



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“CÁLCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA
CALIZA POR MODELO 3D, IMPLEMENTANDO
NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”**

TIPO DE TRABAJO: **TESIS**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:

ERICK VLADIMIR CORIA MOLINA

ASESOR:

M.A.ING. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA

Maestro en administración

MORELIA, MICHOACÁN, MARZO DEL 2018

*“CÁLCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”*

***“CÁLCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA
CALIZA POR MODELO 3D, IMPLEMENTADO NUEVAS
TECNOLOGÍAS (DRONE)”***

ÍNDICE

CONTENIDO

DEDICATORIA	5
RESUMEN	6
PALABRAS CLAVE	6
ABSTRACT.....	7
JUSTIFICACIÓN	8
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS PARTICULARES	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
INTRODUCCIÓN	12
<i>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA TOPOGRAFÍA.....</i>	<i>12</i>
1.1. DEFINICIÓN DE TOPOGRAFÍA	12
1.2. LA GEOMÁTICA	15
1.3. HISTORIA DE LA TOPOGRAFÍA.....	17
1.4. LEVANTAMIENTOS GEODÉSICOS Y PLANOS	23
1.5. IMPORTANCIA DE LA TOPOGRAFÍA	27
1.6. TIPOS DE LEVANTAMIENTOS ESPECIALIZADOS	29
1.7. LA SEGURIDAD EN LA TOPOGRAFÍA	32
1.8. LA PROFESIÓN DE TOPÓGRAFO	35
1.9. RETOS FUTUROS EN TOPOGRAFÍA.....	37
<i>CAPÍTULO 2. FOTOGRAMETRÍA.....</i>	<i>39</i>
2.1. INTRODUCCIÓN A LA FOTOGRAMETERÍA	39
2.2. PRINCIPIO BÁSICO DE LA FOTOGRAMETRÍA.....	41
2.3. CLASIFICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA	42
2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FOTOGRAMETRÍA RESPECTO A LA TOPOGRAFIA CLASICA.	45

<i>“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”</i>	
2.5. APLICACIONES DE LA FOTOGRAMETRIA EN INGENIERIA CIVIL.....	46
2.6. LA CÁMARA FOTOGRAMÉTRICA	46
2.7. LA PELÍCULA FOTOGRÁFICA	51
2.8. LA IMAGEN DIGITAL	53
2.9. CALIBRACIÓN DE UNA CÁMARA MÉTRICA.....	55
2.10. ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA	56
2.11. PASÓ DE COORDENADAS FOTO A COORDENADAS TERRENO.....	57
CAPÍTULO 3. VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS “DRONES”	58
3.1. HISTORIA MUNDIAL	58
3.2. HISTORIA ESPAÑOLA.....	62
3.3. TIPOS DE DRONES	64
CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS PARA OPERAR UN SISTEMA DE AERONAVE PILOTADA A DISTANCIA (RPAS), SCT MEXICO.	71
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE AERONAVE PILOTADA A DISTANCIA.....	74
4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIAS (RPAS) Y REQUERIMIENTOS Y LIMITACIONES GENERALES.....	75
4.3. REQUERIMIENTOS Y LIMITACIONES GENERALES PARA TODAS LAS CATEGORIAS Y TIPOS DE USO DE RPAS.	75
CAPÍTULO 5.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE PIX-4D MAPPER.....	79
5.1. NUBE DE PUNTOS 3D EN LA NUBE PIX4D	81
5.2. VENTAJAS DE PIX4D.....	82
CASO DE ESTUDIO	83
PROCESO DEL PROYECTO: LEVANTAMIENTO (MODELO 3D) DE MINA DE PIEDRA CALIZA CON EL USO DEL DRONE.	83
DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	83
TRABAJO EN CAMPO	86
TRABAJO DE OFICINA	96
MODELO EN 3D Y VISTAS	112

*“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”*

RESULTADOS	114
DISCUSIÓN.....	118
CONCLUSIONES	119
BIBLIOGRAFÍA.....	120

DEDICATORIA

A Dios:

Por permitirme lograr concluir esta etapa de mi vida satisfactoriamente, por haberme dado esa fortaleza de afrontar todos los obstáculos que se dieron en este camino, donde tuve momentos buenos y difíciles, pero estuvo a mi lado y me guio para tomar las decisiones indicadas y no haberme vencido jamás.

A mis padres:

Por guiarme en el camino del bien primeramente, y darme los conocimientos y herramientas necesarios para lograr todos mis objetivos planeados de la manera más exitosa posible, sabemos que no todo en la vida tenemos éxitos, también tenemos fracasos es ley de la vida y en esos momentos es cuando ellos me daban ese empujón para levantarme y seguir adelante.

A mi hermano:

Es menor que yo, pero aun así es una persona muy madura a la cual recurría para que me diera consejos cuando algo no lo tenía claro, el cual también fue el motivo de cumplir todas mi metas e ir por el camino del bien.

A mi futura esposa:

Por ser siempre mi inspiración en cada reto que tengo en mi vida, por ser el combustible de mi día, por siempre estar en las buenas y malas de mi vida, gracias por ser parte de este logro, y gracias por el apoyo moral.

A mi asesor:

Una persona muy importante para que se pudiera cumplir este logro, una persona que admiro y respeto mucho, con una trayectoria académica impresionante, es un ejemplo a seguir, gracias por el apoyo.

RESUMEN

La idea de este proyecto se creó a partir de una palabra muy significativa que es llamada (drone) objeto volador no tripulado, en alguna ocasión o algún lugar hemos escuchado esta palabra, ya que es la base de este proyecto, el cual está basado en el cálculo de volúmenes de materiales como el tema lo dice.

En este caso en particular, será aplicado en una mina de piedra caliza ubicada muy cercana en la ciudad y puerto de Lázaro Cárdenas Michoacán, para este proyecto es útil mencionar que primeramente hablaremos algo de topografía, ya que es una disciplina que forma parte muy importante para este proyecto, más que nada se hablara de historia, y fundamentos importantes de la topografía, con la finalidad de hacer un poco de memoria de los importante que es la topografía para la ingeniera civil.

También adentraremos a una disciplina muy involucrada para este proyecto ya que sin ella no hubiera manera de lograr el modelado de la mina, esta es la Fotogrametría, parte fundamental para esta tesis.

Claro que también esta demás mencionar que hablaremos de los aspectos más importantes del Drone, tanto como definiciones, clasificaciones, tipos, entre otras cosas interesantes de ayuda para entender bien este proyecto.

Lo más interesante en particular de esta tesis es explicar de una manera dinámica de principio a fin como se fue dando todo el proceso, desde que se fue la primera vez a la mina a dar el recorrido hasta donde llegamos a nuestro modelo en 3D y obtener nuestros resultados y comentarios.

PALABRAS CLAVE

PIX4D / FOTOGRAMETRÍA / TOPOGRAFÍA/ COORDENADAS / RPAS

ABSTRACT

The idea of this project was created from a very significant word that is called (drone) unmanned flying object, in some occasion or somewhere we have heard this word, since it is the basis of this project, which is based on the calculation of volumes of materials as the subject says.

In this particular case, it will be applied in a limestone mine located very close to the city and port of Lázaro Cárdenas Michoacán, for this project it is useful to mention that first we will talk about some topography, since it is a very important part of the discipline for this project, more than anything, history will be talked about, and important foundations of the topography, with the purpose of making a little memory of the important topography for the civil engineer.

We will also enter a discipline that is very involved in this project since without it there would be no way to achieve the modeling of the mine, this is Photogrammetry, a fundamental part of this thesis.

Of course, it is also important to mention that we will talk about the most important aspects of the Drone, as well as definitions, classifications, types, among other interesting things that help us to understand this project well.

The most interesting in particular of this thesis is to explain in a dynamic way from start to finish how the whole process was going, since the first time we went to the mine to take the route to where we arrived at our 3D model and get our results and comments.

JUSTIFICACIÓN

Como se observa la topografía es sumamente importante en el área de la construcción, y conforme va avanzando el tiempo va mejorando la tecnología, cada vez con aparatos mucho más eficientes en la cuestión de rapidez y exactitud en levantamientos topográficos, ya que en tiempos pasados el hacer un levantamiento topográfico llevaba más tiempo, en ocasiones en lugares donde la topografía era muy extensa y accidentada se complicaba llevar su ejecución, y la mayoría de las veces resultaba ser peligroso, hoy en día existen una serie de equipos que ofrece el mercado donde se obtienen mejores resultados y se optimizan tiempos para llevar acabo un levantamiento topográfico.

Es aquí donde entra el drone, es el que toma el papel más importante en este proyecto, se tuvo confianza que su creación iba ser muy importante para muchos usos dentro la ingeniería civil, en este caso muy particular tendrá una participación muy importante para esta mina, una de las más importantes es el tener un control más estable o confiable de los volúmenes de materiales almacenados que se encuentran en la mina, tanto como los procesados y los no procesados por la trituradora, y evitar lo menos que se pueda perdidas económicas o que se mal entiendan las cosas, aquí el dueño o administrador de la mina pasaría a ser el más beneficiado.

OBJETIVO GENERAL

Brindar los elementos, tanto teóricos, de procesamiento como prácticos, necesarios para realizar mediciones de terrenos y utilizarlas para la creación de planos topográficos y someterlas a procedimientos de cálculo que permitan obtener datos útiles como áreas, volúmenes y ubicación general de puntos específicos sobre el terreno, analizando un número determinado de pasos para poder llegar al resultado, para así saber que tanto conlleva utilizar este nuevo método de hacer cálculos volumétricos.

Y tener una manera más rápida y segura de tener inventariado los materiales o recursos, una forma de respuesta más rápida para disponer de ellos, y poder llegar a conclusiones más específicas, con la ayuda de nuevo artefacto llamado drone para el levantamiento en campo y el software de procesamiento llamado pix4D, explotarlos al máximo para llegar a los resultados esperados.

OBJETIVOS PARTICULARES

Principalmente entender la importancia del sustraer información cuantitativa de una zona o área en específica, datos primordiales para obtener una área, un volumen, un perímetro, etc. Esto con un fin específico de calcular alguna necesidad que nos permita tener un valor, un número, no solo una idea, como hemos visto en nuestros antepasados, ya hacían uso de este tipo de técnicas como lo es la medición, que por consecuencia los hizo crear diferentes unidades de medida y con el tiempo fueron evolucionando.

Como lo es en el momento, que nosotros en la actualidad, estamos trabajando y actualizando los medios para que esto nos permita llevar la cuantificación de materiales a una nivel más avanzado, esto por consecuencia nos va llevar a que nuestros proyectos futuros cada vez sean más exactos y más rápidos de realizar, y brevemente se podría entender que todo proyecto debe partir de la topografía, todo tiene que pasar por ahí, si no es así, no es ingeniería solo sería una suposición.

El sustento más importante de la ingeniería, o para poder realizar algún proyecto determinado es la topografía, y hablando de cualquier tipo de especialidad mecánica, eléctrica, electrónica, electromecánica, etc., todo al ultima recae en la topografía, si no se hicieron lo levantamientos

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

topográficos correctos, todos los errores se irán acumulando en el trayecto del proyecto.

Pero el objetivo personal que para mí es el más importante es darle auge a este nuevo método, ya que fue una idea personal que la estuve analizando y poco a poco se fue moldeando la idea, y llegue a la conclusión que es muy bueno darle seguimiento para ver hasta dónde podemos llegar, en el ámbito de la ingeniería, y así mismo expresarlo y darle el uso apropiado para poder darlo a conocer al público.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Dioptra, groma	18
FIGURA 2. Geometría del procedimiento usado por Eratóstenes	20
FIGURA 3. Instrumento de estación total LEICA TPS 1100	22
FIGURA 4. Sistema móvil de mapeo IP-S2 3D	24
FIGURA 5. Escáner de laser LEICA HDS 3000	24
FIGURA 6. Graficador de presentación transitoria	25
FIGURA 7. Desplazamiento de un punto debido al relieve.	42
FIGURA 8. Restituidor Analógico	43
FIGURA 9. Restituidor Analítico	43
FIGURA 10. Restituidor Digital	43
FIGURA 11. Fotogrametría Espacial	44
FIGURA 12. Fotogrametría Aérea	44
FIGURA 13. Fotogrametría Terrestre	44
FIGURA 14. Distancia focal y plano focal	47
FIGURA 15. Campo de imagen y distancia focal	48
FIGURA 16. Geometría de la foto aérea	57
FIGURA 17. Queen bee	58
FIGURA 18. MALE UAS Predator	60
FIGURA 19. Siva, primer vehículo no tripulado fabricado en España.	62
FIGURA 20. Drone Militar	65

*“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”*

FIGURA 21. Drone civil	66
FIGURA 22. Imágenes de explotación a cielo abierto tomadas con UAV y procesadas con Pix4DMapper.....	79
FIGURA 23. Calculo de volúmenes con pix4Dmapper.....	80
FIGURA 24. Datos geolocalizados pix4D	81
FIGURA 25. Macrolocalización mina “La huerta”	85
FIGURA 26. Microlocalización Mina “La Huerta”	86
FIGURA 27. Reporte Fotográfico de la Mina	87
FIGURA 28. Reporte Fotográfico de la Mina	88
FIGURA 29. Reporte Fotográfico de la Mina	88
FIGURA 30. Reporte Fotográfico de la Mina	88

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN A LA TOPOGRAFÍA

1.1. DEFINICIÓN DE TOPOGRAFÍA

La topografía, que recientemente se ha denominado también geomática de manera alternativa, se ha definido tradicionalmente como la ciencia, el arte y la tecnología para encontrar o determinar las posiciones relativas de puntos situados por encima de la superficie tierra, sobre dicha superficie y debajo de ella.

Sin embargo, en un sentido más general, la topografía (geomática) se puede considerar como la disciplina que comprende todos los métodos para medir y recopilar información física acerca de la tierra y nuestro medio ambiente, procesar esa información y difundir los diferentes productos resultantes a una amplia variedad de clientes. La topografía ha tenido gran importancia desde el principio de la civilización.

Sus primeras aplicaciones fueron las de medir y marcar los límites de los derechos de propiedad. A través de los años su importancia ha ido en aumento al haber una mayor demanda de diversos mapas y otros tipos de información relacionados espacialmente, y la creciente necesidad de establecer líneas y niveles más precisos como una guía para las operaciones de construcción.

En la actualidad la importancia de medir y monitorear nuestro medio ambiente se ha vuelto vital a medida que crece la población, el valor de bienes raíces aumenta, nuestros recursos naturales se empobrecen y las actividades del hombre continúan contaminando nuestra tierra, agua y aire. Los topógrafos actuales pueden medir y observar la tierra y sus recursos naturales literalmente desde un punto de vista global, utilizando las

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

modernas tecnologías terrestres, aéreas y por satélite, así como las computadoras para el procesamiento de datos.

