrico de correlación cruzada:** esta técnica se basa en comparar las imágenes o fotografías digitales según los pares estereoscópicos de las imágenes aéreas digitalizadas. Aquí se sustraen sub-imágenes semejantes electrónicas de las imágenes, derecha e izquierda, que se entrelazan a través de sus datos radiométricos, y de esta manera precisar sus áreas semejantes. Por lo tanto, al realizar esta correlación permite realizar el ajuste necesario, proporcionando datos de inclinación para un conjunto de puntos de concentración irregular.
- **Tecnología LiDAR** (Light Detection and Ranging) se usa para detectar o medir a través de la luz LiDAR. Estas tecnologías se diseñaron para con la ayuda de un telémetro láser montado en un drone, obtener coordenadas en tres dimensiones (X, Y, Z) o puntos del lote. A estos datos se les conoce como “nube de puntos LiDAR configuradas al campo” y en base a esta información es posible diseñar modelos digitales de elevación con una alta resolución de la superficie y de su terreno. Si se

generan modelos a partir de esta tecnología la cobertura de territorio respectiva a la escala de cartografía 1:10,000 y 1:20,000 y, además, su nitidez podría estar entre 1 o 15 metros, esto depende de las particularidades al momento de planear y ejecutar vuelo para recopilar los datos.

3.5.3. Validación de un Modelo Digital de Elevaciones (Detección y corrección de errores)

Para cualquier variable espacial interpolada se requiere ratificar un MDE tras su adquisición puesto que la calidad radica ya sea en la magnitud o en el tipo de errores cometidos y estos son inevitables teniendo en cuenta hablamos de un modelo un poco inexacto.

En cuanto a las inclinaciones validarlas correctamente precisa un poco más de atención. Un MDE y su calidad en formato raster se sujeta de los errores que se encuentran presentes en los datos que han servido para construir, así como del desarrollo de interpolación que ha tenido lugar. La equivocación de los datos de partida puede clasificarse de la siguiente manera:

- **Errores posicionales:** son aquellos que comprometen una mala o incorrecta localización geográfica de la curva de nivel o de la cota, así que por consiguiente perjudican la posición en el plano XY. En el caso de puntos mal capturados en el lote de acción esto puede ser a causa de un error propio durante el procedimiento, por ejemplo, con el GPS. Pero, en el caso de las curvas de nivel esto puede ser a causa de algún error en el mapa de partida, sin embargo, habitualmente pueden deberse a una posición inadecuada del cursor en el tablero al instante de ingresar el punto. De manera que puede ser errático fortuito, ya sea por agotamiento, o el llamado error de difusión por el cual se simplifican las maneras de digitalizar. Al omento de localizar

las líneas estos son los errores que generan inseguridad, es muy difícil evitarlos o descubrirlos a posteriori, por lo tanto, generalmente es mejor hacer la digitalización en mapas escaneados y eludir más horas extensas de trabajo.

- **Errores atributivos:** estos errores suponen cuando se atribuye una altitud inexacta relacionada a la curva o cota y que comprometen las coordenadas en el eje Z. En el caso de puntos en el lote de acción su procedencia puede deberse al mismo mencionado anteriormente. En cuanto a las curvas de nivel digitalizadas, estos errores surgirán al azar, pero identificarlos en los mapas derivados del MDE es muy sencillo.

3.6. Red hidráulica en Epanet a partir de un modelo digital de elevación (DEM)

Después de que se obtenga la información, datos o fotografías gracias al levantamiento fotogramétrico con drone, según Ticona & Turpo (2021) para procesar la información adquirida gracias al uso de los UAV se llevan a cabo las siguientes etapas:

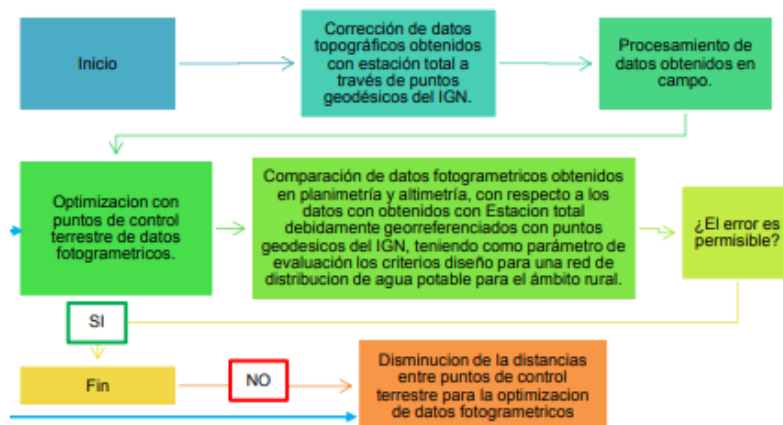


Ilustración 28 procesamiento de información fotogramétrica

Fuente: (Ticona & Turpo, 2021)

Por otro lado, según Holler et al. (2018) los pasos que se deben seguir desde la recopilación de datos, hasta la digitalización y el análisis de estos pueden ser los siguientes:

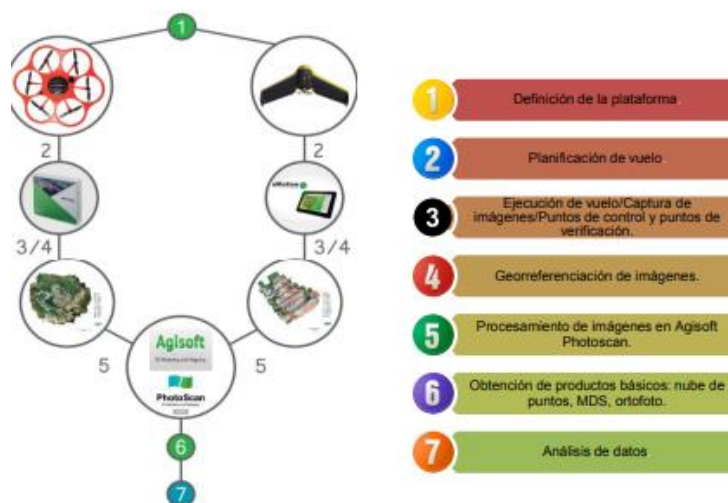


Ilustración 29 Pasos para la digitalización de redes

Fuente: (Holler et al., 2018)

Según Arriola et al. (2022) teniendo en cuenta que los datos que se obtienen con el levantamiento topográfico son segmentados, estos deben ser procesados con el objeto de consolidar dicha información y realizar el producto final esperado. Esta consolidación claramente se hace mediante el proceso de digitalización el cual comprende inicialmente la alineación de las imágenes capturadas, posteriormente la creación de la nube de puntos y en base a esto, generar los mosaicos o los modelos digitales de elevación, en estos se reúnen datos adicionales con cada punto del mapa del campo de estudio.

Desde otra perspectiva Alzamora (2006) describe las etapas que se deben aplicar para realizar la digitalización de vuelos fotogramétricos para levantamientos topográficos de la siguiente manera:

- Recopilar la información o los datos con la ayuda de los UAV, es decir, las imágenes o fotografías que son requeridas poder hacerse una “para realizar un diseño general de la situación de la red.

