



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

APLICACIÓN DEL VANT EN LAS VÍAS TERRESTRES

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES

PRESENTA:

ING. MARTIN GARCIA MONTES

DIRECTOR DE TESINA: **ING. GUILLERMO ESQUIVEL CASTAÑEDA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

AGOSTO 2021

Índice

Introducción	2
Marco Teórico.....	3
Antecedentes.....	4
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
Problemática.....	7
1.- Geodesia	8
2.- Sistemas De Referencia.....	12
3.- Proyecciones Cartográficas UTM.....	14
4.- Topografía	18
4.1.- Levantamientos Topográficos	23
5.- Fotogrametría.....	27
6.- Vías Terrestres.....	33
6.1.- Relación de la topografía con las vías terrestres	35
7.- VANT (Vehículo aéreo no tripulado).....	37
7.1.- Clasificación de los VANT	37
7.2.- Ventajas al utilizar VANT.....	39
8.- Caso de estudio	45
8.1.- Zona de estudio: Presa San José S.L.P.....	45
8.2.- Aplicación.....	46
8.3.- Resultados	50
Conclusión.....	52
Referencias	53
Ilustraciones	54
Tabla.....	55
Ecuaciones	55

Introducción

La implementación de nuevas tecnologías es de gran importancia en la vida cotidiana, el principal objetivo de la administración del conocimiento es conectar las fuentes de generación del conocimiento con las necesidades de aplicación, es decir, que el conocimiento se aplique en el lugar y el momento exacto.

En la ingeniería en las vías terrestres se ha buscado la implementación de tecnologías como el Big Data, la red 5G, el internet de las cosas o la conducción autónoma, estas están a la orden del día y pretenden revolucionar el transporte por carretera buscando el desarrollo de carreteras y ciudades inteligentes con el principal objetivo de beneficiar a la sociedad ayudando a reducir los accidentes, a mejorar el transporte, optimizar tiempos, etc.

Esta tesina busca impulsar y dar la importancia que merecen las nuevas tecnologías como lo es el dron el cual es un vehículo aéreo no tripulado, por eso también se le puede llamar VANT abreviatura de vehículo aéreo no tripulado en español. La palabra dron viene del inglés cuya traducción literal es "zángano", y es coloquialmente conocido como dron o drone. Pueden ser controlados por pilotos desde el suelo o cada vez más, de manera autónoma de una misión preprogramada en los procesos para el desarrollo de proyectos y ante proyectos, principalmente en las vías terrestres debido a que estas toman un papel relevante en el desarrollo del país permitiendo la movilidad de cargas y personas ofreciendo mayor seguridad, bienestar y trayectos más rápidos.

La importancia de la precisión de los cálculos de volumetría radica en un buen levantamiento topográfico, generalmente los levantamientos topográficos se realizan con estación total, la cual arroja una serie de datos que en ciertos casos no son muy representativos del terreno debido a la retícula realizada, sin embargo en el presente trabajo se aborda las ventajas de la aplicación de los Vant que permiten la obtención detallada de datos de lugares con difícil acceso o en zonas de alto riesgo, además de que nos permite optimizar tiempos y costos. El objetivo de estudio del presente trabajo es demostrar la importancia de la implementación de los Vant en las vías terrestres, con la finalidad de obtener los resultados que sean confiables, precisos y detallados.

Marco Teórico

El nombre más común por el cual se refiere a este tipo de vehículos es el de dron, sin embargo, es conveniente definir algunos conceptos y terminología relacionada, que ayuda a comprender este tema.

Dron es un sistema aéreo no tripulado que cumple una función concreta, por ejemplo, al agregarle una cámara con el fin de practicar reconocimiento de terreno (Corredor, 2015)^[3].

Multicópteros. Aeronaves con múltiples rotores los cuales les permiten despegar de manera vertical, existen varias clasificaciones según el número de motores.

ITS son las siglas en inglés de Sistemas de Transporte Inteligente y son aplicaciones avanzadas pensadas para ofrecer servicios innovadores relativos a diferentes modos de transporte y de gestión del tráfico.

Es importante mencionar que, debido al gran auge de esta tecnología en el uso civil, particularmente en el recreativo, es necesario el desarrollo de normativas y leyes que regulen el uso del espacio aéreo y delimiten las características que deben cumplir vehículos y pilotos, con el fin de garantizar la seguridad y la correcta operación de los mismos (Alcantara, 2014)^[1].

Se toman en cuenta organizaciones de referencia a la FAA (Federal Aviation Administration) y a la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional), además de considerar estudios que han comenzado a implementar el uso de VANT en diversas áreas. Desde el 2005 se comenzó a crear un marco normativo internacional el cual, gracias al apoyo de las diferentes instituciones involucradas y relacionadas en el ámbito, ha logrado evolucionar con el paso de los años y actualmente sirve como referencia para el correcto uso y operación de los VANT alrededor del mundo. En México se busca crear una normativa sólida que regule su uso e imponga sanciones adecuadas a infractores.

Antecedentes

La aviación no tripulada tuvo sus comienzos en los modelos construidos y volados por inventores como Cayley, Stringfellow, Du Temple y otros pioneros de la aviación, que fueron previos a sus propios intentos de desarrollar aeronaves tripuladas a lo largo de la primera mitad del siglo XIX. Estos modelos sirvieron como bancos de pruebas tecnológicos para el posterior desarrollo de modelos de mayor tamaño con piloto a bordo y, en este sentido, fueron los precursores de la aviación tripulada (González & Gisbert , 2017.)^[4].

En el año de 1898 de la mano de Nikola Tesla, se diseñaría y crearía un vehículo tripulado por radio control; la creación de esta tecnología implicaría un enorme nicho de oportunidad para los VANT al poder brindarles la posibilidad a los usuarios de operarlos a distancia gracias a la radio frecuencia. Durante 1951 la compañía Ryan desarrolló el “Firebee” el cual fue capaz de volar durante dos horas y alcanzar alturas de hasta 60,000 pies (18,288 m).

El término vehículo aéreo no tripulado se hizo común en los años 90 para describir a las aeronaves robóticas y reemplazó el término vehículo aéreo pilotado remotamente, el cual fue utilizado durante la guerra de vietnam y con posterioridad. el documento “Joint Publication 1-02, Department of Defense Dictionary” editado por el Ministerio de Defensa de los Estados unidos define UAV como: Un vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo a un operador humano, utiliza las fuerzas aerodinámicas para generar la sustentación, puede volar autónomamente o ser tripulado de forma remota. Sin embargo, no considera a los misiles o semibalísticos, proyectiles de artillería globo o dirigibles. Para la guerra fría el potencial de reconocimiento de los drones había avanzado y la empresa Ryan logró crear varios modelos de aeronaves no tripuladas, las cuales podían ser controladas desde una nave tripulada por medio de radio control, para ser recuperadas después por helicópteros; a estos VANT se les denominaba “insectos”. Posterior al año 1960, Estados Unidos comenzó a sustituir a sus icónicos U-2 por VANT para realizar reconocimientos en áreas sensibles después de la guerra fría, como lo eran Cuba, China y Corea del Norte; esto marcaría el comienzo del desarrollo y utilización de la tecnología con fines de espionaje. Y que en la actualidad la CIA (Central Intelligence Agency) aún utiliza este tipo de aeronaves con dichos fines sobre zonas de interés militar, como Irán.

En Vietnam los VANT conocidos como “luciérnagas” se utilizaron para gran variedad de misiones y recolección de datos; debido a la gran cantidad de pérdidas humanas y materiales, se abrió el camino para que los drones militares sustituyeran a las aeronaves tripuladas en varias misiones. Además, con la unión de ciertas organizaciones surge también los prototipos minis como es el caso del modelo “Aquila rpv-drone”. Estos prototipos podían transportar cámaras de video y láser, además de estas aeronaves de vigilancia, el ejército de los Estados Unidos comenzó a experimentar con Firebees equipados con armamento. Posteriormente impulsados por los avances de la inteligencia cartográfica, los drones comenzarían su carrera entre lo legal y lo tecnológico cuando fue creado el VANT “Predator”, este modelo contemporáneo es capaz de identificar a un objetivo puntual y darle “caza” con gran precisión, brindando una gran ventaja sobre su oponente en caso de ser empleado en guerras. Sin embargo y con el avance de la tecnología y las necesidades de la población, los drones comenzaron su aplicación dentro de la sociedad civil de manera más activa, fueron las grandes casas de estudio de países desarrollados las que comenzaron a crear modelos simples diseñados por ingenieros de áreas afines a la electrónica, mecánica y computación, los cuales cumplían la finalidad de servir como experimentos didácticos dentro de las aulas, pero esto no fue hasta inicios del siglo XXI.

Pronto se logró mejorar y adaptar los prototipos a diferentes áreas de aplicación, se convirtieron en herramientas de apoyo capaces de realizar actividades que ningún otro tipo de vehículo podía realizar. El modelo más común utilizado por su estabilidad es el “quadcopter”, el cual ha recorrido un largo camino desde los primeros prototipos diseñados en 1907 por Louis Breguet. Al día de hoy, los modelos de uso civil más avanzados son capaces de volar de manera estable, autónoma y confiable, recolectar información variada gracias a los sensores que incorporan en su cuerpo y transmitirla al operador o almacenarla en sus elementos. facilitando así la mayoría de las actividades en las que son empleadas (Luque, 2016)^[5].

Logrando de esta manera ser posicionados en el mercado para público en general, una de las aplicaciones claras es en la ingeniería civil ya que sirve de gran apoyo para realizar estudios topográficos, levantamientos, realizar fotogrametría, etc.

Objetivo general

Establecer la importancia de la implementación de nuevas tecnologías como son los VANT (Vehículos aéreos no tripulados), conocidos como Drones, aplicados específicamente a las vías terrestres con el fin de obtener resultados más precisos y detallados mediante la fotogrametría.

Objetivos específicos

- Lograr una optimización de tiempos en zonas de alto riesgo o difícil acceso.
- Disminuir costos de operación.
- Captura de un mayor número de puntos para crear las planimetrías.
- Obtención de volumetrías mediante diferentes softwares para el procesamiento de datos.

Problemática

Las vías terrestres son de gran importancia en el desarrollo de cualquier país debido a que el bienestar de las naciones está relacionado con el grado de desarrollo de su infraestructura, especialmente la del transporte que contribuye a una comunicación permanente y efectiva entre centros de población, producción y de desarrollo económico. De igual manera las vías terrestres proporcionan un sentido de unidad y seguridad al país, ya que permiten el acceso a servicios de educación, salud, cultura, entre muchos otros.

Es importante mencionar que las vías terrestres son todos aquellos elementos que permiten el tránsito, comunicación y transporte de personas y bienes a través de los diferentes modos de transporte como lo son el carretero, urbano, ferroviario, aéreo y fluvio-marítimo empleando diversos vehículos según sea el caso los cuales deben circular en condiciones de seguridad, comodidad, economía y eficiencia.

Para proyectar cualquier tipo de vía terrestre es necesario realizar un levantamiento topográfico, actualmente se realiza con estación total, proponiendo una retícula de puntos para recopilar la información de estos, sin embargo, estas retículas en la mayoría de los casos son muy generales debido a que entre más detalladas estén, se llevara un mayor tiempo para realizar el levantamiento topográfico.

Una vez realizado el levantamiento topográfico con estación total, se procede al procesamiento de datos los cuales fueron obtenidos de manera general, por lo que los volúmenes de terracerías se ven afectados y esto se refleja directamente en el costo del proyecto.

1.- Geodesia

Según Quirós (2014) “La geodesia es la ciencia que tiene como objetivo el estudio y determinación de la forma y dimensiones de la Tierra, su campo gravitatorio y sus variaciones temporales.”

La geodesia la podemos dividir en dos grandes ramas:

1. La geodesia superior o geodesia: Es la parte de la geodesia que trata de determinar y representar la Tierra en términos globales.
2. La geodesia práctica o topografía: Es la parte de la geodesia que estudia y representa porciones menores de la Tierra donde la superficie puede ser considerada plana”.

Si nos basamos en el estudio de la tierra, según un concepto matemático, la geodesia estudia tanto la forma como las dimensiones de la tierra, sin embargo, también se estudian, según la definición del concepto geodesia, el campo gravitatorio y sus variaciones temporales. Estos dos últimos conceptos entrarían dentro del campo de la física.

Siguiendo este último razonamiento podemos dividir la geodesia en dos tipos:

- Geodesia física (Campo gravitatorio): Estudia el campo gravitatorio de la Tierra por hipótesis de modelos de distribución de masas dentro de la Tierra o midiendo la gravedad en la superficie. Define el Geoide como figura que precisa la forma de la tierra (Ilustración 1. Geoide: Superficie de referencia Altimétrica. (Fuente: European Spatial Agency).

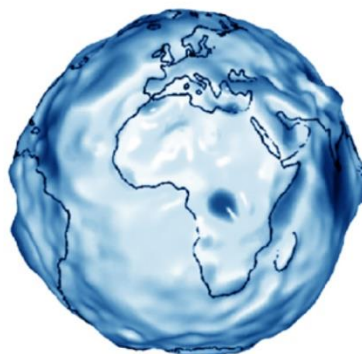


Ilustración 1. Geoide: Superficie de referencia Altimétrica. (Fuente: European Spatial Agency).

- Geodesia Matemática (Figura de la tierra): Estudia la figura de la Tierra mediante la determinación de coordenadas de puntos situados sobre la superficie terrestre bajo un sistema de referencia fijo y válido para toda la Tierra. En la Ilustración 2. “Elipsoide: Superficie de referencia planimétrica” se aprecia el elipsoide el cual se define como la forma de la tierra.