Nunca antes se ha tenido tanta información para estimar las condiciones actuales, tomar decisiones de planeación firmes y formular una política para muchas aplicaciones del uso del suelo, el desarrollo de los recursos y las medidas para preservar el medio ambiente.

Al reconocer la creciente amplitud e importancia de la práctica de la topografía, la international federation of surveyrs recientemente adopto la siguiente definición:

Un topógrafo es un profesionista con las características académicas y pericia técnica para realizar un o más de las siguientes actividades:

1. Determinar, medir y representar el terreno, los objetos tridimensionales, los campos puntuales y las trayectoria;
2. Reunir e interpretar la información del terreno relaciona geográficamente;
3. Usar esa información para la planeación y administración eficiente del terreno, el mar y cualesquiera estructuras colocadas ahí.
4. Realizar investigación sobre las prácticas anteriores y desarrollarlas.

Funciones detalladas

En la práctica, la profesión de topógrafo puede comprender una o más de las siguiente actividades que pueden tener un lugar en. Sobre o debajo de la superficie de la tierra o del mar, y que se puede llevar a cabo asociándose con otros profesionistas.

1. La determinación del tamaño y la forma de tierra, así como la evaluación de todos los datos necesarios para establecer el tamaño,

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

la posición , la forma y el contorno de cualquier parte de la tierra y monitorear cualquier cambio alusivo.

2. La localización de objetos en el espacio y en el tiempo, así como la ubicación y verificación de características físicas, estructuras y obras de ingeniería en, sobre y debajo de la superficie de la tierra.
3. El desarrollo, la prueba y la calibración de sensores, instrumentos y sistemas para los propósitos anteriormente mencionados y para otros de la topografía.
4. La adquisición y el uso de la información espacial tomada a corta distancia, aérea y de las imágenes del satélite, así como la automatización de estos procesos.
5. La determinación de la localización de los límites de terrenos públicos o privados, incluyendo las fronteras nacionales e internacionales, y el registro de esas tierras con las autoridades competentes.
6. El diseño, el establecimiento y la administración de los sistemas de información geográfica (GIS: Geographic information systems) y la recopilación, almacenamiento, análisis, manejo, exhibición y diseminación de datos.
7. El análisis, la interpretación e integración de objetos y fenómenos en el espacio en los GIS, incluyendo la visualización y la comunicación de estos datos en mapas, modelos y dispositivos digitales móviles.
8. El estudio del medio ambiente natural y social, la medición de los recursos terrestres y marinos, y el uso de estos datos para la planeación del desarrollo en áreas urbanas, rurales y regionales.
9. La planeación, el desarrollo y redesarrollo de la propiedad, ya sea urbana, rural, terrenos o edificios.
10. La evaluación del valor y de la administración de las obras de construcción, incluyendo la estimación de los costos.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

11. La planeación, medición y administración de las obras de construcción, incluyendo la estimación de los costos.

Al aplicar las actividades anteriores, los topógrafos toman en consideración los aspectos relevantes legales, económicos, del medio ambiente y sociales que afectan a cada proyecto.

Lo amplio y diverso de la práctica de la topografía (geomática), así como su importancia en la civilización moderna, quedan de manifiesto a partir de esta definición (wolf & Ghilani, 2016).

1.2. LA GEOMÁTICA

Como se mencionó la geomática es un término relativamente nuevo que en la actualidad se está aplicando comúnmente para abarcar las áreas de la práctica antes conocida como topografía.

La principal razón que se cita para hacer el cambio de nombre es que la manera y el alcance de la práctica de la topografía han cambiado radicalmente en años recientes. Esto ha ocurrido en parte debido a los recientes avances tecnológicos que han proporcionado a los topógrafos nuevas herramientas de medición o de recopilación de información o ambas, para el cálculo, la presentación y difusión de la información.

También ha sido impulsado por la creciente preocupación acerca del medio ambiente desde los puntos de vista local, regional y global, por lo que se han aumentado los esfuerzos de monitoreo, administración y regulación del uso de nuestro suelo, agua, aire y otros recursos naturales. Estas circunstancias y otras han ocasionado un amplio incremento de exigencias de información nueva espacialmente relacionada.

Históricamente, los topógrafos hacían sus mediciones usando métodos basados en el suelo y aun recientemente el tránsito y la cinta fueron sus

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

principales instrumentos. Los cálculos, los análisis los reportes, los planos y los mapas que entregaban a sus clientes se preparaban (en forma de copia permanentemente) mediante procesos manuales tediosos. Actualmente el moderno conjunto de herramientas de topógrafos para medir y recopilar la información de medio ambiente incluye instrumentos electrónicos para medir de manera automática distancias y ángulos, sistemas de levantamientos por satélite para obtener rápidamente las posiciones precisas de puntos muy espaciados, así como imágenes aéreas modernas y sistemas asociados de procesamiento para un mapeo y una recolección rápidos de otras formas de datos acerca de la tierra.

Se dispone de sistemas computacionales que pueden procesar los datos medidos y producir automáticamente planos, mapas y otros productos a una velocidad inimaginable hace unos cuantos años. Además, estos productos pueden prepararse con formato electrónico y transmitirle a localidades remotas vía los sistemas de telecomunicación.

De manera concurrente con el desarrollo de estas nuevas tecnológicas de recolección y procesamiento de datos, han surgido y madurado los Sistemas de Información Geográfica (GIS). Estos sistemas, basados en la computadora, permiten que virtualmente cualquier tipo de información relacionada espacialmente con el medio ambiente se integre, analice, exhiba y difunda. La clave para la operación exitosa de los sistemas de información geográfica radica en datos ha impuesto nuevas y grandes demandas sobre la comunidad de la topografía.

Como resultado de estos nuevos desarrollos, descritos anteriormente, y de otros, muchas personas piensan que el nombre de topográfica ya no refleja de manera adecuada el papel cambiante y en expansión de su profesión. De ahí que haya surgido el nuevo término de “geomática”. En este libro se emplean los dos términos: “topografía” y “geomática”, aunque el primero

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

se usa con mayor frecuencia. Sin embargo, los estudiantes deben entender que los términos son prácticamente sinónimos, tal como se expuso antes (wolf & Ghilani, 2016).

1.3. HISTORIA DE LA TOPOGRAFÍA

Los registros históricos más antiguos sobre topografía afirman que esta ciencia se originó en Egipto. Heródoto escribió que Sesostris (alrededor del año 1400 a.C.) dividió Egipto en lotes para el pago de impuestos. Las inundaciones anuales del río Nilo arrastraban parte de estos lotes y se designaban topógrafos para redefinir los linderos. A estos topógrafos antiguos se les llamaba estiracuerdas, debido a que sus medidas se hacían con cuerdas que tenían marcas unitarias a determinadas distancias.

Como consecuencia de este trabajo, los primeros pensadores griegos desarrollaron la ciencia de la geometría. Sin embargo, su progreso fue más bien en dirección de la ciencia pura.

Herón sobresalió por haber aplicado esta ciencia a la topografía alrededor del año 120 a.C. Fue el autor de varios tratados importantes que interesaron a los topógrafos, uno de los cuales fue La Dioptra, en el cual relaciona los métodos de medición de un terreno, el dibujo de un plano y los cálculos respectivos. También describió uno de los primeros aparatos topográficos: la dioptra (figura 1.1(a)). Durante muchos años, el trabajo de Herón fue de mayor prestigio entre los topógrafos griegos y egipcios.

Los romanos, gracias a su mente práctica, desarrollaron ampliamente el arte de la topografía; uno de los escritos más conocidos sobre el tema fue el de Frontinus, y aunque el manuscrito original se perdió, se han conservado partes copiadas de su trabajo. Este notable ingeniero y topógrafo romano, que vivió en el primer siglo de la era cristiana, fue un pionero en la materia y su tratado permaneció como norma durante muchos años. La capacidad

**“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”**

técnica de los romanos la demuestran las grandes obras de construcción que realizaron en todo el imperio. La topografía necesaria para estas construcciones origino la organización de un gremio de topógrafos o agrimensores. Usaron e inventaron ingeniosos instrumentos. Entre estos figuran la groma (figura 1.1 (b)), que se usó para visar: la libela, que era un bastidor en forma de A con una plomada usado para nivelación, y el corobates, que era una

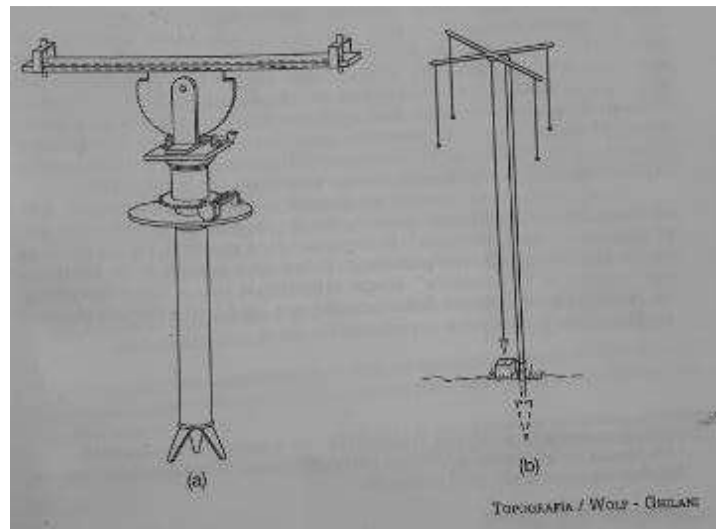


FIGURA 1. Dioptra, groma

(wolf & Ghilani, 2016)

Regla horizontal de unos 20 pies de largo, con patas de soporte y una ranura en la parte superior para ser llenada con agua, la cual servía de nivel.

Uno de los manuscritos latinos más antiguos que existen es el códice Aceriano (Codex Acerianus), escrito alrededor del siglo VI. Contiene una descripción de la topografía tal como la practicaban los romanos e incluyen varias páginas del tratado de Frontino. Gerbert encontró el manuscrito en el siglo X y en él se basó para redactar su texto de geometría, el cual se enfocó en su mayor parte a la topografía.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

Durante la Edad Media, la ciencia de los griegos y los romanos se mantuvo viva gracias a los árabes. El arte de la topografía tuvo pocos adelantos y los únicos escritos relativos a esta fueron llamados “geometría practica”.

En el siglo XIII Von Piso escribió la *Practica Geometría*, la cual contenía instrucciones sobre topografía. También fue el autor de *Liber Quadratorum*, que trata principalmente del quadrans, que era un bastidor cuadrado de latón con un ángulo de 90° y otras escalas graduadas. Se usaban un puntero móvil para visar. Otros instrumentos de esa época fueron los astrolabio., que era un anillo metálico con un puntero articulado en su centro y soportado por un anillo en la parte superior, y el báculo de cruz, que era un rodillo cilíndrico de madera de 4 pies de longitud, con un brazo transversal ajustable, formando un ángulo recto con el rodillo. Las longitudes conocidas de los brazos del báculo de cruz permitían medir distancias usando proporciones y ángulos.

Las primeras civilizaciones creían que la Tierra era una superficie plana, pero cuando notaron la sombra circular de la Tierra sobre la Luna durante los eclipses lunares y observaron que los barcos desaparecían gradualmente al navegar hacia el horizonte, dedujeron poco a poco que el planeta en realidad era curvo en todas direcciones.

La determinación del tamaño y la forma verdadera de la Tierra ha intrigado a los seres humanos desde hace siglos. La historia registra que un griego llamado Eratóstenes fue el primero que trató de calcular sus dimensiones. En la figura 1.2 se muestra su procedimiento, que se llevó a cabo más o menos en el año 200 a.C. Eratóstenes concluyó que las ciudades de Alejandría y Siena en Egipto se localizaban aproximadamente en el mismo meridiano; y también había observado que al mediodía, en el solsticio de verano, el Sol se encontraba directamente sobre la ciudad de Siena. (Esto era evidente,

**“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”**

porque en esa hora del día la imagen del Sol podía verse reflejada desde el fondo de un pozo vertical y profundo.)

Su razonamiento fue que en ese momento el Sol, Siena y Alejandría se encontraban en un plano común del meridiano y que de serle posible medir la longitud del arco entre las dos ciudades y el ángulo subtendido en el centro de la Tierra, podría calcular su circunferencia. En Alejandría determino el ángulo midiendo la longitud de la sombra proyectada por una estaca vertical de longitud conocida. Determino la longitud del arco multiplicando el número de días que tardaban las caravanas para ir de Siena a Alejandría por la distancia promedio recorrida diariamente. Con estas medidas, Eratóstenes calculó que la circunferencia de la Tierra medía cerca de 25 000 mi. Las medidas geodésicas precisas hechas posteriormente usando mejores instrumentos, pero manteniendo técnicas geométricamente similares a las usadas por Eratóstenes, han demostrado

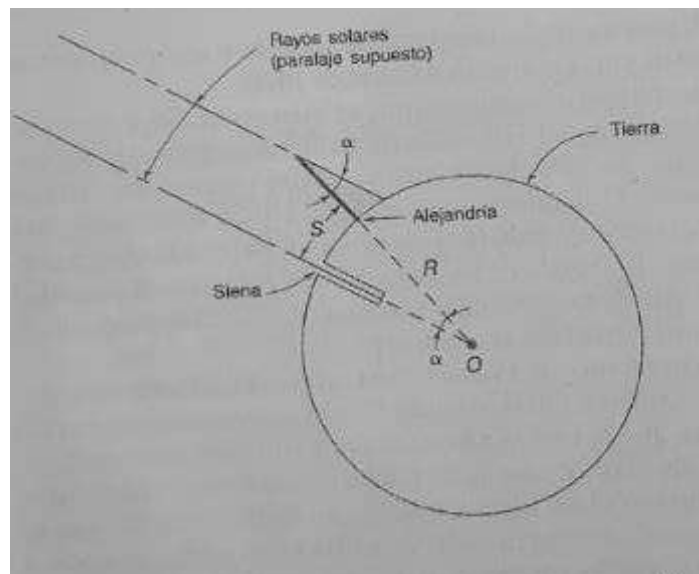


FIGURA 2. Geometría del procedimiento usado por Eratóstenes

(wolf & Ghilani, 2016)

que su valor, aunque algo mayor, fue asombrosamente cercano al aceptado en la actualidad.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

En los siglos XVIII y XIX el arte de la topografía avanzó más rápido. La necesidad de mapas y de deslindar las fronteras con otros países ocasionaron que Inglaterra y Francia realizaran extensos levantamientos que requieren triangulaciones precisas. De esta manera comenzaron los levantamientos geodésicos. El U.S. Coast Survey (ahora llamado National Geodetic Survey del departamento de comercio de Estados Unidos) fue instituido en 1807 por una ley del Congreso. Al principio su tarea era realizar levantamientos hidrográficos y preparar mapas náuticos. Más tarde, sus actividades se ampliaron para incluir la colocación de monumentos de referencia cuya posición se conoce con precisión en todo el país.