- Levantamiento de la red aquí se debe tener en cuenta el inventario de los datos topográficos de manera que se haga una base de datos que abarque todos los datos de la red como por ejemplo la revisión de pozos y colectores, la localización de los elementos de regulación, entre otros.
- Realizar el catastro de usuarios: En este caso se deben tener en cuenta los usuarios, el consumo y contadores (aportes dado que sea un alcantarillado). Este proceso facultara que se obtenga un balance hídrico del sistema (o en el caso de alcantarillados hacer un cálculo de las cuencas).
- Catastro de Red, digitalización y exportación: Después de realizado en inventario de la red y de que haya generado la base de datos, se debe realizar el diseño o la digitalización de la red teniendo en cuenta el software que haya sido seleccionado para realizar esta tarea.
- Campaña de mediciones: En todo proyecto es posible que se dude acerca de la fiabilidad acerca de la información recopilada, por lo tanto, se debe realizar una campaña de mediciones hidráulicas donde se tengan en cuenta las presiones y los caudales en el caso de que se esté digitalizando una red de agua potable.
- Modelización matemática: Para esta etapa, el modelo se puede crear haciendo uso de la herramienta EPANET, una de las más conocidas. Para esto se debe calibrar con cada medición y esto debe ser analizado en sistema a corto, medio y largo plazo.

Así mismo, Gutiérrez & Gaviria (2010) explican también a su manera los pasos que se deben seguir al momento de realizar la digitalización de una red basándose en aquello que desarrollaron para su trabajo de grado de la siguiente manera:

- **Definir las propiedades de los elementos que constituyen el diseño**

Siempre para iniciar la digitalización de cualquier modelo o red, se debe tener en cuenta como un punto de partida el realizar un análisis para conocer la infraestructura de la red debe conformarse por el plano detallado junto con el trazado. Por lo tanto, se debe señalar, la longitud, el recorrido, el diámetro, el material, las cotas de los nodos, entre otros.

De manera que para realizar la digitalización de cualquier modelo y su ensamblaje se debe tener un catastro de redes. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los datos deben complementarse con los de funcionamiento actual, entre estos puede ser la información de los usuarios de la red, el promedio de consumo o las presiones que haya en la red con el objeto de concretar el modelo. Entre la información detallada que principalmente debemos tener en cuenta para la digitalización del modelo de una red encontramos:

- Nodos
 - Tuberías (teniendo en cuenta su diámetro, su longitud, el tipo de material, entre otros)
 - Tanques de almacenamiento
- **Especificar demandas en los nodos**

Este es un paso fundamental puesto que al determinar la demanda en los nodos se adquieren resultados que sean similares al funcionamiento real de la red. Se debe distribuir las demandas reales en cada nodo, asignando un nodo a las zonas de afluencia que se encuentren cercanas. En el caso del proyecto de investigación de Gutiérrez & Gaviria (2010) para la realización de esta etapa ellos evidenciaron en la lista general de mediciones el promedio de consumo de los 6 meses anteriores, así como el nodo al que compete la micro-zona en el modelo. Ya habiendo identificado esto, los investigadores procedieron a desarrollar la suma de los caudales de micro-

zonas que tuvieran asignado un mismo modo, pidiendo obtener de esta manera el caudal consumido y su área de afluencia.

- **Calibrar el modelo hidráulico**

Durante cada paso la idea es que el resultado de la digitalización sea lo más cercano a la realidad. Gutiérrez & Gaviria (2010) explican que EPANET es una excelente herramienta para llevar a cabo esta etapa puesto que posibilita hacer una comparación de los resultados de la simulación junto con los parámetros reales que se midieron. En el caso de la investigación de estos autores para la red de aguas de Pereira, ellos determinaron que el parámetro más sencillo y seguro para comparar y calibrar era la presión. Para poder desarrollar esto instalaron 1 manómetro en algunas sub-zonas, puesto que estos instrumentos realizan una lectura directa la cual tiene como fin hacer una simplificación de la interpretación visual de la presión y así consolidar que estas mediciones fueran verídicas.

- **Generar y modelar el sector definido**

Con el objeto de establecer la capacidad y dispositivo en el presente o en el futuro del sistema de distribución Gutiérrez & Gaviria (2010) usaron un modelo similar al que se obtuvo en la base de datos que le suministraron Aguas y Aguas de Pereira. Haciendo una simulación en función de las dos variables para conocer la presión en el sector, la demanda y las pérdidas posibles en el sistema.

- **Sectorización hidráulica**

En esta etapa se debe revisar en plano zonal y los pormenores de esquina presentados en el catastro de la red. Además, se deben definir los sectores donde se deba aislar si se llega a

suspender el servicio de agua potable ya sea porque se vayan a realizar reparaciones, se vaya a hacer mantenimiento o se deba racionar el agua en caso de épocas de sequía.

De igual manera, para ejemplificar todo el proceso que conlleva realizar el levantamiento topográfico aéreo, así como su digitalización Mauricio & Acosta (2018) también explican en su proyecto de investigación la metodología y el paso a paso desarrollado antes, durante y después del campo de acción para realizar la digitalización de la Universidad Militar Nueva Granada en Zipaquirá, Cundinamarca.

Para iniciar, el autor explica que las fotografías deben ser obtenidas con la ayuda de un dron con el fin de hacer el trabajo más sencillo. Después estos datos obtenidos deben ser materializados, georreferenciados e iluminados en una red geodésica de tercer orden que funciona como apoyo geodésico a través de la utilización de puntos de control en tierra con el objeto de georreferenciar con precisión la digitalización realizada en base a las imágenes o las fotografías capturadas en el campo de acción. Después la fotografías que se obtienen deben ser procesadas con la ayuda de un software. Este autor, para la digitalización de su modelo usó Pix4D el cual le permitió tener como resultado final una ortofoto georreferenciada muy precisa. Y en base a esta ortofoto que se generó y con la ayuda del software AutoCAD, realizó una muestra de cómo digitalizar componentes presentes en base a la utilización de este método fotogramétrico.

Agisoft PhotoScan Agisoft LLC (como se citó en Verhoeven, 2011) "PhotoScan es producido por la empresa con sede en Rusia Agisoft LLC. A medida que se anuncian, el software es una solución avanzada basada en imágenes para crear contenido tridimensional (3D) de calidad profesional a partir de imágenes fijas".

Para iniciar después del levantamiento topográfico, se importa los datos obtenidos al software seleccionado, sin embargo, en este caso el autor se refiere específicamente a Agisoft PhotoScan, este software al inicio principalmente alinea las imágenes y genera los puntos de enlace. Para esto, esta herramienta usa la SFM (estructura del algoritmo de movimiento) la cual permite reconstruir la superficie real en base a un gran porcentaje de fotos o imágenes superpuestas.