Ilustración 2. “Elipsoide: Superficie de referencia planimétrica”

Ramas de la Geodesia

Existen varias ramas dentro de la Geodesia.

1. Astronomía geodésica: Determinación de coordenadas geográficas de puntos y acimutes de ciertas direcciones por métodos astronómicos, independientes de cualquier hipótesis de la forma de la Tierra.
2. Geodesia geométrica: Los datos de observación están constituidos por las medidas de ángulos y distancias en la superficie terrestre. El conocimiento de la geometría del elipsoide de revolución es fundamental.
3. Geodesia dinámica: Dedicada a la determinación de las variaciones en las posiciones de las coordenadas de puntos, producidas de una forma temporal, secular, periódica o de naturaleza brusca, que pueden ocurrir globalmente, localmente o regionalmente.

División de la Geodesia

Atendiendo a la extensión del estudio geodésico, la geodesia se puede dividir en tres categorías:

1. Geodesia global: Es practicada internacionalmente a nivel global y coordinada para toda la Tierra.
2. Geodesia regional: Es practicada por cada país, independientemente del resto, con el fin de resolver los problemas planteados por la cartografía y la geografía perteneciente a la nación.
3. Geodesia topográfica: Trata de precisar detalles de una cierta superficie de pequeñas dimensiones, considerando esta superficie plana o esférica, según sus dimensiones.

Objetivos de la Geodesia

- Establecer y mantener redes de control tridimensionales nacionales y globales (Ilustración 3. Red Geodésica Global.), teniendo en cuenta los movimientos de las placas tectónicas.

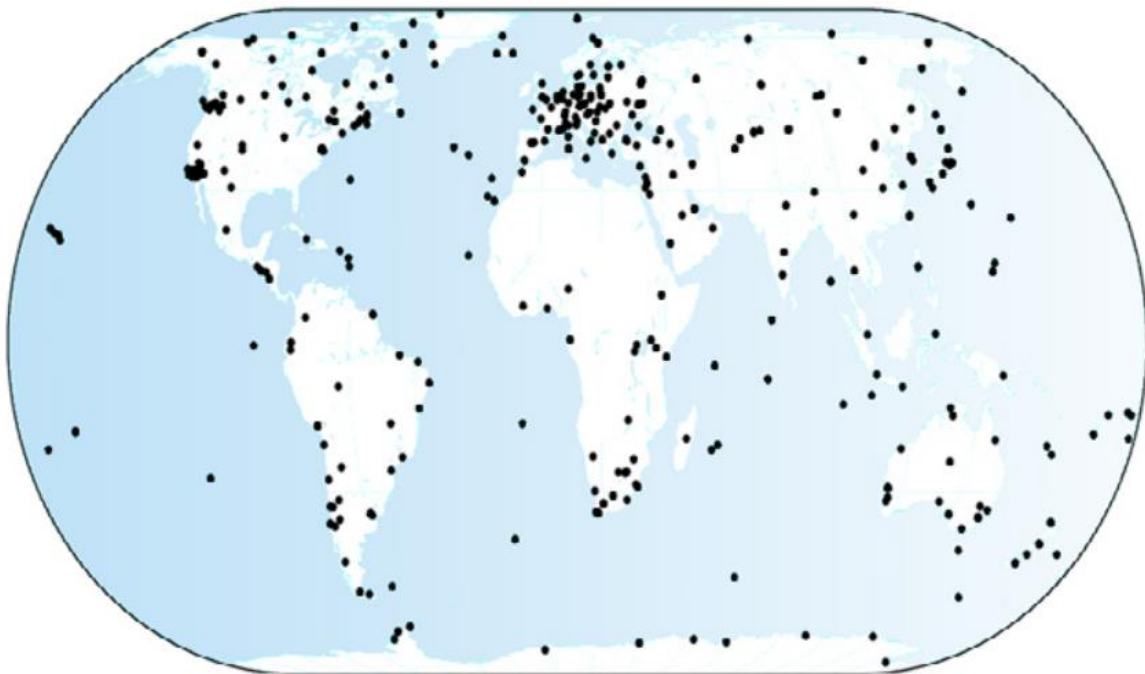


Ilustración 3. Red Geodésica Global.

- Medición y representación de fenómenos geofísicos tales como las mareas terrestres, movimientos de los polos (Ilustración 4. Movimiento del polo. (Fuente: NASA JPL)) y de la corteza.

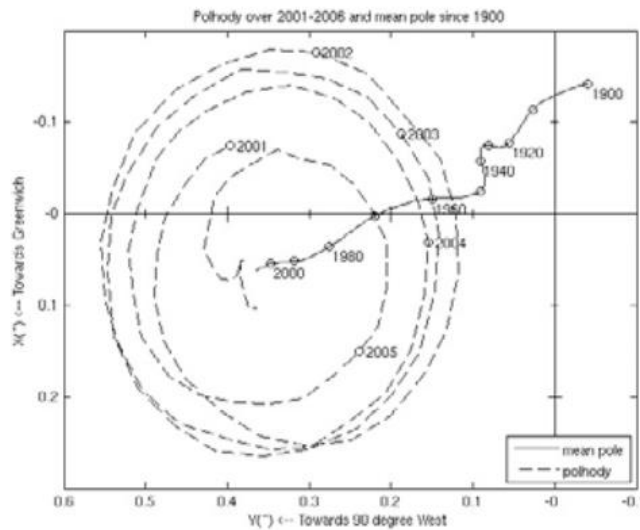


Ilustración 4. Movimiento del polo. (Fuente: NASA JPL).

- Determinación del campo gravitatorio y sus variaciones temporales, obteniendo datos que hacen determinar la figura del geoide como en la Ilustración 5. Geoide EIGEN-CG01C.

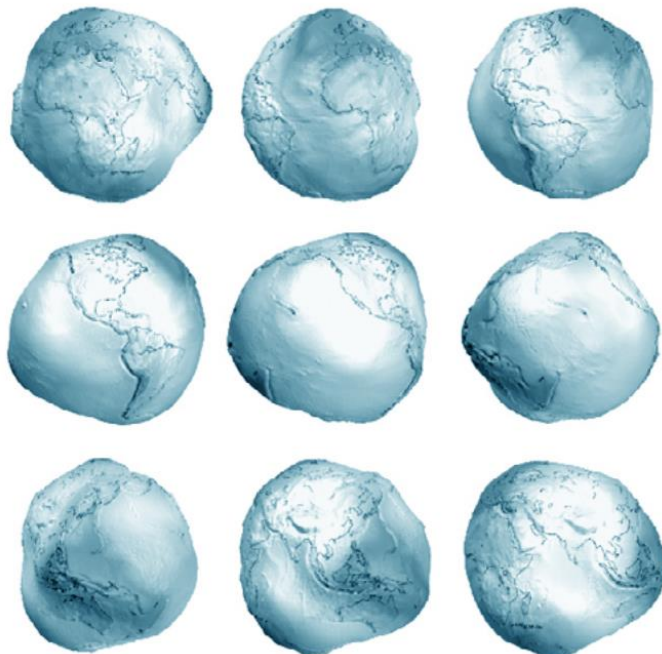


Ilustración 5. Geoide EIGEN-CG01C.

2.- Sistemas De Referencia

Un sistema de referencia consiste en un conjunto de modelos necesarios para la descripción de posiciones y movimientos de cuerpos celestes, incluida la tierra (sistemas celestes) o de cuerpos sobre la tierra (sistemas terrestres). Deben definirse, para ello: Origen, escala, orientación y plano principal.

Un sistema de referencia se denomina Inercial, si se encuentra en reposo o se mueve con velocidad constante respecto al resto del universo. Por tanto, se considera fijo en el espacio.

Hay dos niveles fundamentales de sistemas de referencia:

- Los Sistemas de Referencia Celestes (CRS3): Son sistemas cuasi-inerciales respecto a los cuales referimos las posiciones de los objetos celestes, por ejemplo, estrellas. La dirección del eje de rotación terrestre permanece aproximadamente constante respecto a tales objetos y permite definir el sistema de referencia. Tal y como se aprecia en la Ilustración 6. Sistema de Referencia Celeste, su plano fundamental es el Ecuador, el eje Z se sitúa en la dirección del eje de rotación terrestre. El eje X en la dirección del punto Aries, y el eje Y formando triedro directo con los dos anteriores. Su origen es el centro de masas de la Tierra.

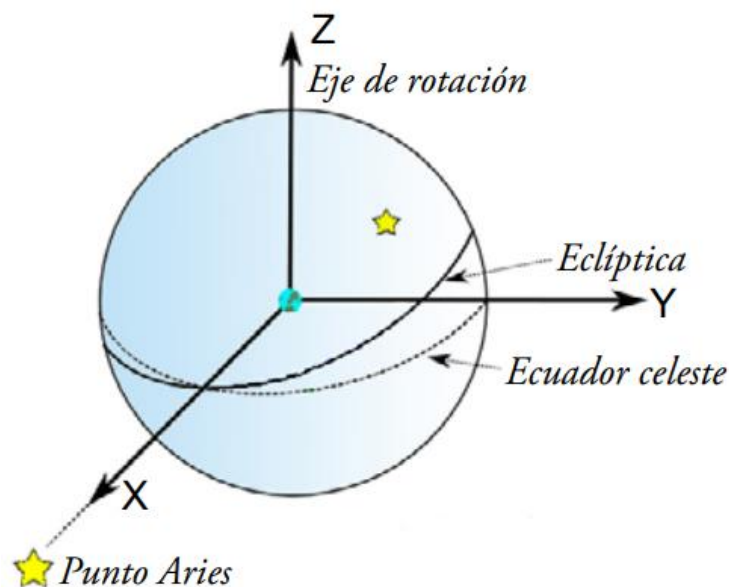


Ilustración 6. Sistema de Referencia Celeste.

- Los Sistemas de Referencia Terrestres (TRS4): Son sistemas ligados a la tierra y giran conjuntamente con ella. Son no inerciales debido a que los sistemas de referencia terrestres o fijos a la Tierra se utilizan para determinar coordenadas de puntos sobre la superficie terrestre o en sus proximidades. Por tanto, al igual que la Tierra, están en continua rotación. En este tipo de sistemas de referencia no se cumplen las ecuaciones del movimiento de Newton al aparecer aceleraciones rotacionales (centrífuga y de Coriolis). Su plano fundamental es el ecuador y tal y como se aprecia en la Ilustración 7. Sistema de Referencia Terrestre, el eje Z está en la dirección de eje de rotación terrestre, el X en la dirección de la intersección del meridiano de Greenwich con el Ecuador y el Y formando un triedro directo con los anteriores. Su origen es el centro de masas de la tierra.

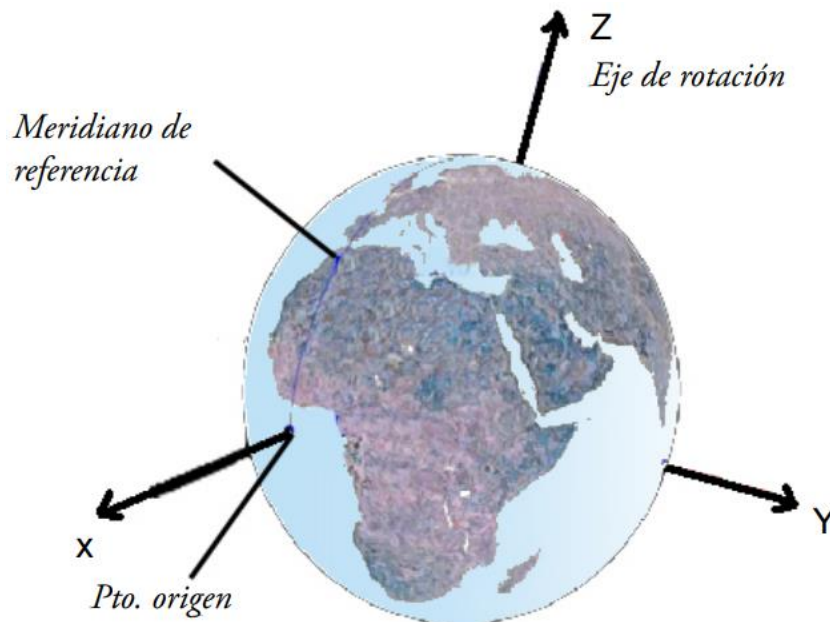


Ilustración 7. Sistema de Referencia Terrestre.

Marcos de Referencia

Un marco de referencia es la materialización de un sistema de referencia. El marco de referencia está constituido por el conjunto de coordenadas de los puntos de definición, las técnicas aplicadas en las observaciones de los mismos y los métodos de cálculos con los que se obtienen las coordenadas. Cada sistema de referencia tiene su correspondiente marco asociado, pero en algunos casos, un mismo punto puede servir de marco para sistemas diferentes (Quirós, 2014)^[6].

3.- Proyecciones Cartográficas UTM

Una Proyección Cartográfica es una correspondencia biunívoca entre los puntos de la superficie terrestre y los puntos de un plano llamado Plano de proyección. Puesto que cualquier punto de la esfera está definido por sus coordenadas geográficas (λ , φ) y cualquier punto del plano lo está por sus coordenadas cartesianas (X , Y), existirá una serie infinita de relaciones que ligen (λ , φ) con (X , Y) (Luque, 2016) ^[5]. Cada una de estas infinitas relaciones será un sistema de proyección cartográfico.

Se trata de proyectar las sombras de los meridianos y paralelos sobre una superficie que pueda convertirse en plana sin deformaciones (cilíndrica Ilustración 8. Proyección Cilíndrica, o cónica).



Ilustración 8. Proyección Cilíndrica.