La topografía llegó a tener un lugar destacado debido al incremento del valor de la Tierra y a la importancia de lograr límites precisos, además de la demanda creciente en la época en cuanto a mejoras de canales, ferrocarriles y autopistas. En los últimos años, el gran volumen de construcciones, la necesidad de mejores registros para muchas subdivisiones de terrenos y las demandas impuestas por los campos de la exploración y la ecología, han dado como resultado un enorme programa de levantamientos. La topografía es aún el signo del progreso en lo que se refiere al desarrollo, uso y conservación de los recursos de la Tierra.

Además de enfrentar un sinnúmero de necesidades civiles crecientes, la topografía siempre ha desempeñado un papel muy importante en la estrategia militar. La primera y segunda Guerras Mundiales, los conflictos de Corea y Vietnam y los más recientes en el Oriente Medio y en Europa, han creado demandas asombrosas de mediciones y mapas precisos.

Estas operaciones militares también fueron un estímulo para mejorar los instrumentos y los métodos para satisfacer estas necesidades. La topografía también contribuyó y se benefició de los programas espaciales, donde se necesitaron equipo y sistemas nuevos para lograr un control preciso de los

***“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”***

proyectiles teledirigidos y el mapeo y la cartografía de partes de la luna y de planetas cercanos.

Actualmente el desarrollo de los equipos de topografía y de mapeo ha evolucionado hasta el punto en el cual los instrumentos tradicionales que se usaron hasta las décadas de los sesenta y los setentas (el tránsito, el teodolito, el nivel rígido o de antojo corto y la cinta de acero) han sido reemplazados casi completamente por un grupo de instrumentos nuevos de “alta tecnología”.

Éstos incluyen los instrumentos electrónicos de estación total, que pueden usarse para medir y registrar automáticamente las distancias horizontales y verticales; y los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS: Global Navigation Satellite Systems) tal como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS: Global Positioning Systems) que puede suministrar información precisa sobre la ubicación de virtualmente cualquier tipo de levantamiento topográfico.



FIGURA 3. Instrumento de estación total LEICA TPS 1100
(wolf & Ghilani, 2016)

Los instrumentos de escaneado con láser combinan las mediciones automáticas de distancias y ángulos para calcular retículas densas de

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

puntos coordenados. También se han desarrollado nuevas cámaras aéreas e instrumentos de percepción remota que suministraran imágenes en forma digital, y éstas pueden procesarse para obtener información espacial y mapas usando nuevos instrumentos de restitución fotogramétrica digital (también llamados graficadores de presentación transitoria).

Las figuras 3, 4, 5 y 6, respectivamente, muestran un instrumento de estación total, un sistema de mapeo móvil 3D, un instrumento de escaneado con láser y un moderno graficador de presentación transitoria. El sistema de mapeo móvil 3D de la figura 4 es un sistema integrado que consta de escáneres, un receptor GNSS, una unidad de medición inercial, y una cámara digital hemisférica de alta calidad que puede mapear todos los elementos hasta 100 m del vehículo a medida que el vehículo viaja a velocidades de autopista.

El sistema puede capturar 1.3 millones de puntos de datos por segundo suministrando al usuario final con coordenadas georreferenciadas de alta calidad de todos los elementos visibles en las imágenes (wolf & Ghilani, 2016).

1.4. LEVANTAMIENTOS GEODÉSICOS Y PLANOS

Los levantamientos topográficos se clasifican en dos categorías generales: geodésicos y planos. La distinción principal reside en las hipótesis en las que se basan los cálculos, aunque las mediciones de campo para los levantamientos geodésicos se efectúan normalmente con mayor precisión que para el caso de los levantamientos planos.

En la topografía geodésicas se toma en cuenta la superficie curva de la tierra, realizando los cálculos en un elipsoide (superficie curva aproximada al tamaño de la forma de la tierra). En la actualidad es más común realizar cálculo geodésico en un sistema tridimensional con coordenadas

***“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”***

cartesianas con centro en la Tierra, fijo en la Tierra (ECEF Earth-Centered, Earth-Fixed). Los cálculos comprenden la solución de ecuaciones deducidas de la geometría del espacio y del cálculo diferencial. Los métodos geodésicos se emplean para determinar las ubicaciones relativas de señalamientos separados por una gran distancia y para calcular longitudes y direcciones de líneas extensas entre ellos. Estos señalamientos sirven de base y como referencia para otros levantamientos subordinados de menor magnitud.

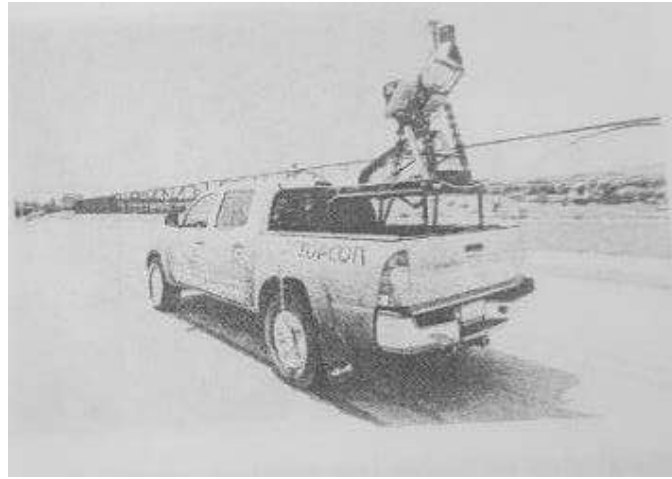


FIGURA 4. Sistema móvil de mapeo IP-S2 3D

(wolf & Ghilani, 2016)

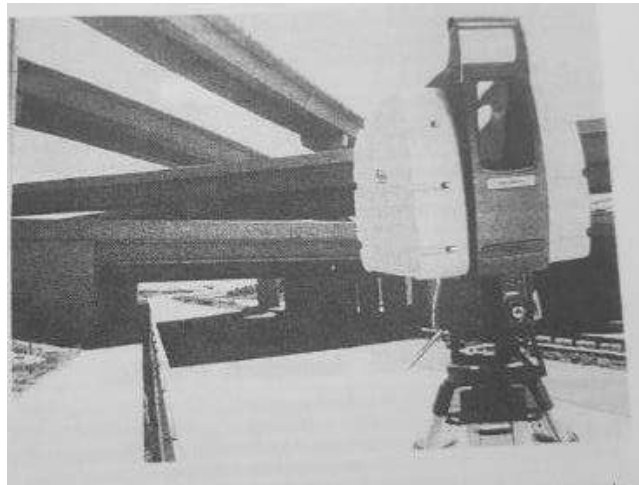


FIGURA 5. Escáner de laser LEICA HDS 3000

(wolf & Ghilani, 2016)

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

En los inicios de los levantamientos geodésicos se empleaban esfuerzos desmesurados para medir con exactitud ángulos y distancias. Los ángulos se observaban usando teodolitos precisos emplazados en el terreno, y las distancias se medían usando cintas especiales hechas de metal con un bajo coeficiente de expansión térmica.

A partir de estas mediciones básicas, se calculaban las posiciones relativas de los señalamientos. Posteriormente, se usaron instrumentos electrónicos para observar los ángulos y las distancias. Aun cuando algunas veces todavía se usan estos últimos tipos de instrumentos en la topografía geodésicas, el posicionamiento por satélite ha reemplazado casi completamente a otros instrumentos para estos nuevos tipos de levantamientos. El posicionamiento por satélite puede proporcionar las posiciones



FIGURA 6. Graficador de presentación transitoria
(wolf & Ghilani, 2016)

Necesarias con mucho mayor grado de exactitud, velocidad y economía. Los receptores GNSS permiten la localización precisa de las estaciones de Tierra observando las distancias a los satélites que operan en posiciones

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

conocidas a lo largo de sus órbitas. Los levantamientos GNSS se están usando en todas las formas de la topografía incluyendo la topografía incluyendo la topografía geodésica, hidrografía, de construcción, y de linderos.

Cuando se combinan con un Red de Tiempo Real (RTN real-time-network), los levantamientos GNSS tienen la capacidad de suministrar una exactitud de 0 hasta 0.1 pie para una región de 50 km con solamente 3 minutos de datos. Los principios de operación del sistema de localización global.

En la topografía plana, excepto en nivelaciones, se supone que la base de referencia para los trabajos de campo y los cálculos es una superficie horizontal plana. La dirección de una plomada (y en consecuencia la gravedad) se considera paralela en toda la región del levantamiento y se supone que todos los ángulos que se miden son planos.

Para áreas de tamaño limitado, la superficie de nuestro enorme elipsoide es una realidad prácticamente plana. En una línea de 5 mi de longitud, el arco de elipsoide y la longitud de la cuerda difieren únicamente en 0.02 pies. Una superficie plana tangencial al elipsoide se separa solamente 0.7 pies a 1 mi del punto de tangencia. En un triángulo que tenga un área de 75 mi², la diferencia entre la suma de los tres ángulos elipsoidales y los tres ángulos planos es de solo aproximadamente 1 segundo de arco.

Por tanto, es evidente que, exceptuando levantamientos que abarcan áreas muy extensas, la superficie de la Tierra se puede aproximar a superficie plana, simplificando con ello los cálculos y técnicas. En general, en los cálculos de topografía plana se usan el álgebra, la geometría plana y la analítica, así como la trigonometría plana.

Aun para áreas muy grandes, las proyecciones de mapas. El enfoque de este libro es principalmente en métodos de topografía plana, los cuales son

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”
métodos aproximados que satisfacen los requisitos de la mayor parte de los proyectos (wolf & Ghilani, 2016).

1.5. IMPORTANCIA DE LA TOPOGRAFÍA

La topografía es una de las artes más antiguas e importantes porque, como se ha observado, desde los tiempos más remotos ha sido necesario marcar límites y dividir terrenos. En la era moderna, la topografía se ha vuelto indispensable. Los resultados de los levantamientos topográficos de nuestros días se emplean para:

1. Elaborar mapas de la superficie terrestre, arriba y abajo del nivel del mar.
2. Trazar cartas de navegación aérea, terrestre y marítima.
3. Deslindar propiedades privadas y públicas.
4. Crear bancos de datos con información sobre recursos naturales y uso del suelo, para ayudar a la mejor administración y aprovechamiento de nuestro ambiente físico.
5. Evaluar datos sobre tamaño, forma, gravedad y campos magnéticos de la Tierra.
6. Preparar mapas de la Luna y otros planetas.

La topografía desempeña un papel sumamente importante en muchas ramas de la ingeniería. Por ejemplo, los levantamientos topográficos son indispensables para planear, construir y mantener carreteras, vías ferroviarias, sistemas viales de tránsito rápido, edificios, puentes, rangos de proyectiles, bases de lanzamiento de cohetes, estaciones de rastreo, túneles, canales, zanjas de irrigación, presas, obras de drenaje, fraccionamiento de terrenos urbanos, sistemas de abastecimiento de agua potable y disposición de agua residuales, tuberías y tiros de minas.

Los métodos topográficos se emplean comúnmente en la instalación de líneas de ensamble industrial y otros dispositivos de fabricación. Estos

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

métodos también se pueden dirigir la fabricación de equipo grande, tal como aeroplanos y barcos, donde las piezas por separado que sean ensamblados en diferentes lugares deben finalmente armarse como una unidad. La topografía es importante en muchas actividades relacionadas con la agronomía, la arqueología, la astronomía, la silvicultura, la geografía, la geología, la geofísica, la arquitectura del paisaje, la meteorología, la paleontología y la sismología, pero sobre todo en obras de ingeniería civil y militar.

Todos los ingenieros deben de conocer los límites de exactitud posible en la construcción, diseño y proyecto de plantas industriales, así como los procesos de manufactura, aun cuando sea algún otro quien haga el trabajo real de topografía. En particular, los ingenieros civiles y topógrafos a quienes se llama para planear y proyectar levantamientos, deben de tener una perfecta comprensión de los métodos e instrumentos a utilizar, incluso de sus alcances y limitaciones. Este conocimiento se logra mejor midiendo con los tipos de instrumentos usados en la práctica para tener una idea real de la teoría de los errores y de las pequeñas aunque reconocibles diferencias que ocurren en las cantidades observadas.

Además de resaltar la necesidad de límites razonables de exactitud, la topografía enfatiza también el valor de las cifras significativas. Los topógrafos y los ingenieros deben saber cuándo trabajar hasta el centésimo de pie (metro) en vez de hacerlo hasta las decimas o las milésimas, o tal vez hasta el entero más próximo, y que precisión se necesita en los datos de campo que justifique efectuar los cálculos con el numero deseado de decimales. Con la experiencia aprenderán la forma en que el equipo y el personal disponibles determinan los procedimientos y los resultados.

Esquemas y cálculos bien hechos y limpios son señal de una mente ordenada, la cual es a su vez un índice de sólida preparación y

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

competencia en ingeniería. Tomar buenas notas de campo en todo tipo de condiciones es una excelente preparación para la clase de registros y croquis que se espera tener de los ingenieros. La realización posterior de cálculos de gabinete basados en tales registros subraya su importancia. Un adiestramiento adicional de gran valor en las operaciones es el disponer adecuadamente los cálculos.

Los ingenieros que proyectan edificios, puentes, equipos, etc., se conforman con que sus estimaciones de las cargas que han de soportar sus construcciones estén correctas dentro del 5%. Luego aplican un factor de seguridad de dos o más. Excepto en los levantamientos de configuración, solo puede tolerarse errores extremadamente pequeños en los trabajos de topografía, y en estos no existe ningún factor de seguridad. Por lo tanto, tradicionalmente, en los levantamientos topográficos siempre es indispensable la precisión, tanto en operaciones manuales como el cálculo (wolf & Ghilani, 2016).

1.6. TIPOS DE LEVANTAMIENTOS ESPECIALIZADOS

Existen tantos tipos de levantamientos tan especializados que una persona muy experimentada en una de estas disciplinas específicas puede tener muy poco contacto con las otras aéreas. Aquellas personas que busquen hacer carrera en topografía y cartografía, deberían conocer todas las fases de estas materias, ya que todas están íntimamente relacionadas en la práctica moderna. A continuación se describen brevemente algunas clasificaciones importantes.