El software se encarga de localizar las características que coincidan en cada imagen y usa la ajustación de bloque de paquete iterativo para estimar la orientación de la imagen, los parámetros de orientación exterior y la geometría del modelo de construcción. Los GCP se ingresan a la Aero triangulación que permite el cálculo preciso de los parámetros de orientación exterior y mejora la precisión de la georreferenciación espacial. El paso final genera el modelo digital de superficie (DSM) al construir la textura del modelo y exportar un modelo 3D (malla) u ortofoto mosaica. (Ján & Vladimír, 2016).

Finalmente, considerando la perspectiva de otro autor como García (2006) este también explica los pasos que se deben tener en cuenta para digitalizar un sistema de distribución de agua haciendo uso del software EPANET de la siguiente manera:

- Realizar un dibujo del esquema de la red o escribir una descripción de este desde un fichero de texto.
- Hacer una edición de las propiedades de los componentes que conforman el sistema en el editor de propiedades.

- Hacer una descripción de la manera en que opera el sistema como por ejemplo cómo cierran o abren las válvulas o como arrancan o paran las bombas teniendo en cuenta las leyes de control.
- Hacer una selección de las alternativas de cálculo, como en el caso de aquellas ecuaciones para el cálculo de pérdidas de energía, sistema de unidades, entre otros.
- Ejecutar el análisis hidráulico.
- Analizarlos resultados en gráficas o tablas.

3.7. Modelamiento hidráulico con IBER

Lo primero que se debe hacer es importar el modelo digital del terreno, para esto debemos usar el programa ArcMap, de donde importaremos un archivo obtenido anteriormente a través de las imágenes y digitalización de datos que nos generó el drone, como podemos ver a continuación:

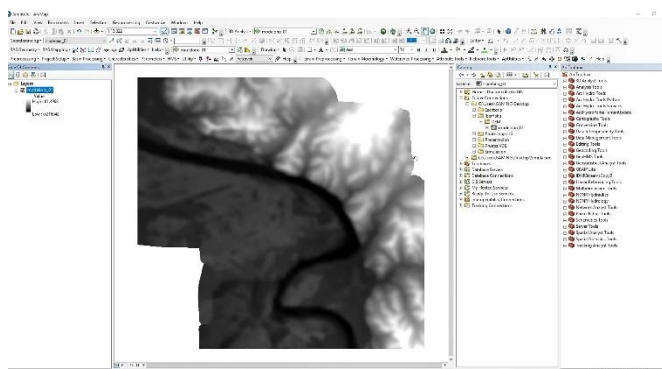


Ilustración 30 modelo digital de elevación en ArcMap

Fuente: (Flowing Perú, 2020)

Con este DEM podemos ver el río en el cual se va a trabajar, como siguiente paso se realizará una transformación de este DEM a un modelo ASCII para así poderlo abrir con IBER; este

archivo nos dará el sistema de coordenadas que sea exacto en el modelo IBER, después abrimos el programa de IBER y abrimos el DEM que fue generado en un principio y se puede ver de la siguiente manera:

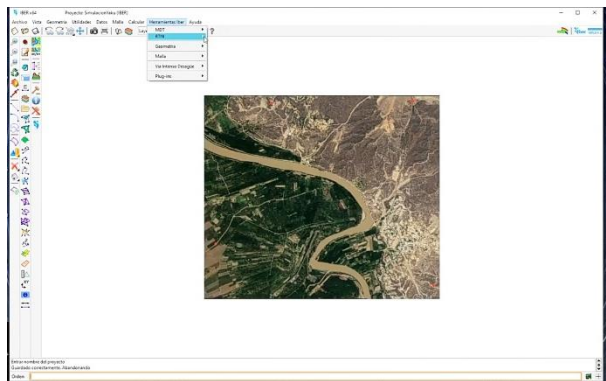


Ilustración 31 modelo digital de elevación en IBER

Fuente: (Flowing Perú, 2020)

En el siguiente paso vamos a generar una red triangular de rectángulos (RTIN) o una malla, en este paso debemos a cargar el archivo ASCII que sea había hecho en el paso anterior, se debe crear una geometría que en este caso será una tolerancia de 0.5, lado máximo de 200 y lado mínimo dado esto cargara nuestra malla que se puede observar de la siguiente manera:



Ilustración 32 red triangular y rectángulos

Fuente: (Flowing Perú, 2020)

Ahora debemos ingresar las condiciones hidrodinámicas dentro de la geometría, dichas condiciones las haremos aguas arriba y para eso entramos en las condiciones de contorno, vamos

a ingresar un caudal en un régimen crítico y subcrítico, luego ingresaremos unos datos de tiempo del caudal que se genera a través de un estudio hidrológico, de la cual tomamos la tabla de dicho estudio y lo llevaremos a IBER y nos mostrara un histograma de la tabla que se tenía; ya luego para finalizar este paso debemos seleccionar el lugar para la entrada del sistema. Luego debemos dar las condiciones hidrodinámicas en la salida del modelo:

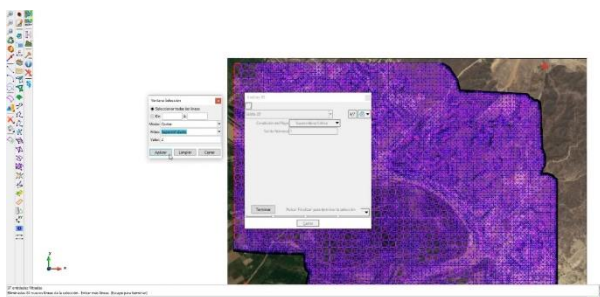


Ilustración 33 condiciones hidrodinámicas del modelo

Fuente: (Flowing Perú, 2020)

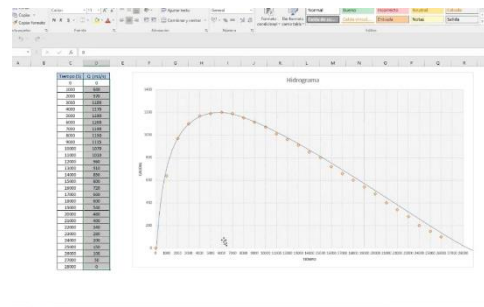


Ilustración 34 estudio hidrológico

Fuente: (Flowing Perú, 2020)

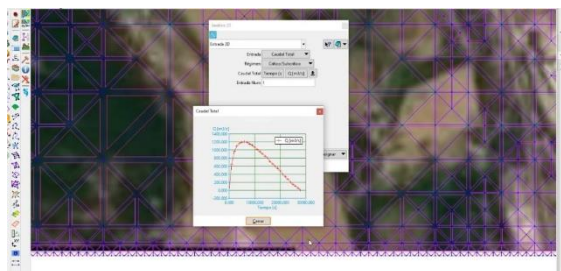


Ilustración 35 histograma en IBER

Fuente: (Flowing Perú, 2020)

Luego debemos ingresar la rugosidad al sistema IBER, para esto debemos trabajar en ArcMap, aquí vamos a ingresar un chef file de rugosidad que tiene diferentes polígonos, dichos polígonos nos definen cada uso del suelo que se encuentran en nuestra geometría, este se puede identificar mediante la ortofoto y definir cuál es área donde hay terreno, área árida o área con población, según esto dibujamos un polígono para así ir ingresándole una identidad:

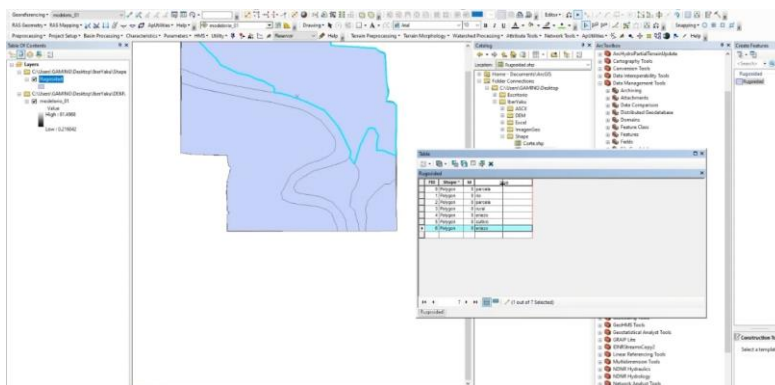


Ilustración 36 polígonos para identificación de zonas

Fuente: (Flowing Perú, 2020)

Ya después debemos agregarle otra característica con la rugosidad de Manning, estos valores de rugosidad son obtenidos a través de rugosidades que nos muestra el programa IBER, entonces los llevamos a ArcMap lo cual lo ubicamos para cada uno de los polígonos, ya habían incorporado los datos debemos ahora exportar este archivo para cargarlo en IBER, para esto debemos pasar el archivo chef file a DEM y de DEM a ASCII:

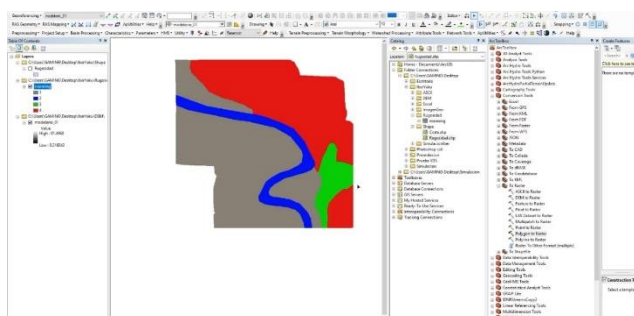


Ilustración 37 polígonos como formato DEM

Fuente: (Flowing Perú, 2020)

Ya hecho lo anterior debemos abrir una hoja de cálculo en EXCEL, donde llenaremos con un “id” y un “class_names” para poder vincular los datos con IBER para evitar errores con el programa, luego de haber llenado la hoja de cálculo debemos guardarlo en formato CSV; luego en IBER asignaremos de forma automática donde abriremos el archivo:

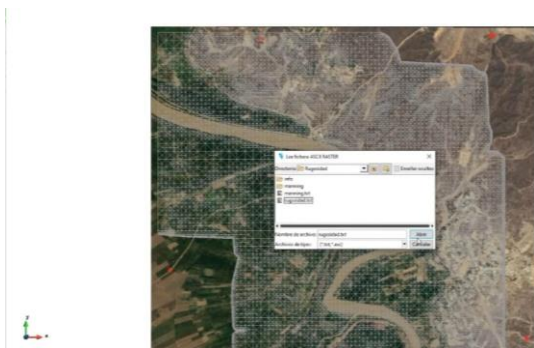


Ilustración 39 apertura de archivo rugosidad

Fuente: (Flowing Perú, 2020)

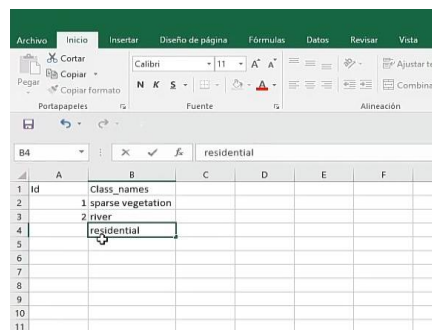


Ilustración 38 hoja de cálculo Excel

Fuente: (Flowing Perú, 2020)

Después de haber abierto el archivo de rugosidad, nos mostrara dicha rugosidad en el modelo, ya en uno de los últimos pasos para la simulación llenaremos los datos del problema, donde daremos un tiempo máximo de simulación de 28000 segundos en un intervalo de resultado cada 10 segundos; luego daremos el total de procesadores para así darle en calcular y luego en la opción de paso a paso para poder observar el comportamiento:



Ilustración 41 datos del modelo

Fuente: (Flowing Perú, 2020)



Ilustración 40 vista final de la modelación en IBER

Fuente: (Flowing Perú, 2020)



Ilustración 42 cálculos de la moderación

Fuente: (Flowing Perú, 2020)

3.8. Red de distribución de agua a partir de un MDE en Qgis y plugin Qwater

3.8.1. Preparación de Qgis

Según Almeiro (2018) debemos tener en cuenta los siguientes pasos:

- Instalar el complemento Qwater
- Ajustar el sistema de coordenadas del proyecto, donde la red será proyectada.
- Seleccionamos el MDE, pseudocolor mono banda, valores acumulativos, lienzo actual, precisión real
- Los pixeles en color blanco representan las cotas más altas y los pixeles en color verde las cotas más bajas
- A continuación, se crearán las capas vectoriales que representaran los nodos, tuberías y reservorios, para ellos se crean capas de archivo shape, se localiza el lugar donde se guardaran y se les asigna un nombre. En el caso de los reservorios en tipo de geometría se selecciona “punto”. El mismo procedimiento se realiza para la capa de nodos usando el mismo tipo de geometría, en el caso de las tuberías se realiza el mismo procedimiento, pero el tipo de geometría cambia a línea.
- Ahora se localiza el lugar donde está el reservorio, los nodos y tuberías, para ellos se selecciona la capa vectorial reservorio, tubería o nodo, después conmutar edición y se añade ya sea el punto, la tubería o el reservorio.