Tipos de Proyección

Las proyecciones se pueden clasificar en función de:

1. Las propiedades que conserven: Algunas conservan los ángulos, otras las distancia.
2. La superficie auxiliar con la que se realiza la proyección (Ilustración 9. Tipos de Proyección en función de la superficie auxiliar que se utilice): Un cilindro, un cono o un plano.

3. Tangencia de la superficie auxiliar (Ilustración 11. Tipos de Proyección en función de la situación de la tangencia): La tangencia puede hacerse por un meridiano, por un paralelo, por los polos.
4. Punto desde el que se proyecta (Ilustración 10. Tipos de Proyección en función del punto de proyección): Este puede estar en el interior de la esfera, en su superficie o alejado de la misma.

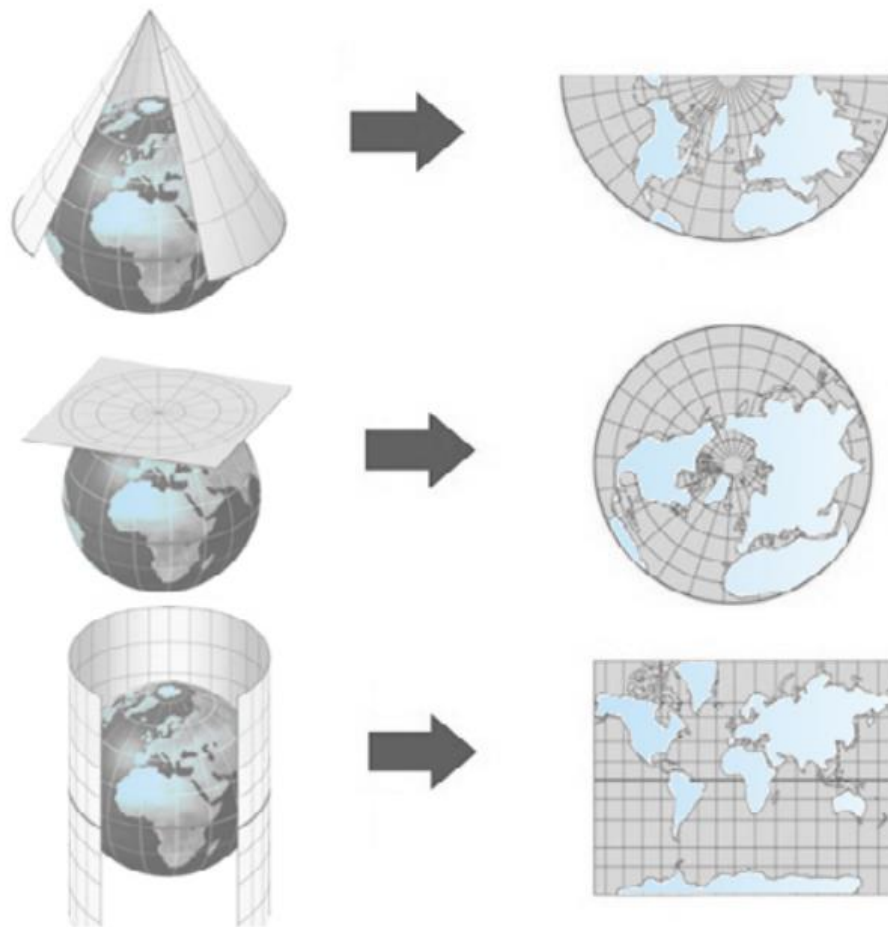


Ilustración 9. Tipos de Proyección en función de la superficie auxiliar que se utilice.

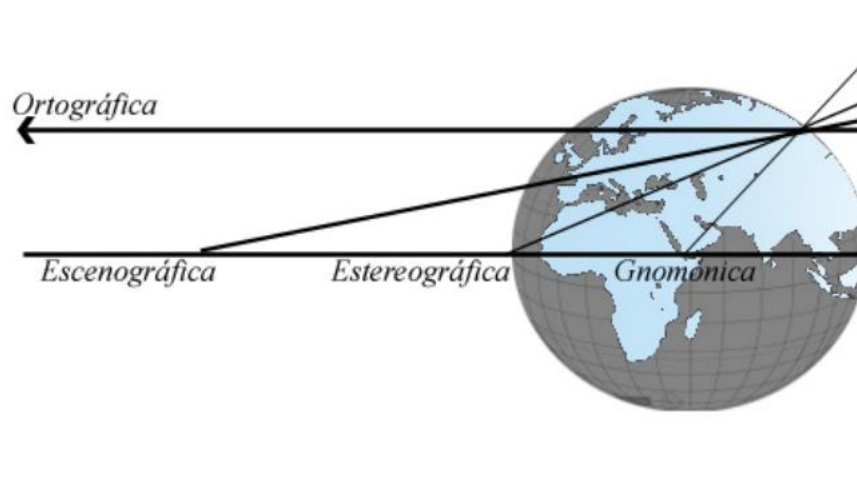


Ilustración 10. Tipos de Proyección en función del punto de proyección

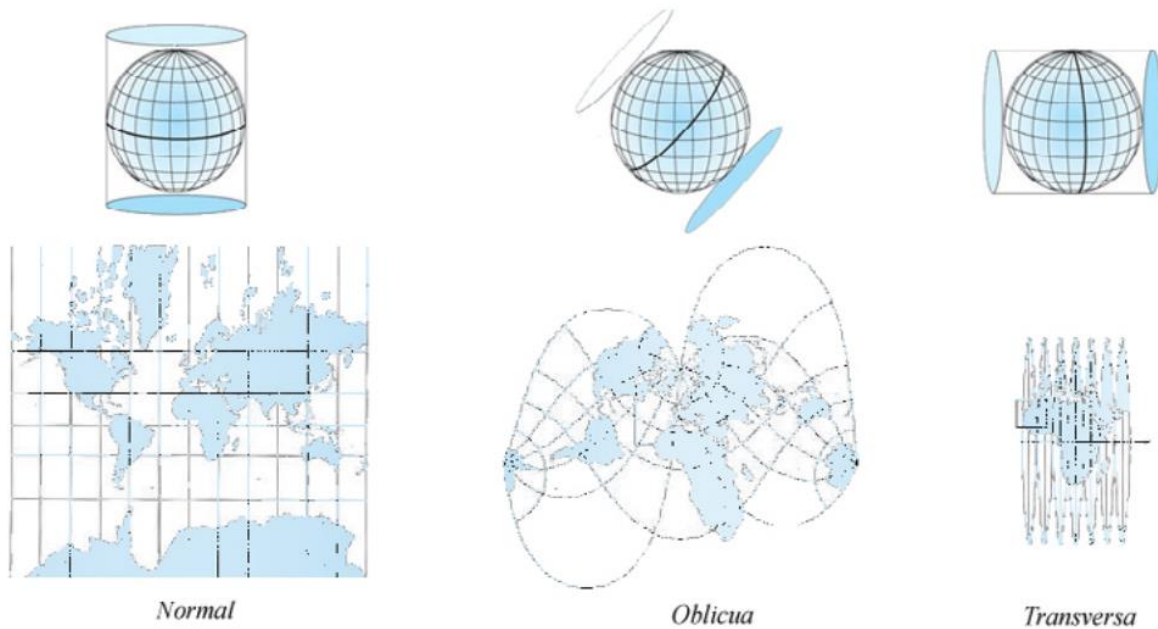


Ilustración 11. Tipos de Proyección en función de la situación de la tangencia.

Proyección UTM

En el RD 1071/2007 se especifica que: “Para cartografía terrestre, básica y derivada, a escalas mayores de 1:500.000, se adopta el sistema de referencia de coordenadas ETRS-Transversa de Mercator” Lo que indica que las mediciones han de ser referidas al sistema de referencia ETRS89 y posteriormente proyectadas al cilindro de la proyección UTM.

La proyección UTM es una proyección cilíndrica en la que el eje del cilindro está en el plano ecuatorial y el cilindro es tangente a un meridiano llamado meridiano origen.

Como se aprecia en la Ilustración 12. Disposición del Cilindro de proyección, al proyectar y desarrollar el cilindro el eje Y es el meridiano origen y el X es la generatriz tangente al ecuador del cilindro.

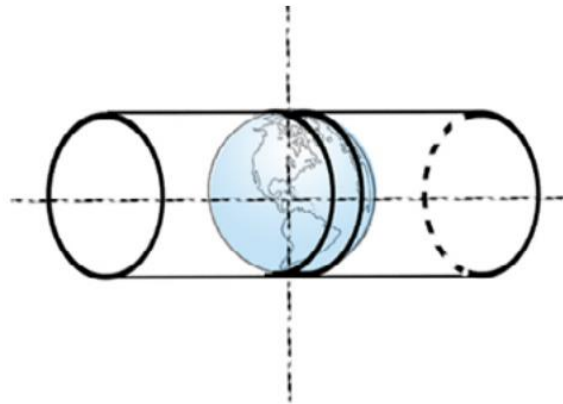


Ilustración 12. Disposición del Cilindro de proyección.

Se define huso como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos. En el caso de UTM los husos comprenden 6° de longitud con la disposición mostrada en la Ilustración 13. Distribución de los Husos a escala global:

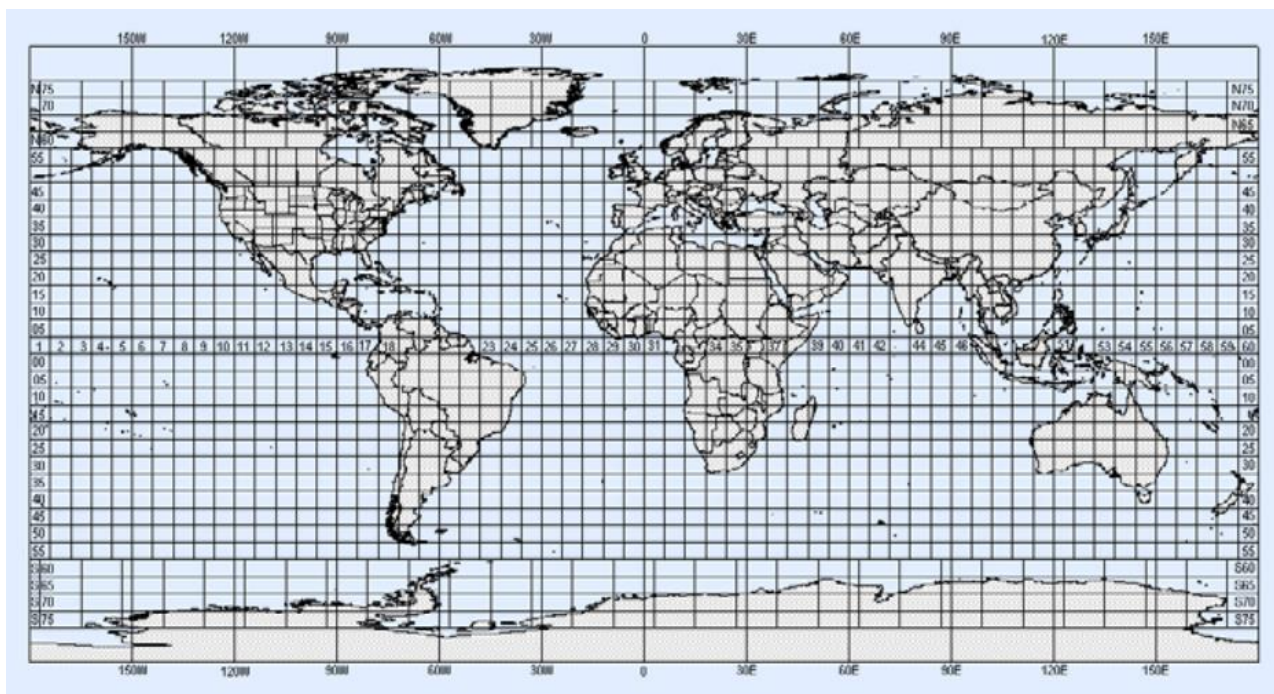


Ilustración 13. Distribución de los Husos a escala global.

4.- Topografía

Quirós (2014) afirma “Es una ciencia aplicada que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra, así como la representación en un plano de una porción (limitada) de la superficie terrestre; es decir, estudia los métodos y procedimientos para hacer mediciones sobre el terreno y su representación gráfica o analítica a una escala determinada. También ejecuta replanteos (trazos) sobre el terreno para la realización de diversas obras de ingeniería, a partir de las condiciones del proyecto establecidas sobre un plano. Así mismo, realiza trabajos de deslinde, división de tierras (agrodesia), catastro rural y urbano, así como levantamientos y trazos en trabajos subterráneos”.

En la práctica de la topografía es necesario tener conocimientos de matemáticas, así como un adiestramiento sobre el manejo de instrumentos para hacer mediciones. Para comprender mejor esta ciencia y profundizar en ella, es necesario tener conocimientos de física, cosmografía, astronomía, geología y otras ciencias.

Además, la topografía está en estrecha relación con la geodesia y la cartografía. La primera se encarga de determinar la forma y dimensiones de la Tierra, y la segunda de la representación gráfica, sobre una carta, mapa o un plano, de una parte, de la Tierra o de toda ella.

Entre la topografía y la geodesia hay diferencia en los métodos y procedimientos de medición y cálculo, pues la primera realiza sus trabajos en porciones relativamente pequeñas de la superficie terrestre, considerándola como plana, en tanto que la geodesia toma en cuenta la curvatura terrestre, y sus mediciones son sobre extensiones más grandes: poblados, estados, países, continentes o la Tierra misma (Castro & Vélez, 2017)^[2].

La representación gráfica de estas mediciones la realiza otra ciencia, la cartografía, que proyecta sobre un plano las partes del esferoide terrestre; en cambio el dibujo topográfico proyecta las medidas sobre una superficie en un plano.