Los levantamientos de control establecen una red de señalamientos horizontales y verticales que sirven como marco de referencia para otros levantamientos. Muchos levantamientos de control que se realizan actualmente se hacen usando técnicas estudiadas.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

Los levantamientos topográficos determinan la ubicación de características o accidentes naturales y artificiales, así como las elevaciones usados en la elaboración de mapas.

Los levantamientos catastrales de terreno y de linderos establecen las líneas de propiedad y los vértices de propiedad. El término catastral se aplica generalmente a levantamientos de terrenos federales.

Existen tres categorías importantes: levantamientos originales, los cuales determinan nuevos vértices de secciones en áreas sin levantamientos, como las que existen en Alaska y en varios estados del Occidente de Estados Unidos; levantamientos de retrasado, utilizados cuando se desea recuperar líneas limítrofes que ya se habían fijado anteriormente; y levantamientos de subdivisión, usados para colocar señalamientos y delinear nuevas parcelas de propiedad. Los levantamientos de condominio se hacen para dar un registro legal de propiedad y constituyen cierto tipo de levantamiento limítrofe.

Los levantamientos hidrográficos definen la línea de playa y las profundidades de lagos, corrientes, océanos, represas y otros cuerpos de agua. Los levantamientos marinos están asociados con industrias portuarias y de fuera de las costas, así como con el ambiente marino, incluyendo investigaciones y mediciones marinas hechas por el personal de navegación.

Los levantamientos de rutas se efectúan para planear, diseñar y construir carreteras, ferrocarriles, líneas de tuberías y otros proyectos lineales. Éstos normalmente comienzan en un punto de control y pasan progresivamente a otro, de la manera más directa posible permitida por las condiciones del terreno.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

Los levantamientos de construcción determinan la línea, la pendiente, las elevaciones de control, las posiciones horizontales, las dimensiones y las configuraciones para operaciones de construcción. También proporcionan datos elementales para calcular los pagos a los contratistas.

Los Levantamientos finales según obra construida documentan la ubicación final exacta y disposición de los trabajos de ingeniería, y registran todos los cambios de diseño que se hayan incorporado a la construcción. Estos levantamientos son sumamente importantes cuando se construyen obras subterráneas de servicios, cuyas localizaciones precisas se deben conocer para propósitos de mantenimiento y para evitar daños inesperados al llevar a cabo, posteriormente, otras obras subterráneas.

Los levantamientos de minas sobre la superficie y abajo del nivel del terreno, con objeto de servir de guía a los trabajos de excavación de túneles y otras operaciones asociadas con la minería. Esta clasificación también incluye levantamientos geofísicos para minerales y exploración de recursos de energía.

Los levantamientos solares determinan los límites de las propiedades, los derechos de acceso solar y la ubicación de obstrucciones y colectores de acuerdo con los ángulos solares; además cumplen con otros requisitos de comités zonales y de los títulos de las compañías de seguros.

La instrumentación óptica (también conocida como levantamientos industriales o alineamiento óptico) es un método para realizar mediciones extremadamente precisas en procesos de manufactura donde se requieren pequeñas tolerancias.

Exceptuando los levantamientos de control, la mayoría de los descritos aquí se realizan normalmente usando procedimientos de topografía plana; no obstante, se pueden emplear métodos geodésicos en otros tipos de

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

levantamiento cuando éste abarca un área muy grande o exige una gran precisión.

Los levantamientos terrestres, aéreos y por satélite son la más amplia clasificación usada en algunas ocasiones. Los levantamientos terrestres utilizan medidas realizadas con equipo terrestre tales como niveles automáticos e instrumentos de estación total. Los levantamientos aéreos pueden lograrse ya sea utilizando la fotogrametría o a través de percepción remota.

La fotogrametría usa cámaras que se montan en los aviones para obtener imágenes, en tanto que el sistema de percepción remota emplea cámaras y otros tipos de sensores que pueden transportarse tanto en avión como en satélites. Los levantamientos aéreos se han usado en todos los tipos de topografía especializada que se enumeraron aquí, a excepción del sistema de alineación óptica, y en esta área se usan con frecuencia fotografías terrestres (con base en el terreno). Los levantamientos por satélite incluyen la determinación de sitios en el terreno a partir de mediciones hechas en los satélites que usan receptores GNSS, o el uso de imágenes por satélite para el mapeo y observación de grandes regiones de la superficie de la Tierra (wolf & Ghilani, 2016).

1.7. LA SEGURIDAD EN LA TOPOGRAFÍA

Los topógrafos (ingenieros en geomática) generalmente intervienen tanto en trabajo de campo como de gabinete. El trabajo de campo consiste en hacer mediciones con diferentes tipos de instrumentos para:

1. Determinar la ubicación relativa de los puntos.
2. Colocar estacas de acuerdo con las ubicaciones planeadas para guiar las operaciones de edificación y construcción. El trabajo de gabinete comprende.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

3. La investigación y el análisis de la preparación para los levantamientos
4. El cálculo y el procedimiento de los datos obtenidos a partir de las mediciones de campo.
5. La preparación de mapas, planos, cartas, reportes y otros documentos de acuerdo con las especificaciones del cliente.

Algunas veces el trabajo de campo debe realizarse en ambientes hostiles o peligrosos, por lo que es muy importante estar consciente de la necesidad de poner en práctica precauciones de seguridad.

Entre las circunstancias más peligrosas con las cuales los topógrafos algunas veces deben trabajar se encuentran los sitios de obra en o cerca de las carreteras o los ferrocarriles, o que cruzan estas instalaciones. Los sitios de obra en las zonas de construcción donde esté operando maquinaria pesada, también son riesgosos, y frecuentemente los peligros aumentan debido a las malas condiciones auditivas provenientes del ruido excesivo, y una mala visibilidad causada por los obstáculos y el polvo, los cuales son creados por la actividad de la construcción.

En estas situaciones, siempre que sea posible deberán retirarse los levantamientos de las áreas de peligro mediante una planeación cuidadosa o el uso de líneas paralelas o ambas cosas. Si el trabajo debe hacerse en estas áreas peligrosas, entonces deben seguirse ciertas precauciones de seguridad. En estas condiciones siempre deben usarse chalecos de seguridad de color amarillo fluorescente, y pueden amarrarse materiales ondulantes del mismo color al equipo de topografía para hacerlo más visible.

Dependiendo de las circunstancias, pueden ponerse conos, barricadas o ambas cosas para desviar el tránsito de las actividades de topografía; asimismo, pueden asignarse portabanderas para advertir a los conductores, ya sea para que aminoren la velocidad o que hagan alto total si es

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

necesario. La Occupational Safety and Health Administration (OSHA), del U.S. Department of Labor, ha desarrollado estándares y lineamientos de seguridad que son aplicables a las diferentes condiciones y situaciones que puedan encontrarse.

Además de los riesgos descritos anteriormente, dependiendo de la ubicación del levantamiento y de la época del año, también pueden encontrarse otros peligros al realizar levantamientos de campo.

Estos incluyen problemas relacionados con el estado del tiempo, tales como la congelación y la exposición prolongada a los rayos solares que pueden causar cáncer de piel, quemaduras por el sol, el golpe de calor, y las quemaduras por el frío. Para ayudar a evitar estos problemas, deben de beberse muchos líquidos, pueden usarse sombreros de ala ancha y filtros solares, y en los días de mucho calor el levantamiento debe de comenzar al amanecer y terminar al medio día o al inicio de la tarde. No debe hacerse trabajo al aire libre en los días 34 muy fríos, pero si es necesario, debe usarse ropa abrigadora y no exponerse la piel.

Otros riesgos que pueden encontrarse durante los levantamientos de campo incluyen los animales salvajes, las serpientes venenosas, las abejas, las arañas, la garrapata de bosque, las garrapatas de los ciervos (que pueden propagar la enfermedad de Lyme), la hiedra venenosa y el roble venenoso. Los topógrafos deben estar familiarizados con los tipos de riesgos que pueden esperarse en cualquier área local, y estar siempre alertas y en guardia contra éstos. Para ayudar a evitar las lesiones provenientes de estas fuentes, deben de usarse botas, ropa protectora y repelente de insectos.

Ciertas herramientas también pueden ser peligrosas, tales como las sierras de cadena, las hachas y los machetes que algunas veces son necesarios para despejar las trayectorias de visado. Siempre deben manejarse con cuidado. También debe tenerse cuidado en el manejo de ciertos

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

instrumentos de topografía, como las pértigas de largo alcance y los estatales, especialmente al trabajar cerca de cables aéreos, para evitar una electrocución accidental.

Pueden encontrarse muchos otros riesgos además de los citados anteriormente al hacer los levantamientos de campo. Entonces es esencial que los topógrafos siempre se conduzcan con precaución en su trabajo, y conocer y seguir estándares aceptados de seguridad.

Además, siempre debe acompañar a la brigada de topografía en el campo un botiquín de primeros auxilios para accidentes leves. La brigada de topografía también de estar equipada con teléfonos celulares para situaciones más graves, y tener escritos en lugares de fácil acceso los números telefónicos de emergencia (wolf & Ghilani, 2016).

1.8. LA PROFESIÓN DE TOPÓGRAFO

Las cualidades personales de un topógrafo al relacionarse con la gente, son tan importantes como su capacidad técnica. Debe ser paciente y mesurado en el trato con sus clientes y, en ocasiones, con los vecinos hostiles. Pocas personas se dan cuenta de lo laborioso de la búsqueda de información en documentos antiguos, la cual constituye una exigencia previa al trabajo de campo. Puede necesitarse de esfuerzo diligente y prolongado para ubicar los vértices de predios cercanos para fines de verificación, así como para determinar los vértices de la propiedad en cuestión.

La topografía se clasifica como una profesión técnica-académica, porque el topógrafo moderno necesita una amplia preparación general, adiestramiento técnico y experiencia práctica, y debe aplicar un grado considerable de juicio independiente. Un topógrafo profesional (o bien, un ingeniero topógrafo) debe tener un buen conocimiento de matemáticas,

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

en particular de geometría y trigonometría, con algo de cálculo y estadísticas; experiencia con computadoras, una sólida comprensión de la teoría de la topografía y de los instrumentos, así como de las técnicas empleadas en geodesia, fotogrametría, percepción remota y cartografía; ciertas nociones de economía (incluyendo administración de oficinas), geografía, geología, astronomía y dendrología; asimismo, conocer las leyes relativas a Tierras y linderos.

Debe ser preciso en sus cálculos de gabinete y en sus operaciones de campo. Sobre todo, el topógrafo debe guiarse por un código de ética profesional y percibir honorarios adecuados por su trabajo.

Llevando a cabo las gestiones adecuadas se tiene que solicitar permiso para entrar en propiedades privadas o para cortar ramas de árboles y arbustos que obstruyan. Tales privilegios no los da el simple hecho de ser, por ejemplo, topógrafo de un departamento de carreteras (aunque puede conseguirse una orden judicial si el propietario de un terreno se opone a que se hagan los trabajos de levantamiento necesarios), ni el de poseer un título y un registro profesional de topógrafo.

Todos los estados que conforman la Unión Americana, así como Guam y Puerto Rico, tienen leyes de registro para los topógrafos profesionales y los ingenieros. En general, se exige registro profesional de topógrafo para hacer levantamientos de propiedades, pero no para levantamientos de construcción, de configuración y de vías terrestres, excepto cuando haya que determinar vértices de linderos.

Para poder tener registro como topógrafo (o ingeniero topógrafo) es necesario tener el grado académico apropiado, aunque algunos estados permiten poseer una experiencia suficiente en vez de una educación formal. Además de esto, los candidatos deben de adquirir dos o más años de experiencia práctica con asesoría, y también pasar un examen escrito.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

En la mayoría de los estados de la Unión Americana, se aplica ahora un examen nacional común que cubre los fundamentos, principios y práctica de la topografía terrestre. Sin embargo, se dedican 2 horas del examen a cuestiones y aspectos legales locales. De esta manera, el registro o certificación entre estados se ha vuelto más fácil (wolf & Ghilani, 2016).

1.9. RETOS FUTUROS EN TOPOGRAFÍA

La topografía se encuentra en medio de una renovación en cuanto a la manera de medir, grabar, procesar, almacenar, recuperar y compartir información. Esto se debe en gran parte a los progresos de las computadoras y de la tecnología relacionada con ellas. Junto con los avances tecnológicos, la sociedad continúa exigencia mayor información con mayores normas de precisión que nunca antes. En consecuencia, en unos cuantos años las exigencias en las responsabilidades de los topógrafos (ingenieros en geomática) serán muy diferentes de lo que son ahora.

En el futuro, deberá mantenerse y proveerse al Sistema Nacional de referencia Espacial, que es una red de puntos de control horizontal y vertical para cumplir con los requerimientos de levantamientos de orden crecientemente superior. Son necesarios para una mejor planeación nuevos mapas topográficos con escalas más grandes, así como productos de mapas digitales. Los mapas existentes de nuestras áreas urbanas en rápida expansión necesitan revisión y actualización para reflejar los cambios, y se necesitan más y mejores productos de mapas de las partes más antiguas de nuestras ciudades principales, y los topógrafos enfrentarán nuevos retos para cumplir con las normas precisas que se requieren para el estacamiento de alineamientos y pendientes para estos sistemas.

En el futuro, la evaluación de los impactos ambientales de los proyectos propuestos de construcción requeriría de más o mejores mapas y de otros

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

datos. Deberán diseñarse, desarrollarse y mantenerse GIS y LIS que contengan varios datos relacionados con el suelo tales como propiedad, ubicación, superficie, tipos de suelo, uso de suelo, y recursos naturales. Son esenciales los levantamientos catastrales de los terrenos públicos que no han sido levantados. Los señalamientos establecidos hace años por los topógrafos originales tienen que recuperarse y replantearse para la conservación de los linderos de las propiedades. Serán necesarios levantamientos apropiados con una gran exactitud para colocar las plataformas de perforación a medida que las exploraciones de minerales y petróleo avanzan fuera de la costa.

Otros retos futuros incluyen la elaboración de levantamientos precisos de deformaciones para monitorear estructuras existentes, como presas, puentes y rascacielos, para detectar movimientos imperceptibles que podrían ser percusores de catástrofes causadas por sus fallas. Se necesitaran mediciones oportunas y mapas de los efectos generados por los desastres naturales como terremotos, inundaciones y huracanes, para poder planear e implementar acciones efectivas de auxilio. En el programa espacial se pretende contar con mapas de nuestros planetas vecinos, también debemos aumentar nuestras actividades de medición y observación de los cambios globales, tanto naturales como causados por el hombre (crecimiento y retirada de los glaciales, actividad volcánica, deforestación en gran escala, etc.) que pueden afectar potencialmente nuestra tierra, agua, atmosfera, suministro de energía y aun el clima.