- Ajustar y se relacionar los nodos, la capa vectorial de tubería y el reservorio, en data se añade la población inicial y final, es decir se hace una estimación de a cuanto población va a afectar la red.
- En la pestaña “Tuberías” se definen las características de las tuberías utilizadas: DN, diámetro, rugosidad, presión de servicio, etc.
- En la pestaña "Opciones de cálculo", ajuste la velocidad de red máxima permitida (por predeterminado = 5 m/s) también se marca la opción para calcular la longitud de la tubería <Calcular la longitud de la tubería> se hace clic en el botón “Seleccionar” y se selecciona la configuración de cálculo “template_d-w_lps.inp”

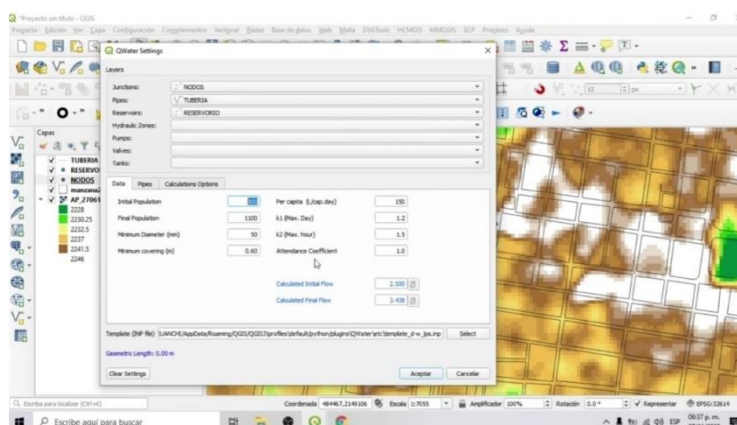


Ilustración 43 preparación de Qgis

Fuente: (Geomapchi, 2020)

3.8.2. Trazado de la red

• Reservorio

Se selecciona la forma del depósito y se hace clic en el botón editar, se habilita la etiqueta de capa para mostrar el campo "DC_ID". Se localizan todos los embalses (nivel fijo), llenando el campo “HEAD” con la cota del terreno. Además, es importante verificar que todos los embalses tengan una cota.

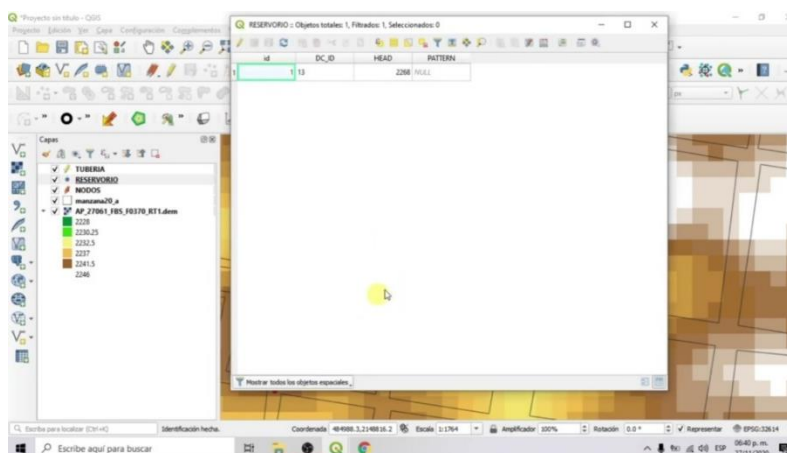


Ilustración 44 habilitación etiqueta reservorio

Fuente: (Geomapchi, 2020)

- **Nodos**

Se selecciona la forma del nodo y se hace clic en el botón editar, se habilita la etiqueta de capa para mostrar el campo "DC_ID", se localizan todos los nodos y se rellena el campo “ELEVACIÓN” con la elevación del Terreno. Es importante corroborar que todos los nodos tengan cota.

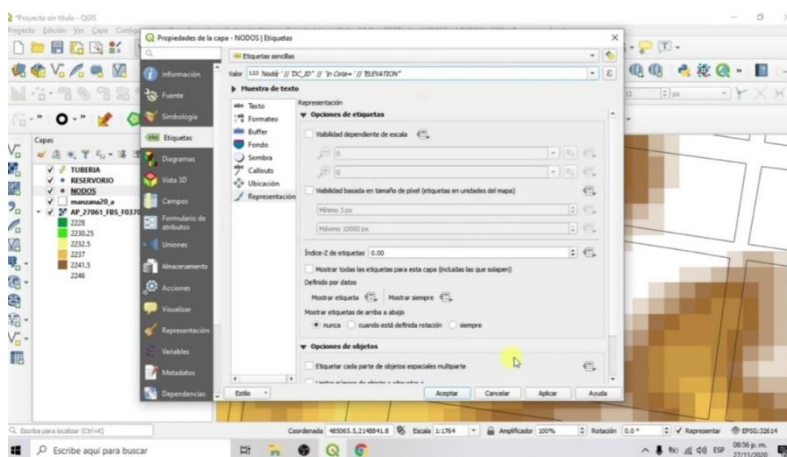


Ilustración 45 habilitación etiqueta nodos

Fuente: (Geomapchi, 2020)

- **Tubería**

Se selecciona la forma de fragmentos y se hace clic en el botón editar, se habilita la etiqueta de capa para mostrar el campo "DC_ID". Después se trazan todas las secciones de acuerdo con la dirección de flujo prevista (desde aguas arriba hasta aguas abajo). Una sección y compuesta por una polilínea que comienza en el nodo aguas arriba y termina en el nodo aguas abajo, río abajo. Finalmente se rellenan datos de tablas de atributos con valores predeterminados automáticamente haciendo clic en <Complementos / Qwater / Rellenar campos> y se guarda la forma y se sale del modo de edición.

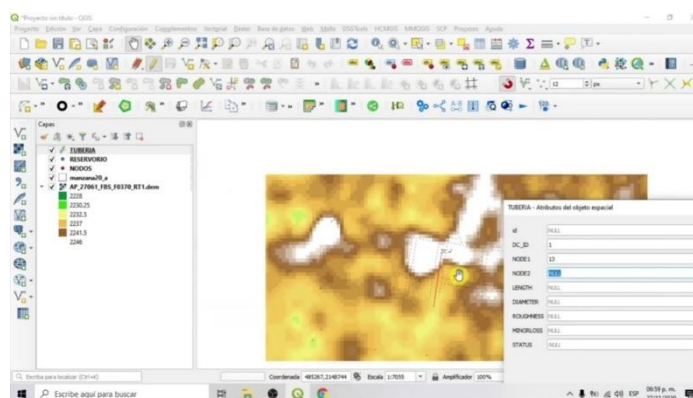
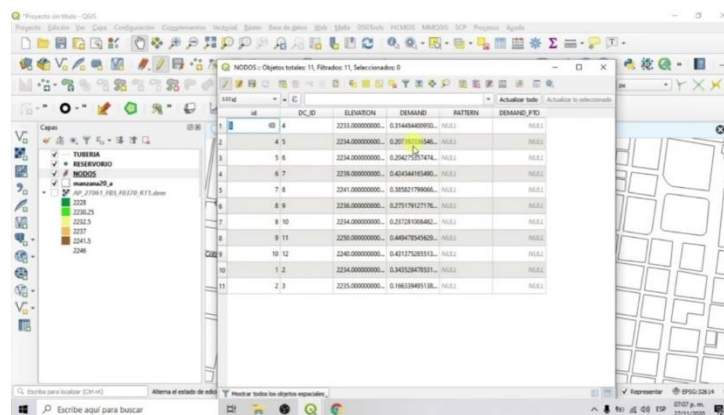


Ilustración 46 tabla de atributos de tuberías

Fuente: (Geomapchi, 2020)