Para ilustrar una idea general, veamos lo siguiente: Si se compara la diferencia angular entre un triángulo plano y uno esférico, proyectados sobre la superficie terrestre, cuyas

áreas midan 200 km² de superficie, habrá una diferencia angular de sólo un segundo de arco. Los errores se pueden presentar por considerar una superficie plana y serán importantes en la medida en que se incremente su tamaño y se requiera mayor precisión. Así, sería necesaria una topografía más precisa a la intervención de procedimientos geodésicos.

Actividades y divisiones para su estudio

Las actividades principales de la topografía se realizan en el campo y el gabinete. En el primero se efectúan las mediciones y recopilaciones de datos suficientes, y en el segundo para dibujar en un plano una figura semejante al terreno que se desea representar. A estas operaciones se les denomina levantamientos topográficos (Alcantara, 2014)^[1].

Sobre los planos se hacen proyectos (urbanizaciones, caminos, instalaciones deportivas, etc.), cuyos datos y especificaciones deben replantearse posteriormente sobre el terreno, a esta operación se le conoce como trazo.

Entre las actividades de gabinete se encuentran los métodos y procedimientos para el cálculo y el dibujo.

La topografía se divide en: planimetría o planimetría, altimetría, planimetría y altimetría simultáneas, triangulación, trilateración y fotogrametría.

Aplicaciones a diversas profesiones

La topografía tiene aplicaciones en la ingeniería agrícola, tanto en levantamientos como trazos, deslindes, divisiones de tierra (agrodésia), determinaciones de áreas (agrimensura), nivelación de terrenos, construcción de bordos, canales y drenes. En la ingeniería eléctrica: levantamientos previos y trazos de líneas de transmisión, construcción de plantas hidroeléctricas, instalación de equipo para plantas nucleoeeléctricas, etc (González & Gisbert , 2017.)^[4]. En la ingeniería mecánica e ingeniería industrial: Para la instalación precisa de máquinas y equipos industriales, configuraciones de piezas metálicas de gran precisión, etc. En la ingeniería minera: Para el levantamiento y trazo de túneles, galerías y lumbreras, cuantificaciones de volúmenes extraídos, etc. En la ingeniería geológica: En la relación de las formaciones geológicas, determinación de configuraciones de cuencas hidrológicas, como apoyo fundamental de la fotogeología, etc. En la ingeniería civil: En los trabajos

topográficos antes, durante y después de la construcción de obras, como carreteras, ferrocarriles, edificios, puentes, canales, presas, fraccionamientos, servicios municipales, etcétera.

Existen otras ramas, como la ingeniería hidráulica, forestal, ambiental o la arquitectura, pero la topografía, al hacer por medición directa o por cálculo, o bien, por restitución fotogramétrica, la representación gráfica del terreno constituye el punto de partida de diversos proyectos que requieren información de la posición, dimensiones, forma del terreno, etc., sobre el cual se va a realizar cualquier obra o un estudio determinado.

Cadenas

La topografía es una aplicación de la geometría, en la que tenemos una correspondencia entre los elementos geométricos y su materialización sobre el terreno. Así, en geometría, una cadena (puede ser abierta o cerrada) es una sucesión de elementos geométricos (Ilustración 14. Cadenas en topografía).

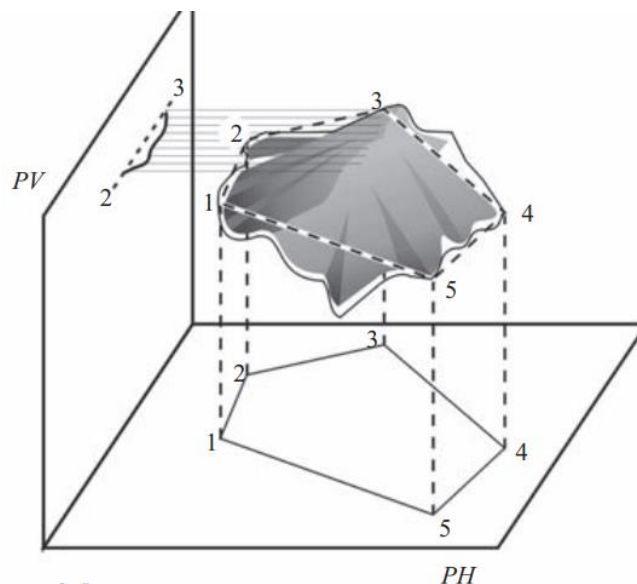


Ilustración 14. Cadenas en topografía.

Para entender este punto de la topografía se tiene la definición de elemento geométrico, el cual es la geometría que forma parte de un todo; por ejemplo, sus elementos son: los puntos, las líneas rectas y curvas, el sentido de una línea.

De esta manera se puede hablar de un objeto geométrico que es “algo de lo que se habla en geometría”; pueden ser elementos en forma individual o ligada; por ejemplo, los puntos,

las rectas, las curvas, diagonales, contornos, superficies, cuerpos, etcétera. Al momento de relacionar estos términos se obtiene el de Cadena geométrica. Es un conjunto de elementos geométricos ligados entre sí.

- Cadena topográfica

Esta cadena es una sucesión de elementos auxiliares, como vértices y lados, que se materializan sobre el terreno y se proyectan sobre un plano, para identificarlos como puntos, líneas, etc., como elementos de una cadena geométrica o poligonal.

La planimetría o cadena planimétrica es una de las divisiones de la topografía, que consiste en proyectar sobre un plano horizontal los elementos de la cadena o poligonal sin considerar su diferencia de elevación (Ilustración 14. Cadenas en topografía).

La altimetría o cadena altimétrica, es la parte de la topografía que estudia la elevación de los puntos sobre la superficie terrestre, para dar su posición relativa o absoluta, y la proyecta sobre un plano vertical; referida a un plano de comparación cualquiera o a una superficie de comparación como el nivel del mar. La determinación de los valores correspondientes se consigue mediante su operación fundamental, que recibe el nombre de nivelación y puede considerarse como un tipo de levantamiento (Ilustración 14. Cadenas en topografía).

La planimetría y altimetría simultáneas, son la parte de la topografía que estudia los métodos y procedimientos de medición y representación gráfica de los elementos que componen las cadenas planimétrica y altimétrica simultáneamente (Ilustración 15. La planimetría y altimetría simultáneas).

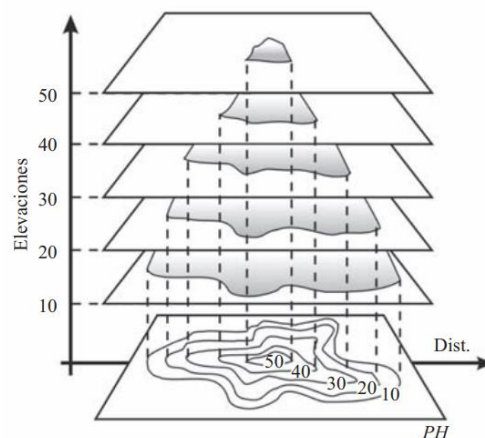


Ilustración 15. La planimetría y altimetría simultáneas.

- Sistemas de referencia

Los planos del meridiano, del horizonte y el vertical, se usan en topografía para proyectar sobre ellos los objetos geométricos para conocer su posición en dos o tres dimensiones, formando sistemas de coordenadas (x, y) , (x, y, z) , (n, e) , (r, θ) , que son distancias a los ejes de referencia contenidos en los planos ya mencionados (Ilustración 16. proyección en tres ejes).

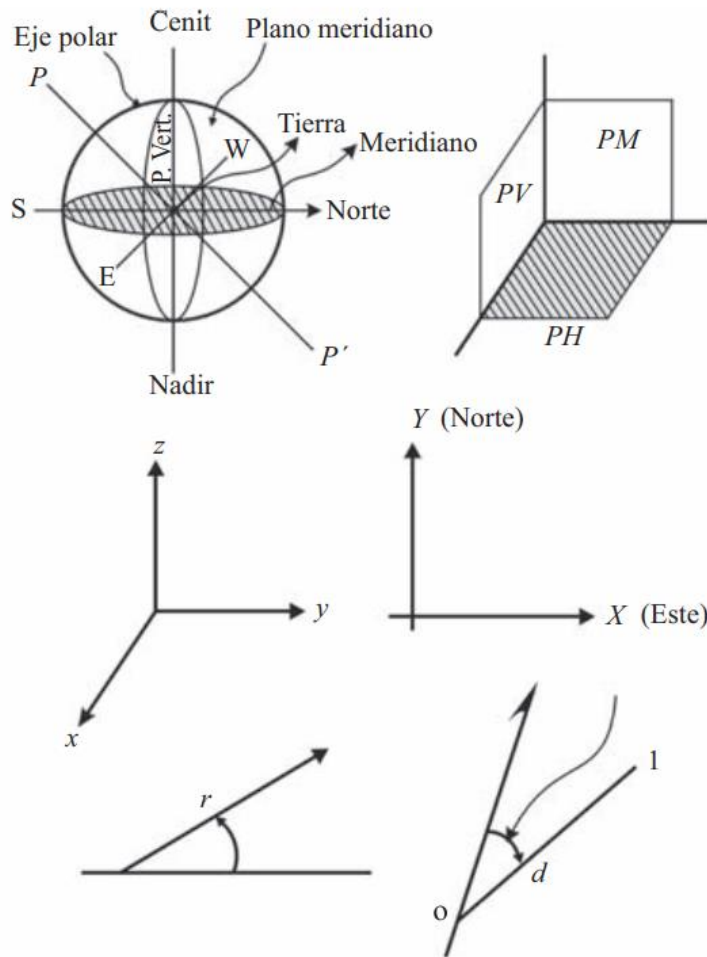


Ilustración 16. proyección en tres ejes.

Plano meridiano. Es el que pasa por un punto cualquiera de la Tierra, y contiene el eje polar; divide la esfera celeste en dos partes iguales, describiendo un círculo máximo por el cual pasa la línea cenit-nadir (vertical del lugar).

Plano del horizonte. Es un plano perpendicular a la vertical que pasa por un punto cualquiera de la Tierra, describiendo otro círculo máximo, como el que se describe del plano meridiano.

Meridiano. Es la línea que resulta de la intersección del plano-meridiano con el plano del horizonte. Se le conoce como línea norte-sur o meridiana.

Plano vertical. Es un plano perpendicular a los planos del horizonte y del meridiano y contiene la vertical del lugar.

4.1.- Levantamientos Topográficos

Un levantamiento topográfico consiste en describir un terreno desde el punto de vista topográfico. A través de la utilización de instrumental especializado, el topógrafo realiza un escrutinio de la superficie del terreno y procede a la toma de datos, generalmente con un teodolito o estación total. Con los datos obtenidos en el levantamiento topográfico se realizan mapas o planos específicos de un lugar, describiendo particularmente las características del terreno, como los relieves o diferencias de altura que pueda haber.

Con esta técnica de topografía se persigue principalmente determinar la posición del terreno entre dos puntos, sobre un plano horizontal. Aquí entra en funcionamiento la planimetría, que se define como el proceso de representación a escala de un terreno sobre un plano. Por ello, en esta fase se prescinde de elementos como la altura y el relieve del mismo (Corredor, 2015)^[3].

Posteriormente, sobre la base del plano horizontal, se procede mediante el método de nivelación directa, a determinar la altura del terreno entre varios puntos. En esta nivelación se parte de un punto cuya altura es conocida, para proceder a la medición vertical de la altura del terreno, pudiendo establecer así cotas o la identificación de diversos puntos o coordenadas.

Los levantamientos topográficos son el conjunto de operaciones necesarias para determinar posiciones sobre la superficie de la Tierra, de las características naturales y/o artificiales de una zona determinada y establecer la configuración del terreno. El procedimiento a seguir en los levantamientos topográficos comprende dos etapas fundamentales:

1. El trabajo de campo, que es la recopilación de los datos. Esta recopilación fundamentalmente consiste en medir ángulos horizontales y/o verticales y distancias horizontales o verticales.

2. El trabajo de gabinete o de oficina, que consiste en el cálculo de las posiciones de los puntos medidos y el dibujo de los mismos sobre un plano.

La mayor parte de los levantamientos, tienen como objeto el cálculo de superficies y volúmenes, y la representación de las medidas tomadas en el campo mediante perfiles y planos, por lo cual estos trabajos también se consideran dentro de la topografía, donde reciben el nombre de topometría.

Clases de levantamientos

Topográficos (Topografía común). Se realizan en áreas pequeñas, no se considera la curvatura terrestre, lo que genera la representación sobre un plano horizontal, el cual es normal a la dirección de la gravedad y tangente a la superficie en un punto.

Geodésicos (Geodesia). Se realizan en grandes áreas de la superficie terrestre y se toma en cuenta la curvatura terrestre. Además de las características anteriores, se distinguen de los topográficos por la técnica y el uso que se les da. Entre estos tenemos:

- a) Redes de mediciones de ángulos y distancias, para controlar todo el levantamiento de una gran área (por ejemplo, un país completo).
- b) Técnicas de medición de alta precisión.
- c) Modelos matemáticos que consideran la curvatura terrestre.

Metodología del levantamiento topográfico

Existen diversas formas de realizar levantamientos:

1. Métodos planimétricos: En el caso de terrenos planos, suele realizarse el levantamiento planimétrico a partir de un proceso de levantamiento de poligonales, resultando en un plano horizontal.
2. Métodos altimétricos: Al igual que existe el levantamiento planimétrico que comentábamos anteriormente, en el levantamiento altimétrico se realizan las mediciones oportunas para poder realizar la comparación de la altura del terreno con el plano horizontal de partida

3. Métodos planimétricos: Este supone el estudio completo de la morfología del terreno, tanto en plano horizontal como vertical, obteniendo como resultado una completa descripción topográfica del mismo

Dentro de los levantamientos topográficos se encuentran:

Levantamiento de terrenos en general, que tienen por objeto marcar linderos o localizarlos, medir y dividir superficies, ubicar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones.