Éstas y otras oportunidades ofrecen una actividad profesional remunerada en trabajos de gabinete o de campo, o en ambos, para un buen número de personas que cuenten con el adiestramiento adecuado en las distancias ramas de la topografía (wolf & Ghilani, 2016).

*“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”*

CAPITULO 2. FOTOGRAMETRÍA

2.1. INTRODUCCIÓN A LA FOTOGRAMETRÍA

Actualmente, cualquier cartografía, así como los levantamientos topográficos de una cierta magnitud, son realizados con técnicas de fotogrametría, a partir de fotografías aéreas. Si bien el concepto está implícitamente ligado a la producción de cartografía, comprende un ámbito de aplicación más amplio y se puede dividir en numerosas ramas que abarcan desde la Fotointerpretación hasta la Teledetección.

Según Boneval, la fotogrametría se define como “la técnica cuyo objeto es 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 de ese objeto”.

Una definición más actualizada que nos da la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) es “el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”. Esta última definición es más amplia, abarcando técnicas modernas, y eliminando casi las diferencias existentes entre la Fotogrametría y la Teledetección.

En cualquier caso podemos decir que la Fotogrametría es la ciencia que nos permite, a partir de fotografías ya sea aéreas o terrestres, obtener las medidas del objeto fotografiado.

La Fotogrametría va ligada a los avances de la ciencia. El inicio empieza con el descubrimiento de la fotografía en el año 1839 por parte de Arago, perfeccionada por Niepce y Daguerre. Posteriormente, en el año 1850, Laussedat aprovecha la fotografía para realizar planos topográficos, diseñando y haciendo construir el primer fototeodolito, dando a esta técnica el nombre de metrofotografía.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

En 1859 el arquitecto alemán Meydenbauer utiliza intersecciones a partir de fotografías para el levantamiento de edificios. A esta técnica la denominó fotogrametría, proviniendo de aquí el nombre.

En 1901 Pulfrich inventa el estereocomparador, resolviendo la identificación de puntos homólogos mediante la utilización de la visión estereoscópica. A raíz de este descubrimiento Von Orel construye el primer aparato de restitución, que permitía el trazado de curvas de nivel continuas.

Todos los desarrollos realizados anteriormente fueron aplicados a la fotogrametría terrestre, pero con la aparición de los aviones, en 1909 se realizan las primeras fotografías aéreas desde avión (se había hecho anteriormente desde globos aerostáticos), produciéndose su desarrollo a partir de 1920. La fotogrametría aérea es más compleja que la terrestre, ya que no se sabe ni la posición ni orientación de la cámara en el momento del disparo. El primero en resolver el problema de las orientaciones de la cámara fue Von Gruber en 1924, produciéndose el desarrollo de la fotogrametría analógica.

Con el desarrollo de los ordenadores, hacia 1960, se produce el inicio de la fotogrametría analítica, apareciendo el restituidor analítico, creado por el Finlandés Helava, cuyo punto álgido se alcanza en 1980. La diferencia fundamental entre un restituidor analógico y uno analítico, es que en el analógico los procesos de orientación se realizaban mediante métodos ópticos y mecánicos, mientras que en los analíticos se hacen mediante procesos en un ordenador.

En la transición entre ambos restituidores aparecieron unos que se denominaron semianalíticos, que eran aparatos analógicos a los que se les añadieron unos sensores que captaban las coordenadas terreno, y eran enviadas a un sistema CAD que permitía dibujar y almacenar datos.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

Finalmente, en los años 90 aparecen los primeros restituidores digitales con el desarrollo de la informática y las posibilidades de rapidez de proceso para la orientación en tiempo real de imágenes digitales. El desarrollo de la fotogrametría digital se debe fundamentalmente al desarrollo de los ordenadores, discos duros de gran almacenamiento, tarjetas gráficas que manejan imágenes grandes, compresión y tratamiento de imágenes digitales, etc.

La etapa actual en la que nos encontramos es una toma fotográfica convencional sobre película y un tratamiento posterior sobre imagen digital procedente del escaneado de la convencional (fotogrametría digital, pero no en el proceso de toma). Se empiezan a usar cámaras digitales aerotransportadas, multiespectrales y combinación de sensores de teledetección con técnicas de fotogrametría digital para cartografía, si bien su uso actualmente (2007) no está generalizado.

El futuro cartográfico de la fotogrametría es el uso de cámaras digitales aerotransportadas y la fotografía desde satélite (actualmente existen satélites que comercializan imágenes con resoluciones de hasta 0,6 m por píxel) (Antonio, 2006-2007).

2.2. 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.

**“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”**

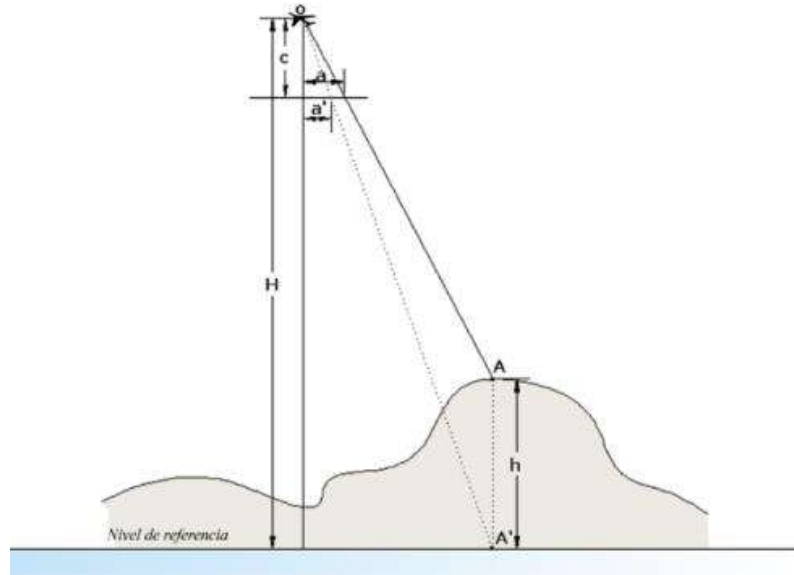


FIGURA 7. Desplazamiento de un punto debido al relieve.

(Elia, 2014)

De manera que podríamos deducir de la figura 7 que la altura del punto sobre el nivel del mar de la siguiente forma:

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

Altura sobre el nivel del mar

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

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

Altura sobre el nivel de referencia

2.3. CLASIFICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría se puede clasificar según los siguientes aspectos:

a. En función del *instrumental* utilizado:

a.1. **Fotogrametría Analógica:** Se miden fotogramas analógicos en un equipo también analógico.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

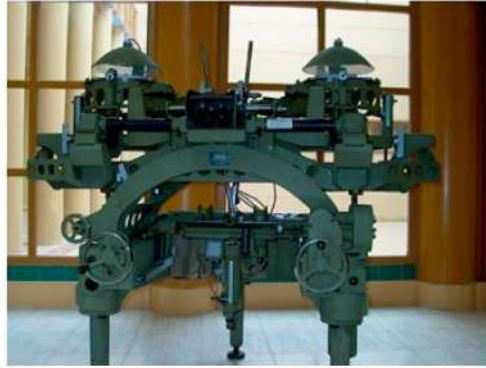


FIGURA 8. Restituidor Analógico

(Elia, 2014)

a.2. **Fotogrametría Analítica:** Se miden fotogramas analógicos con técnicas computacionales.



FIGURA 9. Restituidor Analítico

(Elia, 2014)



FIGURA 10. Restituidor Digital

(Elia, 2014)

a.3. **Fotogrametría Digital:** Medición de fotogramas digitales en sistemas fotogramétricos digitales.

b. En función de la *distancia al objeto*:

**“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”**

b.1. **Fotogrametría Espacial** (figura 11): Medición en imágenes de satélite.

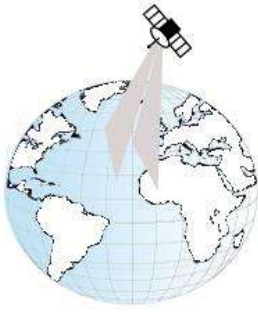


FIGURA 11. Fotogrametría Espacial

(Elia, 2014)

b.2. **Fotogrametría Aérea** (figura 12): Medición en fotogramas aéreos.

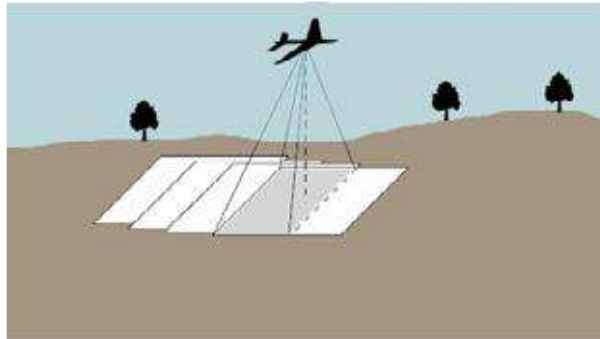


FIGURA 12. Fotogrametría Aérea

(Elia, 2014)

b.3. **Fotogrametría Terrestre** (figura 13): Medición en fotogramas obtenidos desde la superficie terrestre.

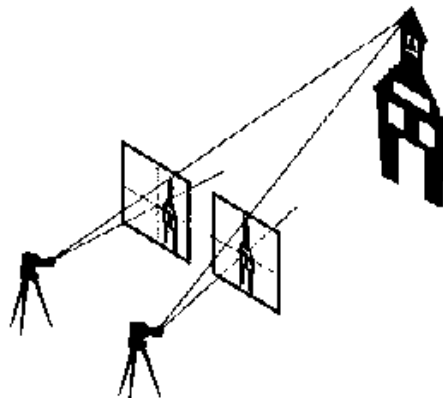


FIGURA 13. Fotogrametría Terrestre

(Elia, 2014)

2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FOTOGRAMETRÍA RESPECTO A LA TOPOGRAFIA CLASICA.

La primera ventaja, se ha explicado en el apartado anterior y concierne al tema económico, aunque siempre dependiendo de la superficie a levantar.

Otras **ventajas** son:

1. Levantamientos más rápidos, en la fase de restitución en sí. Hay que tener en cuenta que a veces el vuelo fotogramétrico se demora si la climatología no es la adecuada.
2. Si el terreno es de difícil acceso, la fotogrametría es la técnica adecuada, puesto que no se necesita acceder a todo el terreno. Solo habría que visitar aquellas zonas en las que se emplacen los puntos de apoyo.
3. Registro continuo de todo el terreno. Todos los detalles del terreno quedarían registrados en la fotografía. Sin embargo, mediante un levantamiento topográfico, solo se dispondría de coordenadas de los puntos medidos, que supondría un número bastante limitado con respecto a la totalidad del terreno.

La única **desventaja** del levantamiento de planos o mapas por medios fotogramétricos aéreos sería:

- Ocultamiento de elementos por la vegetación. Si el terreno tiene demasiada vegetación, impide la visión de elementos que estén por debajo de ella. En ese caso, si es necesario el registro de coordenadas de esos elementos, se haría necesaria una medición en campo de dichos elementos, por topografía clásica.

2.5. APLICACIONES DE LA FOTOGRAMETRIA EN INGENIERIA CIVIL

En el marco general de la Ingeniería existen cuatro grandes grupos de actuaciones donde se utilizan la fotogrametría:

1. **Vías de comunicación.** Para el estudio de establecimiento de trazados.
2. **Planificación territorial.** En el planeamiento urbanístico y ordenación del territorio.
3. **Hidrografía.** Estudio de cuencas, deformaciones de presas, etc.
4. **Ejecución de movimiento de tierras.** Medición de volúmenes removidos.

2.6. LA CÁMARA FOTOGRAMÉTRICA

Un objetivo fotográfico es un sistema óptico centrado, formado por una serie de lentes o dioptrios con sus centros alineados. Sin embargo, no existe objetivo fotográfico ideal, no transforma un haz cónico de rayos que entran en el sistema en otro de salida en sentido estricto. Por esto se dice que el sistema no es estigmático, la imagen de un punto formada sobre el plano focal o plano imagen se formará en una zona de estigmatismo aproximado. En general, cualquier deformación en la imagen del punto objeto se denomina aberración.

Se puede comprender por tanto que en una fotografía donde la finalidad fundamental es medir objetos, el objetivo es el elemento más importante de las cámaras fotogramétricas y el cual tiene que estar perfectamente corregido de imperfecciones. Asimismo, las lentes que forman el conjunto óptico han de estar perfectamente alineadas para formar lo que se denomina sistema óptico centrado, el cual forma una imagen perfecta en el plano focal (imagen nítida y geométricamente correcta).

Se denomina distancia focal f a la distancia en un sistema óptico entre el centro de proyección y el plano imagen o focal (donde se coloca el

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”
 negativo). La variación de esta distancia nos da la escala de una fotografía, así como el campo de imagen que se va a fotografiar.

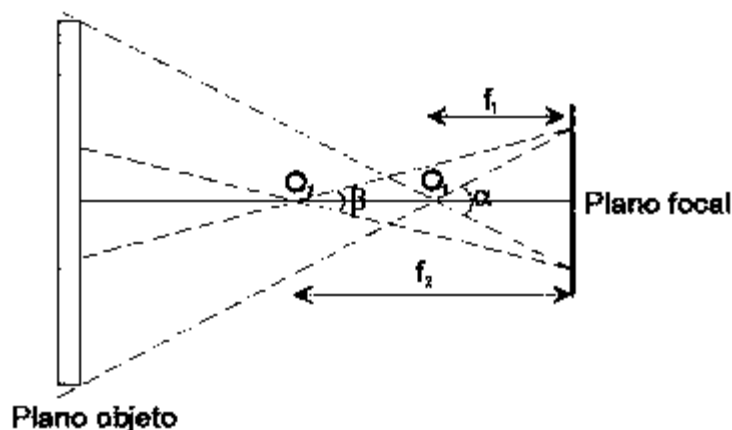


FIGURA 14. Distancia focal y plano focal

(Antonio, 2006-2007)

Se denomina centro de proyección al punto O (centro del objetivo) y punto principal al punto intersección del plano focal con el eje principal.