3.8.3. *Cálculo de la demanda*

Se selecciona <Complementos/Qwater/Calc Flow>. El mensaje “Demanda en el calculamos con éxito”. Esta rutina calcula el rendimiento unitario a partir de la demanda distribuida, asignando a cada nodo el producto del rendimiento unitario por la mitad de la extensión de los enlaces conectados al nodo. De manera opcional, también es posible calcular el caudal utilizando una capa de polígonos como Zonas Hidráulicas, finalmente se guarda la forma del nodo y se sale del modo de edición.



id	DC_ID	ELEVATION	DEMAND	PATTERN	DEMAND_PTO
1	40	2230.00000000...	0.3144440000...	N0.01	N0.01
2	4 5	2234.00000000...	0.2074000000...	N0.01	N0.01
3	5 6	2234.00000000...	0.2047000000...	N0.01	N0.01
4	6 7	2238.00000000...	0.4434440000...	N0.01	N0.01
5	7 8	2241.00000000...	0.3032170000...	N0.01	N0.01
6	8 9	2236.00000000...	0.2711700000...	N0.01	N0.01
7	9 10	2234.00000000...	0.2373810000...	N0.01	N0.01
8	9 11	2236.00000000...	0.4494700000...	N0.01	N0.01
9	10 12	2246.00000000...	0.4113700000...	N0.01	N0.01
10	1 2	2234.00000000...	0.3453240000...	N0.01	N0.01
11	2 3	2225.00000000...	0.1663440000...	N0.01	N0.01

Ilustración 47 ejemplo tabla demanda de nodos

Fuente: (Geomapchi, 2020)

3.8.4. Simulación preliminar de la red

Se selecciona “Complementos/Qwater/Run Epanet Simulation” y se espera la presentación del mensaje. Si el mensaje indica la ocurrencia de errores, se analiza las indicaciones de error en la pestaña “Informe”, si por el contrario la simulación fue exitosa, se guardan las formas y se sale del modo de edición.

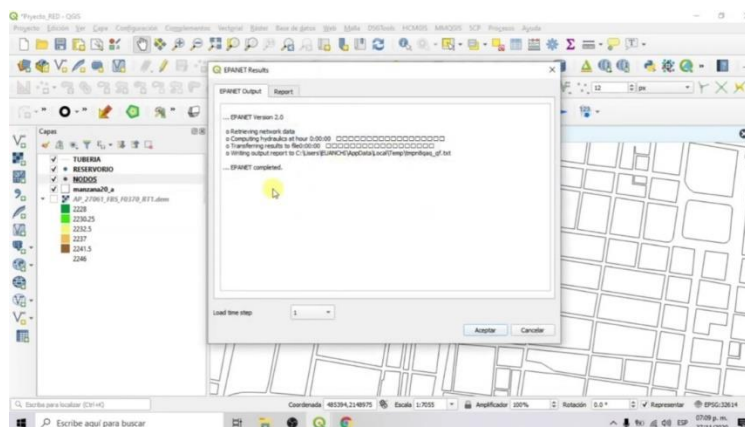
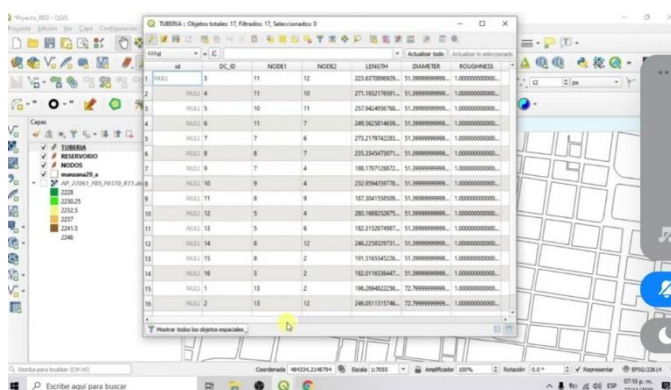


Ilustración 48 informe simulación de red

Fuente: (Geomapchi, 2020)

3.8.5. Optimización de diámetros de la red

Se hace clic en <Complementos/Qwater/Calcular diámetro económico> y se confirma el mensaje para reemplazar los valores del campo “DIÁMETRO”, se guardan formas y se sale del modo de edición. Finalmente se simula la red con diámetros optimizados y se hace clic en <Complementos/Qwater/Run Epanet Simulation> y se espera la presentación del mensaje. Si la simulación fue exitosa, se guardan las formas y se sale del modo de edición.



ID	DIAM	NOD1	NOD2	LEN	DIAMETER
1	11	12	223.67789629	11.38888889	1.00000000
2	11	10	271.95217691	11.38888889	1.00000000
3	10	11	217.84489768	11.38888889	1.00000000
4	10	7	249.36257463	11.38888889	1.00000000
5	7	4	275.31794228	11.38888889	1.00000000
6	8	7	213.33647397	11.38888889	1.00000000
7	7	4	188.17613875	11.38888889	1.00000000
8	10	9	232.95643978	11.38888889	1.00000000
9	11	8	187.30415808	11.38888889	1.00000000
10	12	5	280.18852375	11.38888889	1.00000000
11	13	5	182.31527487	11.38888889	1.00000000
12	14	8	246.27582371	11.38888889	1.00000000
13	15	8	191.31634526	11.38888889	1.00000000
14	16	3	182.07183847	11.38888889	1.00000000
15	13	2	196.28482224	12.76666667	1.00000000
16	2	13	246.09113174	12.76666667	1.00000000

Ilustración 49 tabla de diámetros optimizados

Fuente: (Geomapchi, 2020)

Por último, exportar la red proyectada a formato dxf. Y adoptar una escala compatible, por ejemplo para abrir con AutoCAD.

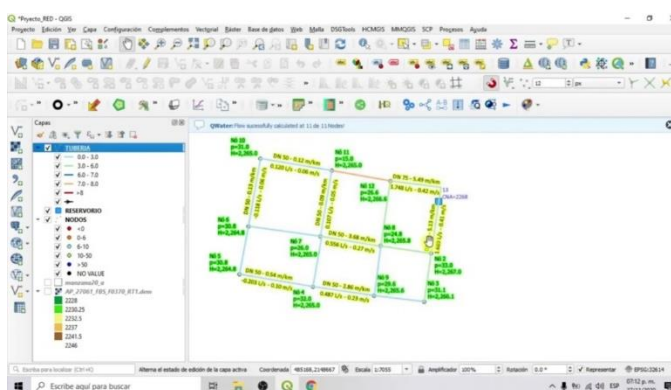


Ilustración 50 interfaz final de red de distribución de agua

Fuente: (Geomapchi, 2020)

3.9.Ventajas del modelado de sistemas hidráulicos

Las ventajas de la modelación hidráulica son diversas. Por ejemplo, representa un ahorro en cuanto a los costos de los proyectos, optimiza las redes, descubre cualquier daño o avería, entre otros. Cuando se realizan modelos con cualquier software hidráulico también se pueden dimensionar óptimamente, los sistemas de tubería y colectores. De manera que hacer el análisis de todos estos escenarios e intervenir oportunamente puede garantizar un trabajo continuo y de calidad. Por todos estos motivos, actualmente es más frecuente que se exija proyectos de licitación de cualquier infraestructura de gran amplitud.