Topografía de vías de comunicación. Es la que sirve para estudiar y construir caminos, ferrocarriles, canales, líneas de transmisión, acueductos, etc. Topografía de minas. Tiene por objeto fijar y controlar la posición de trabajos subterráneos y relacionarlos con las obras superficiales.

Levantamientos catastrales. Son los que se hacen en ciudades, zonas urbanas y municipios, para fijar linderos o estudiar las obras urbanas. Levantamientos aéreos. Son los que se hacen por medio de la fotografía, generalmente desde aviones, y se usan como auxiliares muy valiosos de todas las otras clases de levantamientos. La fotogrametría se dedica especialmente al estudio de estos trabajos.

Los productos finales de la topografía son, en su gran mayoría, de carácter gráfico, es decir, dibujos a escala de los detalles resaltantes del levantamiento, sobre un determinado tipo de papel, o bien dibujos realizados mediante un programa adecuado, generalmente un CADD (de las siglas en inglés Computer-Aided Design and Drafting. A continuación, se definen tres de los productos gráficos más importantes.

1. El Mapa es una representación convencional, generalmente plana, de fenómenos concretos o abstractos localizables en el espacio, que se efectúa mediante diversos sistemas de proyección, los cuales son sistemas convencionales para realizar la transposición sobre una superficie plana de una parte del globo terrestre (elipsoide) y de su topografía (relieve), y según diferentes escalas, las cuales son la relación de reducción del elipsoide sobre la superficie plana. Por su naturaleza, son producto de levantamientos geodésicos.

2. Mapas base o mapas topográficos: Tienen la finalidad de representar los elementos del terreno necesarios para la referenciación (X, Y, Z). Estos son documentos cartográficos de base, donde se representan, según normas y convenciones: las vías de comunicación y sus respectivas variaciones e importancia, las construcciones, la red hidrográfica, la naturaleza del relieve (curvas de nivel), los nombres de los lugares, ríos y centros poblados (toponimia), así como todos los elementos del terreno que tengan interés en ser representados. En ellos también se realiza la reducción del elipsoide sobre una superficie plana. Generalmente son realizados mediante fotogrametría aérea.
3. Planos topográficos: Se da el nombre de plano a la representación gráfica que por la escasa extensión de superficie a que se refiere no exige hacer uso de los sistemas cartográficos, se apoyen o no los trabajos en la geodesia.

5.- Fotogrametría

La fotogrametría, según Bonneval, es la técnica que tiene como objetivo estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías.

Etimológicamente, la palabra fotogrametría significa la métrica de lo escrito con luz. Es, en esencia, la ciencia que utiliza la fotografía para hacer medidas, y su aplicación es extensiva a numerosas áreas de conocimiento.

Existe otra técnica que utiliza también fotografías aéreas denominada fotointerpretación y que se dedica al estudio pormenorizado de las fotografías con el objetivo de analizar fenómenos de muy variada tipología (Corredor, 2015)^[3].

Sin embargo, la fotogrametría no interpreta fenómenos si no que, mediante mediciones en las fotografías, genera planos y mapas de gran exactitud.

Finalmente, podríamos definir la fotogrametría como la ciencia para elaborar mapas o planos partiendo de fotografías realizadas bajo unos condicionantes específicos.



Ilustración 17. Fotogrametría Aérea.

La más extendida de sus posibles ramas es la fotogrametría aérea (Ilustración 17. Fotogrametría Aérea.), en la que, a partir de fotografías aéreas tomadas bajo unos

condicionantes geométricos, permite elaborar planos y mapas de áreas extensas con exactitud y agilidad.

Para un terreno rústico, el límite de rentabilidad para elegir entre un levantamiento fotogramétrico y uno por GPS podría estar en el entorno de unas 200 ha. En el caso de terreno urbano, el límite descendería considerablemente. Aunque todo depende de la escala, exactitud y características del terreno en cuestión.

Hablando en general, la fotogrametría es la técnica que permiten hacer reconstrucciones de terrenos y medidas a partir de imágenes aéreas. Es un proceso muy complejo en el que el objetivo principal es convertir datos bidimensionales (imágenes planas) en información cartográfica/tridimensional. Es decir, permite medir coordenadas en tres dimensiones y además da como resultado la representación compleja de un objeto en un documento de fácil manejo. En la actualidad esta técnica emplea los drones ya que se presenta un gran beneficio en cuanto a la agilidad para procesar la información frente a la topografía clásica. Además de que ofrece rapidez en la toma de datos, y se puede acceder a terrenos de difícil acceso y más en la actualidad (Corredor, 2015)^[3].

Existen dos tipos de fotogrametría, la terrestre y la aérea:

1. En la fotogrametría terrestre existe un punto de vista fijo y por tanto se conocen sus coordenadas y la orientación del foco.
2. fotogrametría aérea, el punto de vista es móvil y otorga una gran amplitud de captación, pero no se conoce ni la posición de la cámara ni su orientación en el momento del disparo, aunque la tecnología y la digitalización de los procesos permite resolver esos problemas.

Elementos fundamentales en fotogrametría La elección de la escala de la fotografía es función de la escala de representación (escala del plano a representar) y del tamaño de los objetos que se pretenden detectar.

La relación entre la escala de la imagen ($M_b=1/m_b$) y la del plano ($M_k=1/m_k$) que se trata de obtener por medios fotogramétricos, viene dada según el ábaco de la Ilustración 18. Relación entre la escala de la fotografía y la de la cartografía

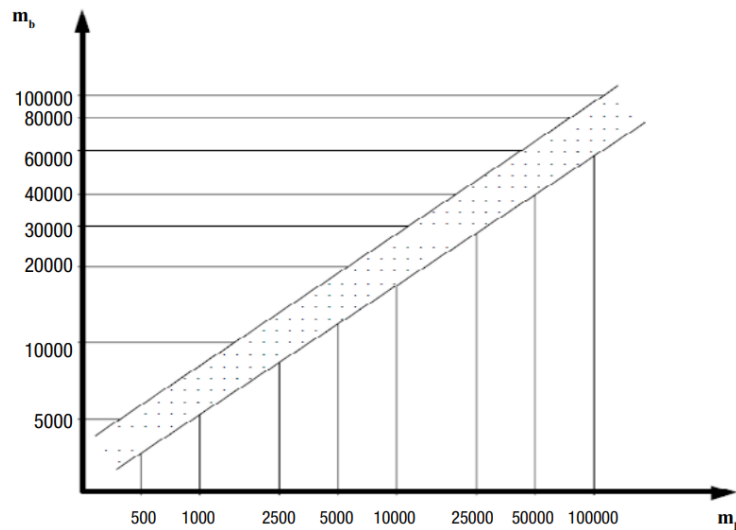


Ilustración 18. Relación entre la escala de la fotografía y la de la cartografía.

Dicha escala de las fotografías limita la detección del tamaño de los objetos. Sabiendo que el límite de la percepción visual es de 0.2 mm. Si se observa con aparatos provistos de ampliación de la imagen, el límite pasa a ser 0.02 mm de manera que cada escala dará un tamaño mínimo de objeto distinto (Tabla 1. Tamaño mínimo de elemento detectado con un instrumento de restitución).

Tabla 1. Tamaño mínimo de elemento detectado con un instrumento de restitución.

1:5000	1:10000	1:20000	1:30000
0.10 m	0.20 m	0.40	0.60

Los siguientes elementos a tener en cuenta son, la distancia focal de la cámara y la altura de vuelo.

La focal es un dato inherente a la cámara con la que se vaya a realizar el vuelo. Dicha magnitud, es un dato calibrado y corresponde con la distancia que existe desde el centro óptico del objetivo hasta el plano focal que es dónde se captura la imagen.

La altura de vuelo vendrá dada por las dos magnitudes anteriores.

$$Mb = \frac{1}{mb} + \frac{c}{H} \rightarrow H = c * mb$$

Ecuación 1. Relación entre escala fotográfica y altura de vuelo.

Tal y como se aprecia en la Ilustración 19. Relación entre escala fotográfica y altura de vuelo, esa altura H es la altura media sobre el terreno, que nada tiene que ver con la altura de vuelo sobre el nivel del mar H_0 (dato del altímetro).

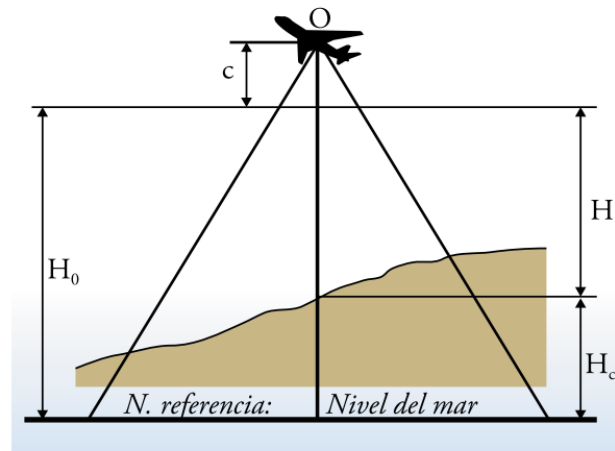


Ilustración 19. Relación entre escala fotográfica y altura de vuelo.

Principio básico de la fotogrametría

El principio básico de la fotogrametría es el desplazamiento radial que sufre un punto en el fotograma debido a su altitud.

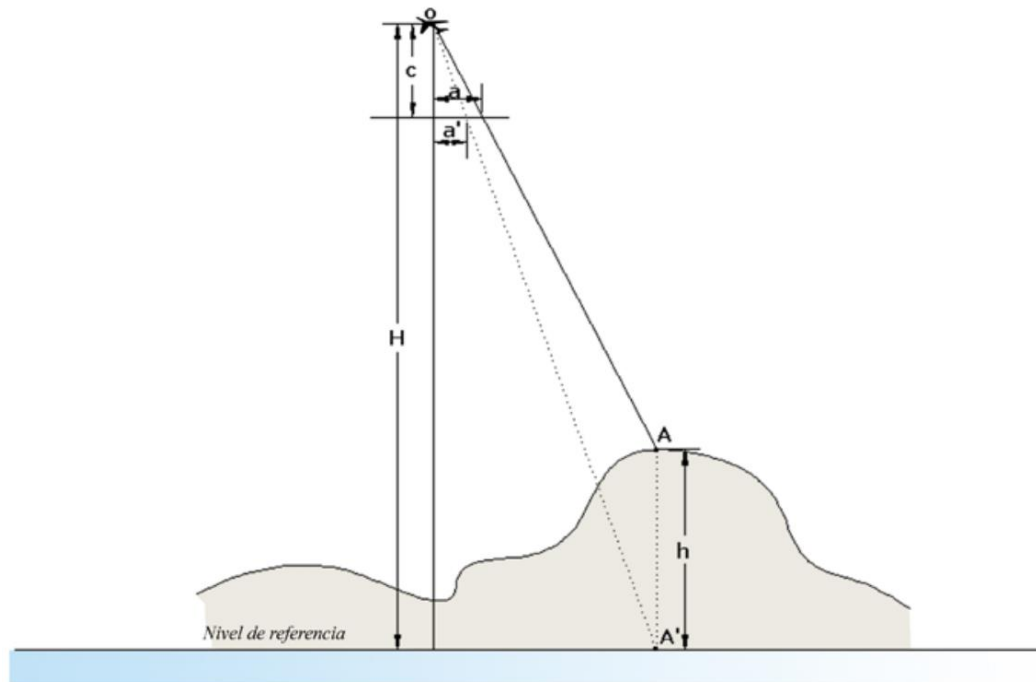


Ilustración 20. Desplazamiento de un punto debido al relieve.

De manera que podríamos deducir de la Ilustración 20. Desplazamiento de un punto debido al relieve. que la altura del punto sobre el nivel del mar de la siguiente forma:

$$\frac{H}{a} = \frac{h}{a - a'}$$

Ecuación 2. Altura sobre el nivel del mar.

Por tanto, se concluye cual es la altura del punto sobre el nivel de referencia:

$$h = \frac{a - a'}{a} * H$$

Ecuación 3. Altura sobre el nivel de referencia.

Metodología

Fotografía de los objetos. Para ello primero hay que realizar una planificación del vuelo (si se va a optar por la fotogrametría aérea) y de las tomas de fotografías para que todo esté bien programado y en las condiciones necesarias. Además, hay que planificar también el levantamiento de puntos de control terrestre a través de la fotogrametría terrestre.

Procesamiento de las imágenes. Una vez obtenidas las fotografías hay que procesarlas.

Orientación de las imágenes. Los fotogramas deben colocarse en la posición adecuada con sus marcas fiduciales y en la misma posición que el orden de toma fotográfica. Para reconstruir y formar el modelo se puede optar por dos sistemas: por restitución o por rectificación. Al hacerlo por restitución se aplican los giros, traslaciones y escalas. De esta forma se obtiene un modelo de coordenadas del terreno y se incluye el escalado del objeto para trabajar con medidas reales (Castro & Vélez, 2017)^[2]. En el caso de hacerlo por rectificación, tras la orientación del haz de luz (interna y externa) se consigue la intersección entre esa luz y el modelo digital del terreno (MDT) del espacio a determinar.