El campo de imagen se mide como el ángulo bajo el cual se ve nítida la imagen en cada distancia focal. Un ejemplo de la denominación de los objetivos en función de la variación de estos elementos podría ser:

<u>Distancia focal</u>	<u>Objetivo</u>	<u>Campo de imagen</u>
88 mm	Supergranangular	120°
152 mm	Granangular	90°
200 mm	Normal	80°
300 mm	Angulo pequeño	60°

En fotogrametría aérea se suele usar un objetivo granangular.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

Este ángulo se define como el que contiene una semidiagonal del fotograma desde el centro de proyección, de tal forma que para una fotografía estándar en fotogrametría de 23 x 23 cm (parte útil), el campo de imagen sería:

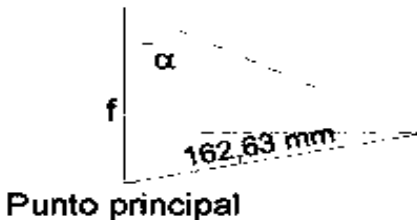
$$\alpha = \arctan \frac{162,63}{f}$$


FIGURA 15. Campo de imagen y distancia focal

(Antonio, 2006-2007)

En una cámara fotográfica, la limitación de entrada de rayos se hace con el diafragma, el cual se puede considerar una abertura circular centrada en el eje del sistema, la cual permite trabajar en una zona de estigmatismo aproximado. Se coloca entre las lentes del objetivo, de tal forma que limita el diámetro de entrada al objetivo. Se denomina 2ρ a la abertura útil del objetivo. El diámetro útil se suele dar a través del número N , que cumple la relación:

$$\frac{1}{N} = \frac{2\rho}{f} \Rightarrow N = \frac{f}{2\rho}$$

Al diafragmar (variar 2ρ) se controla la cantidad de luz que entra en el objetivo, de tal forma que cuando N es pequeño, la abertura útil es mayor. El número N sigue la progresión $1, \sqrt{2}, (\sqrt{2})^2, (\sqrt{2})^3, \dots, (\sqrt{2})^9$. El $N=1$ correspondería a la abertura máxima.

El obturador es el mecanismo que abre y cierra en fracciones de segundo la entrada de luz al objetivo. El tiempo que permanece abierto el obturador se denomina tiempo de exposición. La apertura de unas laminillas de cierre

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

entre las lentes del objetivo permite tiempos de exposición de la película desde 1/100 hasta 1/1500 segundos en fotogrametría aérea, en la que los tiempos de exposición han de ser bajos para evitar desplazamientos de imagen debido a la velocidad del avión y las vibraciones.

El filtro es el elemento exterior del objetivo, el cual básicamente es un cristal apropiado que cumple varias funciones. En primer lugar, reducir el efecto de luz difusa atmosférica, difundida por partículas atmosféricas que no deja pasar la luz procedente de partes en sombra. Por otro lado, contribuye a la distribución uniforme de la luz por todo el plano focal, a la vez que protege a las lentes principales del objetivo. En fotogrametría aérea, los filtros hacen que no sea necesario el uso del diafragma (función de atenuación del exceso de luz).

Todo este conjunto de lentes, diafragma, filtros y obturador constituyen en una cámara aérea lo que se denomina cono exterior o simplemente objetivo.

El cono interior es el espacio comprendido entre el conjunto anterior y el plano focal, que es donde se forma la imagen. En el plano focal, lógicamente, se coloca la película a impresionar y además de la imagen, se impresionan una serie de datos marginales en cada fotograma, variables según la cámara, que pueden ser:

1. **Marcas fiduciales:** marcas fundamentales en las esquinas y en el medio de los bordes que como veremos posteriormente, son esenciales para determinar la geometría del fotograma.
2. **Altímetro:** registra la altura de vuelo del avión.
3. **Nivel esférico:** proporciona información aproximada de la inclinación del eje principal en el momento de la toma.
4. Número y tipo de cámara.
5. Distancia focal del objetivo.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

6. Fecha y hora de la fotografía.
7. Número de fotografía (4 dígitos) dada correlativamente por un sistema contador a medida que avanza la película.
8. Información adicional: espacio para anotar otros códigos, lo más normal es la zona o denominación del proyecto.

Es fundamental para evitar distorsiones geométricas y ópticas que la película en el plano focal se encuentre perfectamente plana. Esto se consigue, además de por la presión de una plancha que sujeta la película contra el marco, por un sistema con una bomba de vacío de aire. Un pequeño motor hace la secuencia completa de la toma fotográfica: desconecta el sistema de vacío, hace avanzar la película, conecta el sistema de vacío, ilumina los sistemas de información marginal en el plano focal, abre el obturador y lo cierra.

En el almacén se aloja la película, normalmente de tipo rollo, con capacidad para almacenar películas de 120 a 150 metros. Con el formato estándar de 23 cm, un rollo de 120 metros permite casi 500 exposiciones.

Existen otros muchos mecanismos adicionales, como un compensador de movimiento de imagen, que produce un pequeño movimiento de la película en la dirección del vuelo (pero en sentido contrario) para compensar el movimiento de imagen debido al del avión. En alturas de vuelo pequeñas su función es más importante. La montura de la cámara con el fuselaje está realizada a través de un sistema amortiguador de vibraciones y suspendida de tal forma que permita giros en torno a tres ejes principales, de tal forma que el operador tiene la posibilidad de orientar o retocar la horizontalidad de la cámara en todo momento.

El visor permite al operador ver en cada momento la imagen del terreno a fotografiar y un intervalómetro hace que automáticamente la cámara vaya

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

disparando en función del recubrimiento longitudinal (fracción de imagen común en una fotografía y la siguiente) que se haya seleccionado.

El exposímetro tiene como función seleccionar la velocidad de obturación y abertura del diafragma en función de la luz disponible y la sensibilidad de la emulsión, de una manera automática, al igual que se realiza en cualquier cámara fotográfica convencional.

La georreferenciación en lo posible del centro de proyección fotográfico se realizaba antiguamente con aparatos auxiliares de navegación, pero actualmente, en cualquier vuelo fotogramétrico de cierta magnitud, estos datos se registran con Sistemas de Posicionamiento Global GPS y sensores inerciales INS (Inertial Navigation System). Posteriormente veremos para qué sirven estos datos y cómo se tratan.

En cuanto a los aviones fotogramétricos que se emplean, deben de cumplir unas características especiales en cuanto a estabilidad, velocidad reducida (en pequeñas alturas de vuelo, 200 km/hora), gran autonomía, buen acondicionamiento de los equipos fotogramétricos, etc. La tripulación suele estar formada por el piloto, un navegante que controla la ejecución del vuelo con respecto a un plan trazado y el fotógrafo (Antonio, 2006-2007).

2.7. LA PELÍCULA FOTOGRÁFICA

Es evidente que la calidad final de la imagen viene directamente condicionada por las propiedades de la película fotográfica en cuanto a granularidad y concentración de la emulsión, poder de resolución y sensitometría.

La estructura de la película está formada por un soporte de poliéster de 0.1 mm de espesor sobre el cual está la emulsión, una mezcla de cristales de bromuro de plata e ioduro de plata suspendidos en gelatina. Debajo del soporte hay una capa denominada antihalo que impide que por efecto de

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

reflexiones en el soporte se formen zonas muy iluminadas. Es de capital importancia que la película forme un conjunto no deformable en cuanto a forma y dimensiones por efecto de humedad o temperatura.

El poder de resolución o poder separador de una película es el número de líneas que podemos distinguir en un milímetro. Se suelen utilizar películas del orden de 75 líneas por milímetro.

La emulsión se acumula en lo que se denomina grano, de tal forma que el tamaño de este grano es lo que le da la principal característica a la película. Películas de grano grueso serán rápidas (necesitarán tiempos de exposición cortos) y tendrán una resolución o poder separador pequeños. Por el contrario, películas con grano fino producirán una imagen con mayor resolución, pero serán lentas (necesitarán tiempos de exposición largos). Esto produce una contradicción en fotogrametría aérea: los tiempos de exposición han de ser cortos para no producir desplazamientos de imagen debidos a la velocidad del avión, pero sin embargo, se 6 E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos – Cátedra de Topografía José A. Sánchez Sobrino requiere una gran resolución de imagen, por lo que es necesario llegar a un compromiso entre ambos factores. El tamaño del grano oscila entre medio y dos micrones. La granularidad mide el tamaño del grano por medio de un microdensitómetro.

La velocidad de una emulsión se mide por lo que se denomina su curva característica, que muestra las variaciones de densidad en función de los logaritmos de ciertas características de toma: duración de la exposición, iluminación y exposición. En fotogrametría aérea se utilizan emulsiones de gran velocidad, ya que las exposiciones han de ser cortas y la luz, escasa. Cada emulsión tendrá su familia de curvas características para diferentes tiempos de revelado. La escala más utilizada para su denominación es la ASA (American Standar Association).

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

En cuanto a la sensibilidad que tiene la emulsión o respuesta frente a diferentes radiaciones, podemos clasificarlas en:

1. **Ortocromáticas:** sensibles al rojo y al violeta (hasta 0.6 micras de longitud de onda).
2. **Pancromáticas:** sensibles a todo el espectro visible (máximos en violeta, rojo y amarillo).
3. **Infrarrojos:** sensibles hasta el infrarrojo, normalmente al cercano o próximo (hasta 1.5 micras de longitud de onda).

Normalmente se utilizan emulsiones en blanco y negro, ya que tienen mayor contraste para su posterior tratamiento, aunque los fotogramas en color tienen mayores posibilidades en cuanto a fotointerpretación de elementos. También la combinación filtro-película ofrece un mayor interés en fotointerpretación para fenómenos localizados en una determinada zona espectral (Antonio, 2006-2007).

2.8. LA IMAGEN DIGITAL

Actualmente la FGM analógica y analítica han dado paso a la FGM digital, donde todas las operaciones se realizan analíticamente sobre imágenes digitales en estaciones fotogramétricas por ordenador.

Una imagen digital es una función $F(x, y)$ donde x e y son las coordenadas en elementos diferenciales de imagen (píxel) que tienen atribuido un cierto valor (color o nivel de gris en el caso de imágenes en blanco y negro).

Esta matriz de píxeles $F(x, y)$ puede ser unidimensional, como en el caso de las imágenes en blanco y negro o multidimensional, como en el caso de las imágenes en color, formadas por la superposición de tres capas o matrices unidimensionales con los colores básicos rojo, verde y azul. Las imágenes de satélite suelen tener múltiples dimensiones en tanto en cuanto almacenan información de diferentes intervalos del espectro (ultravioleta, visible, infrarrojo próximo, medio, lejano, etc). Incluso las imágenes multiespectrales

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

almacenan la información de pequeños intervalos del espectro, más de 100 capas.

Aunque las imágenes con las que se trabaja son digitales, la toma aún puede ser analógica, mediante cámara convencional, ya que el uso de cámaras fotogramétricas digitales aún no está muy extendido debido al alto coste de una cámara digital (actualmente, en 2007, alrededor de 1 millón de euros).

La fotografía convencional es escaneada mediante escáneres digitales de alta resolución. Es importante no perder resolución desde la fotografía convencional a la digital. Por ello se suele utilizar la relación entre líneas pares por mm (R) y el intervalo de barrido o tamaño de píxel (ΔD) siguiente:

$$\Delta D(mm) < \frac{0.7}{2R}$$

Para determinar la resolución de una imagen digital hay que distinguir:

1. Resolución geométrica o espacial: tamaño del píxel. Se mide en micras (μm) por píxel. El estándar en FGM digital suele estar entre 10 y 30 micras por píxel.
2. Resolución radiométrica: número de niveles digitales (ND) que puede tomar cada píxel. Depende del número de bits que se utilicen para la codificación. Si la imagen se codifica en 8 bits, se tendrán $2^8 = 256$ posibles valores a almacenar en cada elemento de la matriz. En una imagen en blanco y negro se tendrá desde el negro (0) hasta el blanco (255) (Antonio, 2006-2007).

ASPECTOS GEOMÉTRICOS DE LA FOTOGRAFÍA AÉREA VERTICAL.

Los tipos de fotografías aéreas en función de la inclinación del eje de la cámara son:

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

1. **Verticales.** Cuando el ángulo que forma el eje óptico de cámara con la vertical no supera los 30.
2. **Oblicuas.** Aquellas en las que el ángulo que forma el eje óptico de la cámara y la vertical es superior a 30.
3. **Panorámicas.** son las que en la fotografía aparece el horizonte.

En fotogrametría aérea las fotografías utilizadas son las verticales, siendo tomadas con una cámara aérea calibrada. Estas son cámaras cuyos elementos internos son estables y perfectamente conocidos mediante procesos de calibración (Antonio, 2006-2007).

2.9. CALIBRACIÓN DE UNA CÁMARA MÉTRICA.

La calibración de una cámara métrica consiste en determinar los parámetros internos, para poder reconstruir el haz (orientación interna), como veremos posteriormente.

El resultado de un proceso de calibración es la emisión del certificado de calibración de la cámara que da los elementos siguientes:

1. Distancia focal de la lente.
2. Coordenadas de las marcas fiduciales.
3. Posición del punto principal, respecto al centro fiducial.
4. Distorsión radial del objetivo mediante una gráfica o tabla.

La mayoría de los procesos de calibración se realizan en laboratorios, aunque también existen metodologías para la obtención de los elementos mediante observaciones de campo. El proceso normal consiste en fotografiar una placa reticulada de gran estabilidad dimensional cuyos puntos de la retícula tienen coordenadas perfectamente definidas. La comparación entre estas coordenadas y las resultantes de medir su imagen en la fotografía, establece los parámetros de calibración interna de la cámara (Antonio, 2006-2007).

2.10. ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA

Al ser una fotografía una proyección cónica la escala en la fotografía sería uniforme en el caso que el terreno fuera llano, como este no es un caso habitual la escala depende del punto imagen, y por lo tanto el concepto de escala de la fotografía carece de rigor matemático.

En un terreno llano la escala de la fotografía vendría determinada por la relación entre una distancia en la foto y una en el terreno.

$$\frac{l}{E} = \frac{f}{D} = \frac{ab}{AB}$$

Siendo D la altura de vuelo del avión sobre el terreno.

En el caso de un terreno normal la escala de la fotografía vendría dada por la siguiente relación:

$$H h f E = 1$$

Siendo H la altura de vuelo de avión sobre el nivel medio del mar y h la altura terreno del punto considerado.