Conclusiones

La topografía es una rama que tiene muchas aplicaciones en diferentes áreas, la cual facilita muchos procesos de la ingeniería civil. Para poder llevar a cabo esta técnica se deben tener en cuenta equipos especializados y de alta tecnología que faciliten aún más esta labor. Es por esto que en la actualidad se ha priorizado o se les ha dado una gran extensión a los vehículos aéreos no tripulados ya que pueden capturar los datos con una gran precisión centimetrada para labores topográficas.

De acuerdo a toda la información recopilada anteriormente se pudo indagar en todos los beneficios directos que el uso de los drones puede brindar al proceso de levantamientos topográficos y de esta manera, tener una base para la obtención de imágenes que ayuden a realizar los cálculos de volúmenes vertederos, la reconstrucción 3D georreferenciada de infraestructuras o monitorizar cualquier otra obra civil. De manera que gracias a estas imágenes óptimas es posible realizar la digitalización de los modelos con una alta calidad. Entre los beneficios se pudo establecer que aporta seguridad para cualquier obra civil, orienta la construcción de vías, alcantarillados, acueductos, entre otros. Así como también ayuda a la supervisión de cuencas.

Por último, pero no menos importante se pudo indagar también en la importancia de la selección del software más pertinente para realizar el modelo de obras tan importantes como por ejemplo en el caso de los alcantarillados, redes hidráulicas, entre otros. Por lo tanto, tener en cuenta todos estos diversos procesos y aprovechar estos recursos que nos brinda la innovación, ayuda a cualquier ingeniero civil en cualquier obra civil a llevar a cabo un trabajo impecable.

Referencias

- ACRE. (2022). *Pix4DMapper Pro: Software de procesamiento de imágenes | Grupo Acre España*. <https://grupoacre.es/catalogo-productos/pix4dmapper/>
- Agisoft. (2017). *PhotoScan*. https://www.agisoft.com/pdf/photoscan_presentation.pdf
- Almeiro, J. (2018). *QWater/tutorial_ptbr.md en maestro · jorgealmerio/QWater · GitHub*. https://github.com/jorgealmerio/QWater/blob/master/tutorial_ptbr.md
- Alzamora, F. M. (2006). *Combinación de Modelos Matemáticos y SIG para la Gestión Eficiente de Redes de Distribución de Agua Water Quality Models for Water Distribution Systems View project High Performance Computing for water distribution system simulation View project*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2963.8162>
- Anat. (2015). *Topografía - Ensayos para estudiantes - ANAT23*. <https://www.clubensayos.com/Informes-de-Libros/Topografia/2511814.html>
- AreaDron. (2019, October 28). *dron_creatividad_oct_BLOG_03 (1) - areadron.com*. https://www.areadron.com/que-tipos-de-drones-existen/dron_creatividad_oct_blog_03-1/#
- Autodesk. (2021). *Guía Autodesk ReCap Photo*. <https://univercad.com/wp-content/uploads/2021/10/Guia-escaneo-3D-a-modelado-digital-RECAP.pdf>
- Autodesk ReCap. (2015). (369) *From Autodesk ReCap to AutoCAD 2016 - Reality Capture Webinar Series #2/13 - YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=FWcUs2d-zVQ>
- Blandon, A. (2022). *Informe Capítulo 1 Geomática PDF | PDF | Sistema de información geográfica | Vehículo aéreo no tripulado*. <https://es.scribd.com/document/451796607/Informe-Capitulo-1-Geomatica-pdf>
- Blogger. (2016). *Definiciones básicas de topografías: Instrumentos topográficos*. <http://anayerikatopografia1.blogspot.com/2016/02/instrumentos-topograficos.html>

Borja, L., Herrera, W., Maque, W., Ortiz, D., Saico, D., Tapia, A., & Yucra, J. (2021).

Laboratorio Calificado 3 geomatica - UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERU

CURSO: GEOMÁTICA SECCIÓN: - StuDocu.

[https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-](https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/geomatica/laboratorio-calificado-3-geomatica/23316721)

[peru/geomatica/laboratorio-calificado-3-geomatica/23316721](https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/geomatica/laboratorio-calificado-3-geomatica/23316721)

Chen, W., Zhao, Y., Xie, W., & Sang, N. (2011). An improved SIFT algorithm for image

feature-matching. *2011 International Conference on Multimedia Technology, ICMT 2011,*

197–200. <https://doi.org/10.1109/ICMT.2011.6003022>

Cómo funciona qué. (2022). ▷ ¿Qué es un drone y cómo funciona? - Como Funciona Que.

<https://comofuncionaque.com/que-es-un-drone/>

Cui, A. (2020). *Typical structural shape of fixed-wing UAVs | Download Scientific Diagram.*

[https://www.researchgate.net/figure/Typical-structural-shape-of-fixed-wing-](https://www.researchgate.net/figure/Typical-structural-shape-of-fixed-wing-UAVs_fig1_348366179)

[UAVs_fig1_348366179](https://www.researchgate.net/figure/Typical-structural-shape-of-fixed-wing-UAVs_fig1_348366179)

Datum Ingeniería. (2022). *GEOMODELADO – Datum Ingeniería.*

<https://datuming.com/producto/geomodelado/>

Direct Industry. (2022). *Software de medición - Agisoft PhotoScan Pro - Airgon - de cartografía*

/ de topografía / para dron. [https://www.directindustry.es/prod/airgon/product-182403-](https://www.directindustry.es/prod/airgon/product-182403-1802652.html)

[1802652.html](https://www.directindustry.es/prod/airgon/product-182403-1802652.html)

Ecomexico. (2017). *Generalidades de Topografía autor Ecomexico - Equipos y Consumibles de*

Occidente Av. Lopez - StuDocu. [https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-de-](https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-de-buenos-aires/edicion-electronica-y-multimedia/24-generalidades-de-topografia-autor-ecomexico/15789748)

[buenos-aires/edicion-electronica-y-multimedia/24-generalidades-de-topografia-autor-](https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-de-buenos-aires/edicion-electronica-y-multimedia/24-generalidades-de-topografia-autor-ecomexico/15789748)

[ecomexico/15789748](https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-de-buenos-aires/edicion-electronica-y-multimedia/24-generalidades-de-topografia-autor-ecomexico/15789748)

Escalante, J., Cáceres, J. J., & Porras, H. (2016). *Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV.*

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257049511010>

Fiovodrone. (2022). *ORTOFOTOS DRON GENERAMOS PLANOS - **[MODELIZADO EN 3D]***

. <https://fiovodrone.com/ortofoto-dron-dronedeploy-pix4d>

Flowing Perú. (2020). *Modelamiento hidráulico con IBER.*

<https://www.youtube.com/watch?v=iMhpCJjc4pQ>

Gabri. (2019). *¿Qué es la topografía? | El blog de franz.* [https://acolita.com/que-es-la-](https://acolita.com/que-es-la-topografia-la-guia-definitiva/)