Las aplicaciones de la fotogrametría son múltiples. No solo se puede aplicar en la topografía, la cartografía digital, la ortofotografía, el medio ambiente y la agricultura. También ofrece grandes ventajas para otros sectores como arqueología y la conservación del patrimonio, la arquitectura. En los últimos tiempos igualmente se está utilizando mucho en los videojuegos o el cine, ya que es un método que ofrece un gran realismo. En Global Mediterránea & Geomática somos especialistas en fotogrametría en Valencia y si necesitas ayuda en un proyecto fotogramétrico contacta con nosotros sin compromiso.

En la actualidad, el uso de drones ha generalizado el uso de la fotogrametría aérea en muchos más campos de los que anteriormente estaba disponible. En realidad, las técnicas que ahora utilizamos se basan en las tradicionales, pero los requerimientos, el equipamiento necesario y la complejidad de las operaciones se ha reducido sustancialmente.

6.- Vías Terrestres

Una vía terrestre es una de las obras de ingeniería más complicadas por su grado de complejidad e incertidumbre, se deben utilizar parámetros cambiantes en el tiempo, espacio y algunos difíciles de valorar relacionados con el futuro, como el tránsito terrestre y nuevos modos de transporte. Se debe tener en cuenta aspectos de carácter geotécnico, hidrológico y ambiental, además de que deberá cumplir con su objetivo de dar un servicio eficiente a los usuarios.

Algunos factores importantes a considerar para el diseño de una vía terrestre:

1. Debe tomarse en cuenta las características del terreno natural
2. Se desarrollan en terrenos planos de lomerío o de montaña considerando las condiciones de cada una.
3. Las vías terrestres se consideran vías superficiales
4. Deben detectarse suelos difíciles, amenazas geotécnicas, riesgos y respeto ambiental.
5. Debe satisfacer las condiciones establecidas por el cliente, inversionistas, usuarios y ambientalistas.
6. Existen tres niveles de calidad (la solicitada por el cliente, obtenida por el constructor y percibida por el usuario).
7. El nivel de calidad obtenido tiene un impacto en la economía del transporte.

Otros factores que intervienen en el diseño de las vías terrestres son los climatológicos, geotécnicos, los materiales de corte y tránsito.

Dentro de los principales conceptos que destacan las vías terrestres se encuentra el de la economía de escala estos son modelos aplicables, consistentes en la adopción de sistemas, estrategias y medidas que permitan reducir el costo medio de un producto en una relación inversamente proporcional al número de unidades producidas. Es decir, cuanto mayor sea la producción, menor será el costo del bien o el producto producido. Para que una economía

de escala desarrollo de la manera adecuada deben de existir 3 conceptos que permitirán potenciar este concepto.

Integración intermodal

Implica el movimiento de carga mediante contenedores a través de distintos medios de transportes por las vías terrestres, permitiendo optimizar recursos e incrementar la rentabilidad. Cabe destacar, que la integración intermodal se da en el nodo en el que se realiza el cambio de modo de transporte, este nodo debe de estar bien equipado algunos ejemplos de la integración intermodal de carga son las grúas, apiladoras Reach Stackers, tracto camiones, entre otros permitiendo el movimiento de las unidades de carga de un modo de transporte a otro en las terminales intermodales. En el caso de pasajeros un ejemplo sería es el Cross Border, el cual es un cruce fronterizo entre San Diego y el aeropuerto internacional de Tijuana, este permite el paso de manera rápida a las personas. Esta integración intermodal en México la podemos observar principalmente, en puertos, aeropuertos, patios de ferrocarril y terminales intermodales.

Integración logística

Es el conjunto de métodos y medios que permiten la correcta organización de una empresa o servicio funcionando como medio entre la producción y el mercado. Esta hace referencia al movimiento de la carga de insumos, materia prima y producto terminado en caso de una empresa o personas de un punto a otro, ya sea de forma marítima, terrestre o aérea. Un ejemplo de integración logística en el sector de carga es el servicio de paquetería y en el caso de pasajeros son los ferrocarriles, autobuses, etc. Es importante mencionar que se necesitan vías terrestres resilientes, una buena ingeniería de tránsito y transporte para una adecuada integración logística.

Integración multinacional

Se basa principalmente en tener un origen y un destino final, destacando la logística y el intermodalismo ejemplos muy claros de esta integración son las líneas aéreas, ya que cuentan con vuelos directos, el tratado de libre comercio e incluso salir de un puerto en Asia para llegar a otro en América es una analogía.

Una efectiva integración multinacional del transporte necesita de medidas referentes a tecnología vehicular y para el manejo de la carga; infraestructura, operación y servicios, tecnología informática y de telecomunicación y aspectos institucionales. La integración multinacional del transporte debe ser un objetivo primordial de las políticas públicas en la materia pues no se puede aspirar a intensificar ventajosamente los intercambios, comerciales, con el exterior con un transporte desarticulado, que obstaculice el flujo de las corrientes comerciales internacionales. Este nivel de integración requiere acciones físicas y un conjunto diluidas adicionales para solventar los problemas de compatibilidad con otros sistemas de transporte.

6.1.- Relación de la topografía con las vías terrestres

La topografía tiene aplicaciones dentro de la ingeniería civil: En ella es necesario realizar trabajos topográficos antes, durante y después de la construcción de obras tales como carreteras, ferrocarriles, edificios, puentes, canales, presas, fraccionamientos, servicios municipales etc. (Alcantara, 2014)^[1]. Es utilizada como un servicio para los distintos sectores de obra como son: excavadores, armadores, carpinteros, soldadores, etc. La topografía es fundamental en la ejecución de la obra, debiéndose realizar con tres premisas fundamentales: responsabilidad, velocidad y sencillez.

1. Responsabilidad: porque la ejecución de la obra se realiza en base a las referencias que topografía marca. Una marca mal realizada representa un trabajo posterior sin sentido por no estar ubicada en el lugar que corresponde.
2. Velocidad: el retraso en las marcas representa el retraso en la obra, ya que nadie puede realizar su tarea si no sabe dónde hacerla.
3. Sencillez: marcas complicadas de comprender o de utilizar son motivo de errores.

La topografía tiene un amplio rango de aplicación en la ingeniería civil, ya que está relacionado con las especialidades de hidráulica, estructuras, vías terrestres, etc. En la rama de las vías terrestres, la topografía juega un papel fundamental ya que permite conocer las condiciones del sitio donde se desplantan grandes obras como autopistas, puentes y aeropuertos, además de permitirnos conocer las características específicas del terreno

como su planimetría, altimetría, posicionamiento georreferenciado para poder desarrollar un proyecto tomando en cuenta estos datos.

La planeación y desarrollo de pequeñas y grandes obras civiles como casas, edificios, calles, puentes o carreteras, no serían posibles sin la ayuda de la topografía. Ya sea para llevar a cabo proyectos rurales o urbanos, desde un simple alambrado, la construcción de ciudades enteras, o incluso, para determinar el valor catastral de una propiedad, contar con un adecuado levantamiento topográfico, resulta indispensable para los arquitectos e ingenieros.

Los levantamientos topográficos resultan de gran importancia, por muchas razones. Entre las más relevantes, destacan:

1. Ayudan a calcular y delimitar las áreas.
2. Permiten el desarrollo de los planos arquitectónicos.
3. Se pueden medir distancias y ángulos verticales y horizontales.
4. Generan coordenadas tridimensionales de gran utilidad en el proyecto por computadora.
5. Miden con exactitud los niveles, desniveles, deslindes y elevación de un terreno o superficie.
6. Contribuyen al análisis de suelos, del hábitat, su aridez e incluso, tipo de vegetación, para determinar la idoneidad del suelo con el tipo de proyecto a desarrollar.

La topografía se ve estrechamente relacionada la ingeniería civil por lo tanto a las vías terrestres debido a que en los proyectos se emplea el estudio topográfico antes, durante y después de la construcción de obras, como carreteras, ferrocarriles, edificios, puentes, canales, presas, fraccionamientos, servicios municipales, etcétera. Existen otras ramas, como la ingeniería hidráulica, forestal, ambiental o la arquitectura, pero la topografía, al hacer por medición directa o por cálculo, o bien, por restitución fotogramétrica, la representación gráfica del terreno constituye el punto de partida de diversos proyectos que requieren información de la posición, dimensiones, forma del terreno, etc., sobre el cual se va a realizar cualquier obra o un estudio determinado, (Luque, 2016)^[5].

7.- VANT (Vehículo aéreo no tripulado)

7.1.- Clasificación de los VANT

Como ya se mencionó anteriormente un drone es un vehículo aéreo no tripulado, por eso también se le puede llamar VANT abreviatura de vehículo aéreo no tripulado en español. La palabra dron viene del inglés cuya traducción literal es "zángano", y es coloquialmente conocido como dron o drone. Pueden ser controlados por pilotos desde el suelo o cada vez más, de manera autónoma de una misión preprogramada.

Como vehículo aéreo presenta diferentes formas, bien tipo avión, helicóptero etc. son empleados para múltiples tareas, pero con el paso del tiempo se descubren nuevas formas de utilizar los drones (Quirós, 2014). Estos pueden llegar a presentar una clasificación muy amplia, ya que llega a involucrar cada una de sus características. A continuación, se menciona la clasificación que se le puede dar:

En función al tipo de alas

1. De alas fijas: Son capaces de aprovechar el aire y generar fuerzas que les permite mantenerse en el aire aprovechando su aerodinámica. Cuentan con un diseño o estética similar a los aviones de radiocontrol y suelen ser utilizados para realizar el mapeo de grandes superficies gracias a su gran autonomía.
2. Drones MultiRotor: Suelen ser cuadricópteros (4 rotores con hélices), aunque pueden variar de 6 hasta 8. Dos hélices giran en el sentido de las agujas del reloj y las otras dos en sentido contrario, creando así la fuerza de empuje necesaria para elevar el drone. Cuenta con un giroscopio y estabilizadores que le permite mantenerse en la posición, lo que es perfecto para sacar fotos y grabar vídeos.

En su método de control

1. Autónomo: El drone no necesita de un piloto humano que lo controle desde tierra. Se guía por sus propios sistemas y sensores integrados.
2. Monitorizado: En este caso si se necesita la figura de un técnico humano. La labor de esta persona es proporcionar información y controlar el feedback del drone. El drone

dirige su propio plan de vuelo y el técnico, a pesar de no poder controlar los mandos directamente, sí puede decidir qué acción llevará a cabo.

3. Supervisado: Un operador pilota el drone, aunque este puede realizar algunas tareas autónomamente.
4. Preprogramado: El drone sigue un plan de vuelo diseñado previamente y no tiene medios de cambiarlo para adaptarse a posibles cambios.
5. Controlado remotamente(R/C): El drone es pilotado directamente por un técnico mediante una consola.

En función de su uso

1. Drones Militares: son llamadosUCAV que procede del inglés Unmanned Combat Air Vehicle, traducido al español sería vehículos no tripulados de combate aéreo. Suelen ir armados y con capacidad de bombardeos.
2. Drones Civiles: son aquellos drones que no tienen uso militar. A su vez pueden ser de uso comercial como cartografías, fotografías, vídeos, etc. Para Aficionados que se utilizan como un juguete y suelen tener precios bastantes económicos o para uso del Gobierno estos se utilizan para bomberos, fuerzas de rescate, etc. con el fin de ayudar a las tareas de reconocimiento, rescate, fronterizas e incluso fiscales.

En función al medio por el que se mueven

1. Aéreos: Como ya hemos indicado son los vehículos sin tripulación que son controlados de forma remota. Aunque los más habituales son los multirrotores, también podemos encontrar dentro de este tipo los helicópteros. En definitiva, drones que se mueven por aire gracias a diferentes tipos de motores y que se controlan de diversas maneras con múltiples fines.
2. Marítimos: Al igual que los aéreos, podemos encontrar drones capaces de moverse sobre y bajo el agua. En este último caso, los hay que van con un cable guía y los que se mueven completamente de forma autónoma. Pueden ser utilizados como método de

salvamento, pero sobre todo son útiles para llegar a ciertas profundidades y reparar tuberías o cables.

3. Terrestres: su diseño es distinto para adaptarse a las necesidades del terreno, son equipos utilizados para explorar ciertas zonas donde no puede llegar el hombre o donde pondría en riesgo su vida.

7.2.- Ventajas al utilizar VANT

Hasta la reciente aparición de los drones, la fotogrametría aérea, se realizaba con imágenes satelitales o directamente desde helicópteros/avionetas. Cada método presenta ventajas e inconvenientes, por lo que no existe una solución única para todo tipo de trabajos:

1. Helicópteros: aunque pueden ofrecer una buena resolución (20/40 cm/píxel), son caros de operar (miles de pesos/hora) y el procesamiento supone un costo importante.
2. Avioneta: ofrecen una resolución similar a los helicópteros, pero son más económicos (miles de pesos/hora). Como en el caso anterior, es necesario estimar cuidadosamente los costos de procesamiento ya que en la mayoría de casos supondrán miles de pesos por proyecto.
3. Satélites: aunque no se trata de una tecnología excesivamente cara ofrecen una resolución muy baja para ese tipo de trabajos (1m por píxel). Otros problemas asociados a esta tecnología son el tiempo de revisita y existencia de oclusiones (nubes).

Los drones y sus características permiten cubrir las necesidades en el control de la obra recogiendo bondades tanto de la topografía clásica como de la fotogrametría, reduciendo considerablemente sus inconvenientes. Según Campo-Molinuevo (2015) los drones, la integración de los sensores adecuados y el diseño de la metodología de captura permiten:

1. Obtener datos muy precisos o no tantos datos: El juego de alturas de vuelo y precisiones de los sensores embarcados permite equilibrar la precisión del dato adquirido y así adaptarlo a las necesidades reales del proyecto.