Al haber una escala por cada punto imagen, se hace necesario definir el concepto de escala medio del fotograma, en el que la altura h queda determinada por una altitud media de los puntos representativos de la fotografía.

$$H h_m f E = 1$$

Por otro lado y hablando de escalas, conviene tener presente que la fórmula que relaciona la escala de la fotografía con la escala de la cartografía final es:

$$E E_c = 200$$

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

Donde E es el denominador de la escala de la fotografía y E_c es el denominador de la escala de la cartografía. En una primera aproximación, para el establecimiento de un proyecto fotogramétrico, tendremos presente primero la escala cartográfica que queremos, a partir de ahí deducimos la escala fotográfica, y con ello, la altura aproximada a la que será necesario volar la zona (Antonio, 2006-2007).

2.11. PASÓ DE COORDENADAS FOTO A COORDENADAS TERRENO

En una primera aproximación, se puede establecer la siguiente analogía entre coordenadas fotografía y coordenadas terreno a partir de la figura:

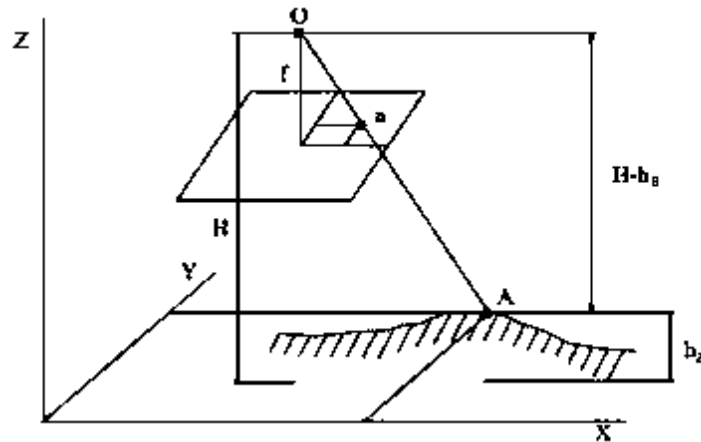


FIGURA 16. Geometría de la foto aérea

(Antonio, 2006-2007)

Donde:

- f es la distancia focal de la cámara.
- H es la altura de vuelo sobre el nivel medio del mar
- h_A es la altura del punto A del terreno, sobre el nivel medio del mar.
- x, y coordenadas foto.
- X, Y coordenadas terreno (Antonio, 2006-2007).

*“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”*

CAPITULO 3. VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS “DRONES”

3.1. HISTORIA MUNDIAL

Al igual que la navegación por satélite “GPS”, el desarrollo inicial de internet o la bomba atómica, los vehículos aéreos no tripulados han sufrido un fuerte empuje del I+D militar. En realidad, el empleo de drones maniobrados por los diferentes ejércitos no es algo nuevo, en sus raíces, bajo el nombre de aeronave pilotada remotamente (RPA), se esconden los prototipos de los llamados “torpedos aéreos” posteriormente llamados “misiles crucero”, estas bombas se emplearon como blanco fácil, en la Primera Guerra Mundial (1914-1918), aunque de manera muy limitada, puesto que pretendían ser un armamento de largo alcance, sin embargo este difícilmente alcanzaba distancias de varios cientos de metros, debido a los cambios de viento y la variabilidad de la distancia hacia un objetivo móvil. No obstante marcaron el comienzo de una nueva tecnología, aunque los sistemas utilizados fueran burdos y poco fiables, resultaron ser muy ingeniosos. Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), Gran Bretaña abandonó el desarrollo de misiles crucero, pasando a desarrollar blancos aéreos con control por radio. Para ello desarrollaron el modelo llamado Fairey, aunque fue con el Queen bee, con el que se produjeron 420 unidades entre los años comprendidos entre el 1934 y 1943. Esta aeronave era una versión del avión madera De Havilland Tiger Moth.

En paralelo Estados Unidos desarrollo el RP4, del que se produjeron varios miles de unidades, sirviendo como sistema de entrenamiento de las fuerzas de artillería. La Alemania de Hitler, también tuvo su visión del misil crucero, el VI Vengeance Weapor, siendo pioneros en incorporar un motor a reacción.



FIGURA 17. Queen bee

(Israel, Valladolid, Marzo de 2017.)

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

El término de vehículo aéreo no tripulado “VANT”, se extendió al describir a las aeronaves robóticas y reemplazó al vehículo aéreo pilotado remotamente “RPA”.

En la década de los 50, los drones seguían utilizándose como blancos aéreos, la compañía Radioplane, desarrolló los llamados Falconer o Shelduck, en los que se adaptaron sistemas radio-control cada vez más evolucionados, estos modelos fueron desarrollados con el objetivo de confundir a los sistemas radar enemigos.

Aunque no fue hasta la Guerra Fría (1947-1991) cuando se empiezan a usar de manera más asidua, especialmente durante la intervención norteamericana en Vietnam. En los años 60 los blancos son cada vez más rápidos y de mayor alcance, como el Ryan Fire bee, cuya modificación facilitaba la incorporación de bombas para objetivos terrestres, también fueron equipados con cámaras para misiones de reconocimiento. Estas aeronaves sobrevolaban el territorio enemigo a grandes altitudes aunque dentro del radio de control de la estación situada en tierra. Los VANT eran lanzados desde tierra con un motor cohete o desde el aire con un avión tripulado como el C130 Hércules. El aterrizaje se producía a través de un paracaídas.

El primer VANT fue el helicóptero DASH, su objetivo era sobrevolar las fragatas estadounidenses transportando torpedos, para atacar a los submarinos enemigos, manteniendo así lejos de sus barcos las cargas. También fue el primer aparato en introducir una revolución como es el ala rotórica. En la década de los 70, se empiezan a desarrollar las misiones de reconocimiento y vigilancia, tanto de corto como de largo alcance y elevada altitud. El belga MBLE Epervier, estaba equipado con un pequeño turborreactor, se lanzaba desde una rampa con un cohete y se recogía con un paracaídas. Dicha nave volaba mediante un autopiloto pre-programado asistido por radio, tenía instaladas cámaras ópticas, grabando todos los datos a bordo, para procesarlos en la estación de tierra a su regreso.

En la década de los 80 el ejército israelí empleó VANT para enfrentarse a las defensas antiaéreas sirias en Líbano, las aeronaves utilizadas alcanzaban una mayor altura y tenían un gran alcance, el avance tecnológico existente en predicciones meteorológicas, la introducción de las cámaras, permitiendo grabar en tiempo real, el sistema GPS, la evolución de los

**“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”**

motores, y el aumento del radio operativo hasta los 200Km, hacían de los VANT fueran verdaderamente más interesantes a nivel bélico, por eso tras el éxito de estas incursiones israelíes, Estados Unidos empezó a desarrollar nuevos equipos como el Gnat o el MALE UAS Predator, situándose a día de hoy ambos países 19 a la vanguardia del mercado mundial de drones. Además se empezó a investigar cómo aumentar el alcance y la autonomía para la operación naval, realizando lanzamientos desde las cubiertas de los buques. Se empezaron a realizar aeronaves con sistemas de navegación y control de giro estabilizado en tres ejes, basados en sistemas autónomos de vuelo computarizado y con un doble canal de enlace seguro.



FIGURA 18. MALE UAS Predator

(Israel, Valladolid, Marzo de 2017.)

Durante este periodo empezó la expansión de los RPAS “sistemas de aeronaves pilotadas a distancia”, debido fundamentalmente al aumento de la distancia de operación. Con esta distinción cabe destacar las diferencias con los VANT, que como ya se ha visto son vehículos aéreos no tripulados, queda por tanto claro afirmar que todos los RPAS son VANT pero no todos los VANT son RPAS.

La invención del láser, el relé de comunicaciones, las cámaras infrarrojas, unidas con la búsqueda continua de una precisión más fiable en la navegación y el guiado, permitió dotar a los aparatos de una mayor fiabilidad en el aterrizaje en tierra.

En los años 90, el impulso producido por las comunicaciones de los satélites, liberó a las aeronaves de operar dentro del alcance de la señal de radio y de los sistemas de navegación inexactos basados en giroscopios y datos del aire.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

Apareciendo nuevos formatos digitales de control de vuelo, que produjeron la invención de nuevas aeronaves más sofisticadas como el Gnat, propulsada por un motor alternativo, se considera el precursor de los actuales sistemas de media altitud, contando con una gran autonomía. Este modelo consta de versiones A, B y C, llegando a finales de la década a la invención del MALE Predator.

A principios de la década pasada se añadió una nueva misión complementaria a la inteligencia militar, como dotar a algunos drones con misiles y más tarde con bombas guiadas. Su empleo en la guerra de Irak y posteriormente contra Al Qaeda en Pakistán ha superado las expectativas iniciales, potenciando aún más las expectativas de los vehículos no tripulados.

La necesidad de tener que alcanzar cada vez mayores distancias, aumentar la autonomía de las plataformas existentes, obligó a desarrollar UAV, más grandes y pesados, propiciando así la aparición en el siglo XXI, del Predator B, equipado con un motor turbohélice y el Global Hawk, equipado con un motor turbofan, capaz de alcanzar una mayor altitud. Aunque también se empezaron a desarrollar aeronaves más livianas y pequeñas, para el apoyo de las tropas en tierra (ver Historia).

Por otro lado las aeronaves civiles muestran un nuevo punto de vista de esta tecnología, potenciando nuevas aplicaciones como agricultura, investigación o publicidad entre otras, dando oportunidad a la creación de nuevas empresas y miles de puestos de trabajo repartidos por todo el mundo.

La consultora “Frost & Sullivan” calcula que las exportaciones israelíes de drones, en el periodo 2006-2014 ascendieron a 4.600 millones de dólares, además de generar más de 3.000 puestos de trabajo directo.

No se debe caer en el error de suponer que esta tecnología solo está desarrollada por unos pocos países, desde un enfoque empresarial más global, la Asociación Internacional de Sistemas de Vehículos No Tripulados registra 2.100 miembros fabricantes, repartidos en más de 60 países que desarrollan esta tecnología de uso militar y civil. Obviamente no todos los fabricantes forman parte de esta asociación por lo que el número real es aún mayor. Aunque la cifra de países es bastante alta, en realidad la mayoría de estos carece de la capacidad y los medios para desarrollar este

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

tipo de tecnología, producirla y comercializarla a una escala y con una complejidad relevante. “Frost & Sullivan” también estima que el volumen de mercado para estos vehículos ascenderá en todo el mundo a 61.000 millones de dólares para el periodo comprendido entre 2011-2020.

Este gran mercado cada vez más se puede asemejar al de la aviación tradicional de mitad del siglo XX donde se producía una gran demanda a pocos productores, siendo dichos productores líderes claros del mercado. Con el tiempo este tipo de industrias de alta tecnología tiende a consolidarse en torno a pocas empresas, mientras que las barreras de ingresos en este mercado aumentan significativamente (Israel, Valladolid, Marzo de 2017.).

3.2. HISTORIA ESPAÑOLA

En España estos vehículos no se empezaron a desarrollar hasta finales de los años 80, principios de los 90, especialmente por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial “INTA” localizado en las cercanías de Torrejón de Ardoz (Madrid). El primer dron que consiguieron hacer volar fue el Siva en modo manual y automático, en el año 2000, este dron ha estado en servicio como vehículo pilotado a distancia, a cargo de la observación en las prácticas de tiro del regimiento de artillería de León. También se conoce como Siva al centro de uno de los proyectos de investigación del programa SESAR “Single European Sky Research” siendo ésta una plataforma europea que investiga formas de mejorar el tráfico y seguridad aérea, la cual, busca la forma de integrar este tipo de vehículos en el espacio aéreo civil y militar.



FIGURA 19. Siva, primer vehículo no tripulado fabricado en España.

(Israel, Valladolid, Marzo de 2017.)

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

Además de este modelo, también existen otros para diferentes usos, como son el Diana que sirve como blanco aéreo para maniobras de artillería y prácticas de vuelo, puede volar a una velocidad de hasta 200m/s, esta aeronave ha marcado un hito para la aviación española puesto que es la primera que se ha vendido al ejército de otro país (Brasil). También el Milano, una aeronave destinada únicamente a la investigación, con notables capacidades de reconocimiento.

El ejército español además de los ya mencionados, utiliza drones comprados a otros fabricantes como son el Searcher MKII israelí, del que dispone de 4 unidades compradas en 2007, que acompañan en incursiones tácticas a las tropas españolas destinadas en Afganistán. En 2008 se compran 27 unidades del RQ-11 Raven al ejército estadounidense, estos aviones espía sirven para reforzar la seguridad de las tropas españolas desplazadas en El Líbano y Afganistán. Más recientemente en 2014 se compró el Scaneagle un dron de fabricación estadounidense cuya misión es la vigilancia marítima en zonas de piratería o la búsqueda de posibles embarcaciones dedicadas al tráfico de droga. Este vehículo necesita una preparación especial, por eso la Armada española creó su 11ª Escuadrilla dedicada en exclusiva al pilotaje de drones, en uno de sus proyectos 5 pilotos españoles son enviados a Estados Unidos para mejorar su pericia a los mandos de estos aparatos (ver Gizmodo).

Una de las últimas noticias que se han presentado fruto de las buenas relaciones institucionales con Estados Unidos ha sido la compra de 4 drones MQ-9 Reaper por 215,8 millones de euros, aeronaves de última generación con posibilidad de poder ser armadas con misiles teledirigidos, para misiones de seguridad interna, mantenimiento e imposición de la paz, contrainsurgencia y contraterrorismo.

En España también hay una industria civil alrededor de estas aeronaves que consta de alrededor de 20 empresas que producen drones y sobre unas 200 que venden componentes para estos aparatos. Entre todos ellos se encuentra Drones Rescue Spain “DRS” un grupo de profesionales y aficionados que ponen sus equipos a disposición de organismos oficiales o particulares, para diferentes labores.

Entre los avances obtenidos por empresas españolas se encuentran la obtenida en 2010 por Flightech Systems que logra obtener el primer Certificado de Aeronavegabilidad Experimental de Europa para el FT-ALTEA

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

que con 6 metros de envergadura y un peso máximo al despegue de 80kg está equipado con numerosos sensores, cámaras térmicas de alta definición, además de un sistema de navegación autónomo que le permite volar tanto de día como de noche, también consta de sistemas que proporcionan un despegue y aterrizaje totalmente autónomos.

Aunque no todos los avances son producidos por empresas, en 2008 el equipo de investigadores de la Estación Biológica de Doñana pusieron en marcha el proyecto Aeromab, con el que pretendían aplicar tecnologías aeroespaciales a la conservación del medio ambiente, por aquella época la utilización de drones estaba exclusivamente limitada al ejército por lo que compraron una aeronave de aeromodelismo al que incorporaron sistemas de vuelo guiado, seguimiento remoto y la tecnología de visión en primera persona que permitía seguir desde un ordenador o unas gafas lo mismo que captaba el avión en cada instante.