[topografia-la-guia-definitiva/](https://acolita.com/que-es-la-topografia-la-guia-definitiva/)

García, A. F. (2010). *Instituto politécnico nacional escuela superior de ingeniería y arquitectura la fotogrametría aplicada al catastro tesis colectiva.*

https://www.academia.edu/34506615/INSTITUTO_POLIT%C3%89CNICO_NACIONAL_ESCUELA_SUPERIOR_DE_INGENIERIA_Y_ARQUITECTURA_LA_FOTOGRAMETR%C3%8DA_APLICADA_AL_CATASTRO_TESIS_COLECTIVA_QUE_PARA_OBTENER_EL_TITULO_DE_INGENIERO_CIVIL_PRESENTAN

Garcia, I. (2017, March). *Estudio sobre vehículos aéreos no tripulados y sus aplicaciones.*

<https://core.ac.uk/download/pdf/211106227.pdf>

García, M. del M. (2006). *Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas.*

https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis_pfc/PFC_MMarGracia_2006.pdf

Geomapchi. (2020). *Red de distribución de agua usando un modelo digital de elevación (MDE)*

en Qgis | plugin Qwater. <https://www.youtube.com/watch?v=0hPky6ZWu7k>

GeoSpatial. (2013). *GeoSpatial :: Soluciones Espaciales para Infraestructura*.

<https://www.geospatial.com.co/>

GeoSpatial. (2022). *Trimble Inpho | Trimble Geospatial*. [https://es-](https://es-la.geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-inpho)

[la.geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-inpho](https://es-la.geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-inpho)

Ghostysky. (2022). *Agisoft Metashape Professional – Licencia educativa perpetua – Ghostysky-*

Professional Unmanned Aerial Solutions. [https://www.ghostysky.com/product/agisoft-](https://www.ghostysky.com/product/agisoft-metashape-professional-perpetual-educational-license/)

[metashape-professional-perpetual-educational-license/](https://www.ghostysky.com/product/agisoft-metashape-professional-perpetual-educational-license/)

Gis&Beers. (2016, October 2). *Agisoft PhotoScan, ortomosaicos para drones - Gis&Beers*.

<http://www.gisandbeers.com/agisoft-photoscan-ortomosaicos-para-drones/>

GTS. (2021). *Levantamiento Topográfico e Importancia de los Levantamientos Topográficos*.

<https://gulftestinglab.com/topographical-survey-and-importance-of-topographical-surveys/>

Gutiérrez, J., & Gaviria, S. (2010). *Guía metodológica para materializar técnica y*

operativamente la sectorización de un sistema de distribución de agua potable, aplicado al sector centro de la ciudad de Pereira.

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17035/GU%c3%8dA%20METO>

[DOL%c3%93GICA%20PARA%20MATERIALIZAR%20T%c3%89CNICA%20.pdf?sequ](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17035/GU%c3%8dA%20METODOL%c3%93GICA%20PARA%20MATERIALIZAR%20T%c3%89CNICA%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
[ence=1&isAllowed=y](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17035/GU%c3%8dA%20METODOL%c3%93GICA%20PARA%20MATERIALIZAR%20T%c3%89CNICA%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Herrera, A., & Medina, E. (2019). *LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO E IMÁGENES DE*

DRON DEL CENTRO DE ESTUDIOS AGROAMBIENTALES (CEA) DE LA

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA SEDE UBATÉ, EVIDENCIANDO LA FALTA DE

ESTOS DATOS.

<https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/3615/Levantamien>

to%20Topogr%c3%a1fico%20E%20Im%c3%a1genes%20De%20Dron%20Del%20Centro
%20De%20Estudios%20Agroambientales.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Holler, W., Serrato, R., Santos, N., da Cruz, W., & Pereira, D. (2018). *Avaliação de acurácia e precisão de modelos digitais de superfície a partir de diferentes aeronaves remotamente pilotadas*. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/188609/1/2018-W.Holler-RTC-Avaliacao.pdf>

Ingeoexoert. (2021, November 24). *¿Qué es la topografía y cuáles son sus objetivos?* - Ingeoexpert. <https://ingeoexpert.com/2021/11/24/que-es-la-topografia-y-cuales-son-sus-objetivos/>

Mauricio, F., & Acosta, E. (2018). *Elaboración de la orto fotografía para escala 1:500 del campus de la universidad militar nueva granada ubicado en el municipio de cajicá. Elaboration of the ortho photography for scale 1: 500 of the campus of the military university nueva granada located in the municipality of cajicá.*

Nieto, J., & Becerra, W. (2019). *ELABORACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO POR MEDIO DE FOTOGRAMETRÍA OBTENIDA POR TECNOLOGÍA DRONE, RELACIONADO CON EL MÉTODO CONVENCIONAL, EN LA INTERSECCIÓN DE LA VÍA SABOYÁ SUTAMARCHÁN CON LA RUTA 45ª, BOYACÁ - COLOMBIA.*
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26666/1/ELABORACI%c3%93N%20DE%20MODELOS%20DIGITALES%20DE%20TERRENO%20POR%20MEDIO%20DE%20FOTOGRAMETR%c3%8dA%20OBTENIDA%20POR%20TECNOLOG%c3%8dA%20DRONE.pdf>

Nuevo, D. (2022, September 7). *Software gratuito de aguas | Formación de ingenieros.*
<https://www.tecpa.es/modelizacion-de-aguas/>

Pérez, J. (2001). *Apuntes de fotogrametría III*.

<http://redgeomatrica.rediris.es/cartoprofesores/Fotogrametria/ApuntesFotogrametria3.pdf>

Pinzón, E. (2019). *PROCESAMIENTO DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS EN SECTORES RURALES POR MEDIO DE DRONE*.

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22738/PinzonMonroyEdwinMauricio2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Quinillo, K. (2019). *AGISOFT METASHAPE*. <https://kevin.quinillo.com/agisoft-metashape/>

Radiocontrolers. (2022). *Coches RC Brushless o brushed ¿Qué motor eléctrico elijo?*

<https://radiocontrolers.com/coches-rc-brushless-brushed-motor-electrico-elijo/>

st. (2021). *Electronic speed controller for BLDC and PMSM three phase brushless motor*.

https://www.st.com/resource/en/user_manual/um2197-electronic-speed-controller-for-bldc-and-pmsm-three-phase-brushless-motor-stmicroelectronics.pdf

Ticona, N., & Turpo, V. (2021). *Análisis comparativo de levantamiento topográfico convencional y fotogramétrico de la red de distribución de agua potable en el distrito de Taraco – Huancané – Puno*.

https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/4936/Noemi_Tesis_Licenciatura_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vertical spect. (2016). *Pix4D-¿Qué archivos de salida se deben usar? -*.

https://verticalaspect.com/aiovg_videos/pix4d-which-output-files-should-be-used/

Yoo, C. I., Oh, Y. S., & Choi, Y. J. (2018). *COASTAL MAPPING OF JINU-DO WITH UAV FOR BUSAN SMART CITY, KOREA*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-725-2018>