2. Realizar vuelos repetitivos: Se pueden hacer tomas de datos recurrentes puesto que sus costos no se van a incrementar. Esto a su vez permite tener datos sistemáticos de toda la obra en series temporales.
3. Procesar solamente lo necesario: Al realizar la toma de datos sistemáticos de toda la obra se procesan, en cada caso, los datos que se requieran teniendo la posibilidad de transformar en información los datos almacenados.
4. Evitar pérdidas: Para posteriores tratamientos. Trazabilidad completa de la obra.
5. Control visual: Aquí aparece un valor añadido; los mismos datos de toma geométrica posibilitan el análisis global de la obra de forma visual ya sea con fotografías panorámicas sin carácter métrico como con ortofotografías.
6. Obtener datos continuos: Al tratarse de un método de toma de datos masivos, como lo es fotogrametría, no se tienen datos discretos no interpolados. Son datos homogéneos tanto en calidad como en cantidad.
7. Minimizar costos: Tanto los instrumentos de medición, así como las licencias de cálculo tienen costos reducidos.
8. Posibilidad de gestión interna: La planificación, el vuelo y el proceso de datos pueden realizarse por un solo operador.

Específicamente en el sector de la construcción es uno de los sectores que se ve mayormente beneficiado con los servicios del uso de los drones, aquí algunas de las principales aplicaciones:

1. Para la fase de proyecto, la superposición de modelos 3D sobre el terreno.
2. Levantamiento topográfico para la obtención de información volumétrica para el presupuesto preciso de costos.
3. Plano fotográfico de terreno para la planificación de la implantación de obra

4. Avance o seguimiento de obra a distancia para control evitando el desplazamiento de personal
5. Promoción de obra con fines de marketing a través de videos aéreos y en interiores
6. Inspección área de mantenimiento de obras terminadas.

La inclusión de los drones en obra permite hacer de forma sistemática, precisa, rápida y económica el seguimiento de las obras, ya sea con carácter métrico para realización de certificaciones y proyectos, o como para seguimiento visual del proceso constructivo mediante la realización de vuelos regulares que permitan tener una vista global de la obra a lo largo de toda la línea temporal de la misma para su análisis. La unificación de los datos en cuanto a calidad, homogeneidad temporal y capacidad de procesamiento y análisis en series temporales, hace de los drones una herramienta muy apropiada para el control de las obras y el análisis del impacto en las mismas.

De manera general, la fotogrametría es la técnica (o colección de técnicas) que permiten hacer reconstrucciones de terrenos y medidas a partir de imágenes aéreas. Es un proceso muy complejo en el que el objetivo principal es convertir datos bidimensionales (imágenes planas) en información cartográfica/tridimensional. Algunas de estas técnicas existen desde el siglo XIX, aunque en últimos doscientos años han recibido tremendos avances gracias, entre otros, al uso de aviones, desarrollo de cámaras digitales y los satélites artificiales.

En la actualidad, el uso de drones ha generalizado el uso de la fotogrametría aérea en muchos más campos de los que anteriormente estaba disponible. En realidad, las técnicas que ahora utilizamos se basan en las tradicionales, pero los requerimientos, el equipamiento necesario y la complejidad de las operaciones se ha reducido sustancialmente.

Con ello, los precios han caído de forma radical, hasta el punto de que servicios que antes se afrontaban como complejos proyectos de ingeniería, pueden ser completados con equipos económicos.

Esta técnica nos permite conocer las propiedades geométricas de un objeto o una superficie a partir de la información obtenida a partir de varias imágenes con información redundante. Simplificando, para que un objeto pueda estar fielmente reconstruido, éste, debe

de aparecer en un número suficiente de imágenes. Es esta información repetida, la que permite extraer su estructura.

Ese “extra” de información, se consigue: a través del sobreponer imágenes consecutivamente (overlap). Para ello se tiene que planificar la ruta de vuelo de forma que cada imagen contenga elementos que también aparecen en la imagen anterior, posterior y las vecinas en los laterales.

El porcentaje de solape o traslape suele oscilar entre el 60 y el 90%, y habitualmente viene calculado por el software de planificación de vuelos. Esto porque el algoritmo de los programas informáticos utilizados para el procesamiento inicial de las fotografías tomadas por el VANT, es el encargado de realizar el emparejamiento de los puntos comunes entre las imágenes. Para que el software pueda realizar esta tarea, es necesario que entre las fotografías existan puntos característicos comunes, los cuales son correlacionados y triangulados para determinar la posición de cada uno los miles o cientos de miles de puntos que conforman la nube de puntos, y así reconstruir el modelo 3D. Esta correlación y emparejamiento no sería posible, si las imágenes capturadas no tienen una superposición tanto frontal como lateral, también denominadas “Traslape Longitudinal” y “Traslape Transversal”. Es decir que las fotografías están sobre puestas una a otra en un determinado porcentaje. En cuanto mayor sea el traslape, se conseguirá una reconstrucción del modelo 3D más preciso, por lo que para terrenos ondulados o abruptos es recomendable considerar porcentajes de traslape mayores a los considerados en terrenos llanos.

Un buen trabajo durante la planificación de la misión es clave para que los resultados sean óptimos. Un trabajo poco cuidadoso, probablemente generará multitud de problemas, hasta el punto de que podrías volver a tu oficina con un montón de fotografías con las que no podrás construir nada de valor.

Una vez obtenidas las imágenes es necesario utilizar un software de fotogrametría que las procese y que sea capaz de “inferir” la posición XYZ de millones de puntos. Estos millones de puntos servirán para generar las reconstrucciones 3D en forma de polígonos, nubes de puntos, o bien, ortofotos. Para los más curiosos, el software se encarga de buscar

correspondencias entre imágenes, determina cuales son las posiciones probables en base a los diferentes puntos de vista de un mismo elemento, y finalmente las limita a una sola.

7.3- Método de empleo del VANT

El avance tecnológico de los drones constituye un fenómeno que ha contribuido a hacer de estos dispositivos herramientas indispensables en múltiples tareas. Cada vez son más sofisticadas las prestaciones que ofrecen, por lo que algunos de estos tienen un uso más científico.

Tal es el caso de los drones para fotogrametría, los cuales ofrecen gran productividad para diferentes actividades. Una de estas acciones es el levantamiento catastral con drones, una actividad que se realiza para la actualización catastral sobre los inmuebles

Esta recogida de información se basa en la fotogrametría con drones en carretera. Todo ello con el objetivo de realizar un levantamiento topográfico que posibilite conocer los límites de los bienes inmuebles para la creación legal de propiedades.

Uso de los drones para fotogrametría

Tradicionalmente los estudios aéreos a plantaciones, carreteras, minas u otras zonas geográficas se realizaban con la ayuda de los vuelos de aviones o avionetas, o bien con imágenes satelitales.

El uso de drones para estos fines ha significado un salto cualitativo y cuantitativo en diferentes aspectos. En primer lugar, porque cuentan con prestaciones avanzadas que permiten obtener imágenes en alta definición y datos más complicados.

Por otro lado, es mucho más económico utilizar drones para estas actividades que los métodos de recogida de información que se empleaban anteriormente. Como ves, el cambio es más que positivo y beneficioso para las empresas o personas que se dediquen a estas tareas. También puedes obtener orto mosaicos fotogramétricos.

¿Que necesito para hacer fotogrametría con drones?

Para hacer fotogrametría con dron se necesita:

1. Dron con cámara profesional de un mínimo de 20 megapíxeles y sensor mínimo de 1", entre más píxeles mejor.
2. Programa para planificación de vuelo mediante una aplicación llamada DroneDeploy. La aplicación de software DroneDeploy automatiza el vuelo en avión teledirigido y también facilita la captura de imágenes aéreas, todo lo que necesita es un dron y un dispositivo móvil con la aplicación móvil DroneDeploy instalada. Con su dron encendido, luego abra su aplicación móvil DroneDeploy. A continuación, seleccione el área de tierra en la que desea crear el mapa. Entonces, con sólo un toque más en el software DroneDeploy, el dron despegará y volará de forma 100% autónoma sobre el área objetivo tomando fotos de alta resolución a intervalos regulares programados. Esta aplicación se obtiene de manera gratuita en <https://www.dronedeploy.com/>
3. Software de procesamiento de imágenes como Agisoft PhotoScan es un tipo de software autónomo que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D. Usado en aplicaciones SIG, documentación de patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas. Sin embargo, se debe pagar la licencia de Agisoft.
4. Capacitación acerca del uso del dron, creación de planes de vuelo, descarga y procesamiento de imágenes.

8.- Caso de estudio

8.1.- Zona de estudio: Presa San José S.L.P.

La zona de estudio es la presa San José ubicada en el municipio de San Luis Potosí, S.L.P (Ilustración 21. Ubicación Presa San José (Referencia Google Maps). Siendo uno de los atractivos para visitar en la capital potosina. La Presa de San José es una obra de ingeniería que data de 1863 construida por el Ing. José María Silíceo. Su capacidad de captación de agua llegó a ser en sus inicios de aproximadamente 8 millones de metros cúbicos. Su cortina es de piedra pulida y mide poco más de 100 metros de largo, por 32 metros de altura y 7 metros de espesor.

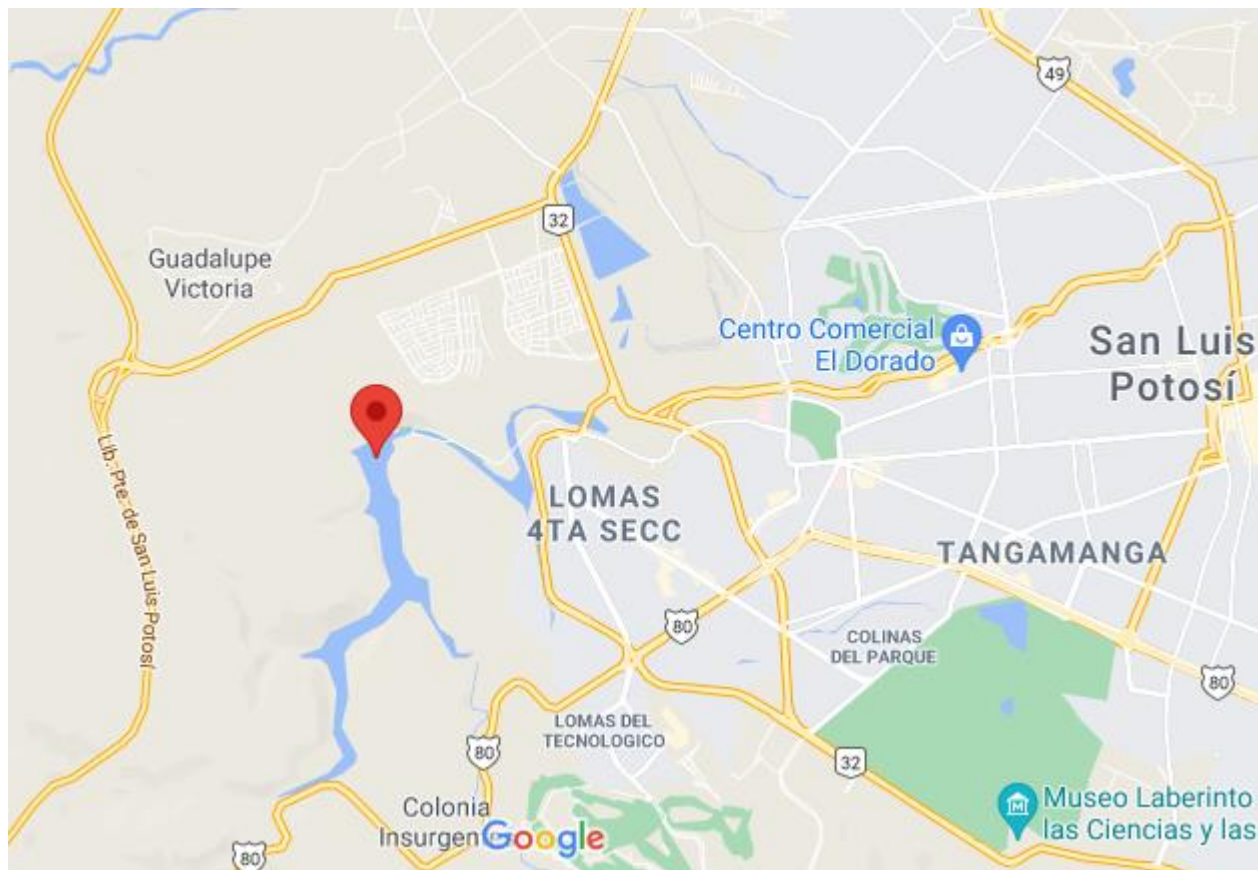


Ilustración 21. Ubicación Presa San José (Referencia Google Maps).

Actualmente se cuenta con varios proyectos de remodelación, mantenimiento y construcción en sus instalaciones. De igual manera se pretenden realizar simulaciones en caso de desbordamiento para ver los alcances de los daños que esto ocasionaría. Para lo

cual se requiere un levantamiento topográfico detallado del estado actual de la presa, a continuación, se puede observar la estructura de la presa en la Ilustración 22. Presa San José.



Ilustración 22. Presa San José.

8.2.- Aplicación

Para el ejemplo de aplicación se tomó en cuenta realizar un levantamiento topográfico realizado con Drone, estación total y GPS de alta precisión. Esto con el objetivo de la obtención detallada y precisa de los datos para posteriormente realizar un análisis, del cual se tomarán consideraciones sobre aspectos de interés relacionados con las vías terrestres e ingeniería hidráulica. A continuación, se muestra el proceso implementado:

1.- Obtención de imágenes con VANT

Para la obtención de las imágenes con Drone de la zona de estudio, se emplea un drone Phantom 4 Pro (Ilustración 23. Drone Phantom 4 Pro.), perteneciente a la casa fabricante

DJI. Este equipo posee una autonomía de vuelo de 30 min aproximadamente, con un alcance máximo de vuelo de 7 km, la velocidad máxima es de 72 km/h y tiene una velocidad de descenso de 3 o 4 m/s. En su parte frontal posee una cámara de Sensor 1" CMOS, 20MP y distancia focal Variable F/2.8-F11 y cuenta con un sistema de estabilización que le permite realizar tomas en diferentes ángulos y su peso es de 1,388 gramos.



Ilustración 23. Drone Phantom 4 Pro.

La ruta de vuelo se planifica con la aplicación DroneDeploy. Para ello, se emplea una altura de vuelo entre 60 metros y 100, metros en este caso se utilizó una altura de 75 metros, una velocidad horizontal de 2 m/s, un traslape longitudinal de 70 % y uno transversal de 70 %. El intervalo de captura de imágenes es de 2 s.

Es importante mencionar que estos parámetros intervienen directamente para la obtención de detalles es por eso que son los más recomendables sin olvidar que cada proyecto tiene sus propios requerimientos. A continuación, se dan algunos detalles de los parámetros:

- La altura a la cual se vuela el VANT se ve reflejada en la calidad de las imágenes, a mayor altura es una menor calidad y a menor altura es una mejor calidad, sin embargo, al volarlo a una altura muy baja, se requerirá vuelos de mayor tiempo y esto implicará varios cambios de baterías.
- Los traslapes permitirán obtener de manera más detallada las ortofotos es recomendable que sea entre 60% y 90% debido que al ser menor se obtiene una orto foto de menor calidad y al ser mayor se lleva un más tiempo de vuelo para cubrir el área deseada.

2.- Orientación de ortofotos

Para la orientación de los productos fotogramétricos (ortofotos y Modelo Digital del Superficies máximas que representa los puntos más altos, incluyendo entre otros edificios y vegetación.) como se muestra en la Ilustración 24. Ortofoto, se utilizarán puntos de control, cuyas posiciones se determinan de manera estratégica de acuerdo al tipo de proyecto de tal forma de que queden distribuidos en toda la zona de estudio (preferentemente de 5 puntos en adelante), en este caso utilizamos 6 puntos de control.

Posteriormente con un GPS de alta precisión se procede a ubicar todos los puntos de control o se puede ubicar un par de estos y después realizar un levantamiento de todos los puntos de control con ayuda de una estación total.



Ilustración 24. Ortofoto.

3.- Procesamiento de datos

Las imágenes obtenidas con el VANT se procesaron en el software Agisoft Photoscan, el cual, basándose en los algoritmos SfM (Structure from Motion), permite procesos como: alineación de las ortofotos, creación de nube de puntos, generación de la malla, así como exportación de ortofotos y Modelo Digital del Superficies máximas. (Ilustración 25. Nube de puntos densa.).



Ilustración 25. Nube de puntos densa.

4.- Post Procesamiento de datos

Una vez recolectadas las imágenes y/o los datos a través del drone, se continua con el post procesamiento de datos para la obtención de modelos digitales en 2 y 3D.

Para el análisis de los modelos obtenidos se pueden emplear distintos softwares un ejemplo es ArcGIS, sin embargo, para el cálculo de volumetrías es más practico Civil 3D de AutoCad, para lo cual tenemos que convertir el formato que nos proporciona Agisoft Photoscan en un formato que se pueda leer en AutoCad, para esto se utiliza Global Mapper, un ejemplo de lo que se puede hacer se presenta en la Ilustración 26. Post-Procesamiento de Datos en Global Mapper.

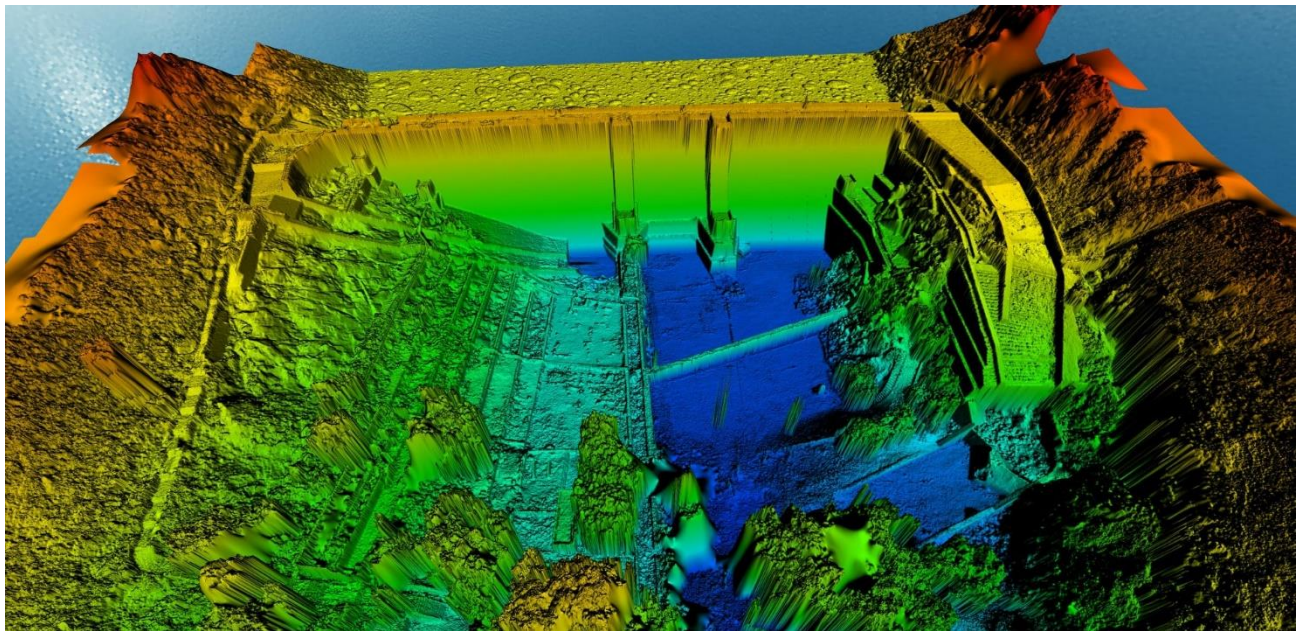


Ilustración 26. Post-Procesamiento de Datos en Global Mapper.

De este procesamiento mediante softwares se consigue un sin número de magnitudes útiles en base a representaciones graficas o digitales, para un gran número de sectores y finalidades.

8.3.- Resultados

Las aplicaciones para los modelos digitales se extienden día a día en función del creciente número de profesionistas y empresas que las incorporan a sus campos trabajo en un proceso de exploración innovadora con el objetivo de la búsqueda de soluciones a problemas actuales, así como una mayor eficiencia como ventaja competitiva. A continuación, se enlistan algunos de los resultados obtenidos que nos permitirán realizar proyectos para la construcción, remodelación, mantenimiento, simulaciones, urbanización, cartografía para infraestructura, etc.

Los entregables de este caso de estudio son los siguientes:

1. Modelo digital de superficie (DMS).
2. Modelo digital de terreno (MDT).
3. Curvas de nivel (planimetría).

4. Modelo digital 3D (nube de puntos) por fotogrametría.
5. Levantamientos para estudios preliminares.
6. Cálculos volumétricos.
7. Orto fotografías (ortomosaicos).

El uso de imágenes adquiridas por VANT es adecuado para la detección temprana de fallas superficiales sobre pavimento flexible. Así mismo, es riguroso respecto a la geometría del deterioro. El empleo de drones es más rápido para realizar levantamientos topográficos, incluso es más preciso que la topografía tradicional, debido a su alta resolución y fácil manejo, pues da resultados óptimos a la presente investigación. Además, es una alternativa económica y flexible para la adquisición de datos sobre las distintas fallas del pavimento.

Para la fotogrametría aérea con apoyo topográfico terrestre se combina la eficiencia de los vehículos aéreos para la obtención de imagen con la precisión de las estaciones GPS en tierra para lograr resultados confiables en tiempo menor. De la fotografía aérea de alta resolución georreferenciada (fotogrametría) obtenemos levantamientos topográficos para la gestión de terreno y superficie siendo dos de los principales productos, la ortofoto y los modelos digitales.

Con la disponibilidad de imágenes geo-referenciadas (ortofotos) y modelos tridimensionales a escala al servicio de la construcción, arquitectura y la minería se tiene la posibilidad de exportar estos modelos a aplicaciones tipo CAD o GIS para realizar mediciones de superficie o volumen con diferentes grados de exactitud.

Conclusión

A lo largo de la historia, la humanidad ha tenido la necesidad de trasladarse de un lugar a otro, ya sea para cambiar de lugar de residencia o la distribución de objetos y mercancías a distintos territorios dando origen al transporte terrestre, marítimo y aéreo. Surgiendo de esta manera la necesidad de mejorar continuamente la infraestructura de las vialidades tal es el caso para el transporte terrestre. Perfilando de esta manera el empleo de Vant o drones en las vías terrestres debido a que son una herramienta útil y eficiente para la obtención de datos.

El empleo de los Vant específicamente en los estudios de fotogrametría genera un impacto importante tanto de forma cualitativa como cuantitativa en la recolección de datos e imágenes de superficies a las cuales no es posible llegar con facilidad. Para correcto empleo se debe de contar un plan de vuelo definido y considerar los diferentes factores que se puedan presentar. Llegando a ser considerado un instrumento preciso y de uso rápido para levantamientos topográficos, debido a su alta resolución y fácil manejo, proporciona resultados óptimos como se mostró en el presente trabajo.

Demostrando que el empleo de Vant tiene uno de sus objetivos en reducir costos y de los tiempos empleados en campo y oficina, hacen que esta técnica sea muy ventajosa frente a otras existentes en la actualidad. Así mismo, la galería de fotografías y videos obtenida permite la inspección visual en detalle. Para lo cual es importante contar con un dominio de temas de áreas como lo son: la geodesia, sistemas de referencia, proyecciones cartográficas, topografía, fotogrametría, etc. para procesar correctamente e interpretar el listado de datos, así como contar con los softwares necesarios para poder medir y evaluar los resultados obtenidos lo que permite aprovechar al máximo los drones.

En el caso de estudio nos pudimos percatar de lo fácil y rápido que resulta realizar un levantamiento topográfico de detalles implementando tecnologías como el drone y complementando con la topografía tradicional. Sin embargo, de haberlo hecho con topografía tradicional habríamos tardado semanas, cuando con el drone nos tomó 5 días incluyendo el trabajo en campo y gabinete.

Referencias

- [1] Alcantara, D. (2014). Topografía y sus aplicaciones. Azcapotzalco (México). Universidad Metropolitana.
- [2] Castro, J., & Vélez, M. (2017). La importancia de la topografía en las ingenierías y arquitectura. Magister en Gerencia Educativa, Ingeniero Civil. Manta, Ecuador.: Docente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- [3] Corredor, J. (2015). Implementación de Modelos de Elevación Obtenidos Mediante Topografía Convencional y Topografía con Drones para el Diseño Geométrico de una Vía en Rehabilitación Sector Tuluá – Rio Frio. . Colombia: Universidad Militar Nueva Granada Bogotá.
- [4] González, A., & Gisbert , V. (2017.). Uso de drones en la distribución. Universidad politécnica de Valencia (España).
- [5] Luque, B. (2016). Aplicaciones de Visión por Computador en Drones. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona (España).
- [6] Quirós, E. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil. Universidad de Extremadura.: Servicios de publicaciones. Cáceres (España).

Ilustraciones

Ilustración 1. Geoide: Superficie de referencia Altimétrica. (Fuente: European Spatial Agency).8

Ilustración 2. “Elipsoide: Superficie de referencia planimétrica”9

Ilustración 3. Red Geodésica Global.10

Ilustración 4. Movimiento del polo. (Fuente: NASA JPL).11

Ilustración 5. Geoide EIGEN-CG01C.....11

Ilustración 6. Sistema de Referencia Celeste.....12

Ilustración 7. Sistema de Referencia Terrestre.....13

Ilustración 8. Proyección Cilíndrica.....14

Ilustración 9. Tipos de Proyección en función de la superficie auxiliar que se utilice.15

Ilustración 10. Tipos de Proyección en función del punto de proyección16

Ilustración 11. Tipos de Proyección en función de la situación de la tangencia.16

Ilustración 12. Disposición del Cilindro de proyección.17

Ilustración 13. Distribución de los Husos a escala global.17

Ilustración 14. Cadenas en topografía.20

Ilustración 15. La planimetría y altimetría simultáneas.21

Ilustración 16. proyección en tres ejes.....22

Ilustración 17. Fotogrametría Aérea.27

Ilustración 18. Relación entre la escala de la fotografía y la de la cartografía.29

Ilustración 19. Relación entre escala fotográfica y altura de vuelo.30

Ilustración 20. Desplazamiento de un punto debido al relieve.....31

Ilustración 21. Ubicación Presa San José (Referencia Google Maps).45

Ilustración 22. Presa San José.46

Ilustración 23. Drone Phantom 4 Pro.....47

Ilustración 24. Ortofoto.48

Ilustración 25. Nube de puntos densa.49

Ilustración 26. Post-Procesamiento de Datos en Global Mapper.50

Tabla

Tabla 1. Tamaño mínimo de elemento detectado con un instrumento de restitución29

Ecuaciones

Ecuación 1. Relación entre escala fotográfica y altura de vuelo.....30
 Ecuación 2. Altura sobre el nivel del mar.....31
 Ecuación 3. Altura sobre el nivel de referencia.....31