En el año 2014 se inaugura en Villacarrillo (Jaén) el Centro de Vuelos Experimentales Atlas, siendo la primera instalación en España dedicada a experimentar con tecnologías y sistemas de aviones no tripulados, con el objetivo de ofrecer al mercado aeronáutico internacional una instalación de excelencia para ensayos y validaciones tecnológicas con aviones no tripulados. Ha contado con la inversión de 4,5 millones de euros por parte de la Junta de Andalucía.

El año 2015 se celebró en Zaragoza la Primera Feria Internacional de Drones de uso civil en España, bajo el nombre de Expodronica, en la que se consiguieron reunir 70 expositores de los principales países productores. En 23 este año 2017 la feria va a por su tercera edición, siendo una feria más que consolidada en el calendario nacional, contando con los principales fabricantes de drones a nivel mundial.

En el sector español se calcula que para el 2017 las empresas relacionadas con este sector podrían llegar al millar, a la vez que se necesitarán más de 10.000 pilotos, lo que supone una gran oportunidad de trabajo en este nuevo sector (Israel, Valladolid, Marzo de 2017.).

3.3. TIPOS DE DRONES

Según su uso

Los drones se pueden clasificar en dos claras divisiones en función de su uso, como son los drones militares y los civiles.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

Drones militares

Los vehículos no tripulados de combate aéreo (UCAV) o drones de combate, son un tipo de drones exclusivamente utilizado para aplicaciones militares. No se debe caer en el error de pensar que todos los UCAV van equipados con armamento, puesto que como se vio en la historia anteriormente descrita, estos se utilizan además de para el ataque y defensa, para misiones de reconocimiento, seguridad de fuerzas terrestres, como blanco aéreo, entre otros, y por tanto cada aeronave irá equipada con una tecnología específica en función de su uso.

En la actualidad, existen más de 30 países que reconocen utilizar de manera asidua este tipo de tecnología.

Su éxito radica en la gran precisión que han sido capaces de desarrollar, el menor coste del habitáculo, al no tener que transportar a un piloto, pudiendo llevar más carga útil, además del hecho de no tener que lamentar la pérdida del piloto en caso de que la aeronave sea abatida. Por todo ello los ejércitos están desarrollando UCAV, que podrían reemplazar en corto o medio plazo a los aviones tripulados de combate aéreo.



FIGURA 20. Drone Militar

(Israel, Valladolid, Marzo de 2017.)

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

Drones civiles

Los vehículos aéreos no tripulados, son aquellos que no se utilizan para fines militares, en la actualidad representan menos del 15% total del mercado, debido a la gran acogida que han tenido entre particulares y empresas, además de las múltiples aplicaciones y tecnologías que se están desarrollando, se espera que en los próximos años, se igualen ambos tipos en producción.

Se debe diferenciar entre vehículos dedicados a un uso comercial, que por regla general suponen una notable inversión, ya que necesitan unas características acordes a las expectativas depositadas sobre ellos, y estas deben de ser capaces de dar un servicio profesional a empresas y autónomos, o los drones dedicados a los aficionados, la variedad de características existentes en el mercado hacen que por precios muy asequibles, se puedan conseguir estos dispositivos. En el mercado de las app existen varias aplicaciones destinadas al ocio, como el Drone Ace, que ofrece la posibilidad de grabar videos o capturar fotos con patrones de vuelos preprogramados o el Airdoog capaz de grabar al usuario mientras está realizando alguna actividad física o recreativa (Israel, Valladolid, Marzo de 2017.).



FIGURA 21. Drone civil

(Israel, Valladolid, Marzo de 2017.)

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

Según sus alas

Otra de las posibles clasificaciones de los VANT es en función de sus alas, distinguiendo así entre fijas y móviles o rotatorias.

Fijas

Poseen alas adosadas en los laterales de la aeronave, las cuales no poseen movimiento propio, son accionadas por motores a los que se les incorporan unas hélices situadas en un plano horizontal al suelo.

Móviles o rotóricas

Poseen hélices giratorias, generalmente suelen ser cuadricópteros (cuatro motores con hélice), situados en un eje vertical al suelo, los cuales giran dos motores siguiendo el sentido horario de las agujas del reloj y los otros dos en sentido anti horario, creando así la fuerza de empuje necesaria para mover al dron hacia arriba o hacia abajo. Estos pueden ser de 6, 8 o más hélices, teniendo la consideración de que cuente con un número par de rotores, para garantizar la estabilidad de la aeronave. Excepto en el caso de los helicópteros que basta con una hélice superior, que es la encargada de subir y bajar además del desplazamiento, y una inferior situada en la parte trasera, que es la encargada del movimiento giratorio. Dependiendo de las aplicaciones y de las prestaciones que se deseen, cada aeronave sirve para una cosa u otra, en la siguiente tabla se recogen algunas de sus características (Israel, Valladolid, Marzo de 2017.).

Características de varias naves.

Características	Helicópteros	Alas fijas	Dirigibles	Multirrotores
Capacidad de vuelo estacionario	3	0	4	3
Velocidad de desplazamiento	3	4	1	2
Maniobrabilidad	3	1	1	4
Autonomía de vuelo	2	3	4	2
Resistencia al viento	2	4	1	2
Estabilidad	1	3	4	2
Capacidad de vuelos verticales	4	1	2	4
Capacidad de carga	3	4	1	2
Capacidad de vuelos interiores	2	1	3	4
Techo de vuelo	2	4	3	1

0=nulo, 1=malo, 2=medio, 3=bueno, 4=muy bueno

Ventajas e inconvenientes de los sistemas de ala fija y ala móvil

Normalmente los RPAS destinados a un uso civil son multirrotores, esto se debe a que este tipo de aeronaves son muy adecuadas para la toma de imágenes y videos, en el sector audiovisual, que según las estimaciones de la Asociación Española de RPAS (AERPAS), constituyen alrededor del 90% de la actividad. Este dato no hay que centrarlo solamente en España, puesto que en los demás países europeos este porcentaje no difiere demasiado.

Las principales ventajas que se pueden obtener de la utilización de un multirrotor son las siguientes:

1. El despegue y el aterrizaje se realizan en vertical, reduciendo el espacio en tierra para su operación, mientras que las aeronaves de reducida dimensión de ala fija necesitan catapultas mecánicas o humanas de lanzamiento y paracaídas para su aterrizaje.
2. Posibilidad de volar en un punto fijo, es decir, mantenerse en una determinada posición en el aire sin moverse, o a una velocidad muy baja, resulta muy adecuado para aplicaciones de inspección o toma de imágenes y videos.
3. Mayor precisión y maniobrabilidad del vuelo, los multirrotores tienen la capacidad de rotar sobre su eje o de maniobrar acercándose de manera crítica a un objetivo, pudiendo realizar casi cualquier movimiento facilitando la captación de imágenes, mientras que los de 26 ala fija siguen trayectorias curvilíneas, con radios de giro amplios, y con velocidades de ascenso y descenso bastante estrictas.
4. Su diseño les permite transportar mayor carga de pago, en relación con su propio tamaño.

Las principales ventajas de las aeronaves de ala fija son las siguientes:

1. Son mucho más eficientes que los multirrotores, lo que les permite a igualdad de tamaño, una mayor autonomía. La sustentación de las alas permite un menor gasto energético, prolongando así la duración de las baterías y por la tanto la duración del vuelo.
2. Pueden adquirir mayor velocidad, lo que combinado con la mayor eficiencia se transmite en una mayor distancia a cubrir o un área mucho mayor.
3. Tienen una huella sonora sensiblemente menor, por lo que son más difíciles de detectar acústicamente.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

4. Tienen una mayor resistencia a la temperatura, viento y lluvia.

Por las razones vistas anteriormente, se explica por qué los multirrotores copan el mercado civil, sin embargo a medida que la tecnología se desarrolle, se realicen aplicaciones a mayor altura y distancia y las leyes sean propicias para su utilización, los sistemas de ala fija aumentarán su número, al igual que pasa en el caso militar (ver Madrid) (Israel, Valladolid, Marzo de 2017.).

Según el método de control

Solo existen 4 métodos de operación en cuanto a la forma de pilotar una aeronave de manera remota, a veces existen otros métodos, si bien son combinación de estas y no añaden ninguna nueva característica. También hay que considerar que el grado de automatización va en aumento conforme disminuye la dependencia de la aeronave con el piloto.

Modo manual

En este modo, el piloto remoto es el único responsable del movimiento de la aeronave, éste actúa sobre la emisora radiocontrol, añadiendo mayor o menor potencia a los motores, controlando los diferentes sensores y dispositivos o dirigiendo hacia el lado que desee el VANT, dentro del radio de radiofrecuencia. Los drones que operan con este modo suelen ser drones bajos de gama, generalmente su coste es reducido en comparación con el resto de modos.

Modo aislado

El funcionamiento es similar al modo manual, con la diferencia de que el piloto remoto no actúa sobre la potencia de los motores, ni dirige la dirección, sino que este indica sus intenciones de operación a un puesto de radiocontrol, para que actúe un autopiloto, que transforma las órdenes recibidas en actuaciones sobre las superficies de control de dirección y de potencia.

Modo automático

El plan de vuelo es establecido previamente por el piloto remoto, es decir, el piloto realiza un recorrido punto a punto previo al vuelo, por los que debe pasar la aeronave. El dron cuenta con un autopiloto que ejecuta paso a paso el plan previsto, realizando de forma automática las acciones

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

requeridas en cada momento. Con la salvedad de que el operador tiene la posibilidad de tomar el control en todo momento, pudiendo modificar alguno de los puntos o todo el recorrido durante el vuelo, para poder efectuar maniobras concretas. Este modo permite al piloto remoto cambiar en cualquier instante a cualquier modo de los anteriormente citados.

Modo autónomo

Es parecido al modo anterior, a la hora de establecer un modelo predeterminado de vuelo, con la salvedad de que una vez iniciado el vuelo la aeronave realiza de forma autónoma todo el plan de vuelo, sin requerir la operación del piloto remoto, incluso si se produjera una situación de emergencia. Este modo es el que más ventajas ofrece, puesto que se está trabajando en la posibilidad de eliminar la opción de introducir una ruta predeterminada, así la aeronave podrá realizar una misión completa sin la ayuda de un piloto, esto se lograría a través de reconocimiento óptico o con la utilización de ultrasonidos, así se podría desplazar a un cierto punto, evitando los posibles obstáculos que se pudiera encontrar (ver Madrid).

En general un RPAS puede funcionar únicamente en uno de los tres primeros métodos de control, estando restringido el último a situaciones muy concretas como la vuelta a casa o la pérdida de comunicación entre el radorreceptor y la aeronave.

Los dos primeros modos, requieren que la aeronave siempre se encuentre visible por el piloto, o que a través de la cámara mande la suficiente información para que el piloto sepa en cada momento las condiciones en las que está volando, para poder tomar las decisiones adecuadas.

En actividades civiles, aeronaves de ala fija suelen operarse en modo manual o aislado, mientras que los multirrotores, se suelen operar en modo manual o automático, esto es debido a los mayores problemas de equilibrio y de ejecución de las maniobras realizadas por el piloto que se tiene en las naves de ala fija.

La principal ventaja que se puede obtener con la utilización del modo automático es la posibilidad de utilizar pilotos de menor capacidad y por tanto, de reducir el coste de operación, sin embargo se incrementaría el precio de la aeronave, pues habría que dotarla de sistemas más costosos (Israel, Valladolid, Marzo de 2017.).

*“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”*

**CAPÍTULO 4. REQUERIMIENTOS PARA OPERAR UN SISTEMA DE
AERONAVE PILOTADA A DISTANCIA (RPAS), SCT MEXICO.**

NORMA: (CO AV-23/10 R3)

Objetivo.- El objetivo de la presente Circular Obligatorio es establecer los requerimientos para operar un sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS), y en su caso, obtener la aprobación de tipo del diseño de un RPAS y/o su autorización de operación.

Fundamento legal.- La presente Circular Obligatoria es emitida con fundamento en los artículos 1º, párrafo primero, 2º, fracción I, 14 párrafo primero, 16, 18, 26 y 36, fracciones I, IV, XII y XXVII de la Ley Orgánica de la Administración pública Federal; 6º. Fracción III, de la Ley de Aviación Civil; 127, 135, 137 y 138 del Reglamento Interior de la **SCT** (*Secretaría de Comunicaciones y Transportes*).

Justificación.- De acuerdo a lo establecido por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), en el anexo 8, titulado “Aeronavegabilidad”, los fabricantes de aeronaves y la Autoridad de Aviación Civil deben asegurar la aplicación de los estándares necesarios para prevenir accidentes y proteger a los tripulantes, pasajeros y terceras personas, de igual forma el Anexo 2, titulado “Reglamento del Aire”, establece que “ninguna aeronave podrá conducirse negligente o temerariamente de modo que ponga en peligro la vida o propiedad ajena”.

Para el caso de aeronaves tripuladas, la aeronavegabilidad se encuentra primeramente enfocada en establecer los requerimientos o conjunto de procesos para el cual que estas aeronaves deben de cumplir a efecto de mantenerse en condiciones para realizar una operación segura a través de sus condiciones de operación, por lo que un Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) no debe de incrementar el riesgo de daño a personas o

**“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”**

propiedades ubicadas en tierra o en vuelo, comparado con una categoría equivalente de aeronave tripulada.

En la presente Circular Obligatoria, se establecen los requisitos de aprobación de tipo para todo Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS), sea por diseño y/o fabricación nacional o extranjera que pretenda ser utilizado en espacio Aero mexicano. Asimismo, se establecen los requisitos para obtener la autorización de operación y los requerimientos de registro del RPAS. Cualquier otro método distinto propuesto por un solicitante para dar cumplimiento a los requisitos aplicables, debe someterse a consideración de la Autoridad Aeronáutica, quien la analizara y determinará su aceptación cuando se cumplan niveles de seguridad equivalentes.

Aplicabilidad.- La presente Circular Obligatoria aplica a toda persona física o moral que opere o pretenda operar un Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS), y en su caso, obtener la Aprobación de Tipo para un RPAS y/o una Autorización de Operación como se indica en la presente Circular. Asimismo, aplica a los Fabricantes, Importadores y Comercializadores de RPAS, así como a los RPAS utilizadas por el Estado para operaciones civiles.

Esta Circular Obligatoria no aplica a los RPAS de Estado que efectúen operaciones militares, policiales, patrullas fronterizas y marítimas, mismas que deberán sujetarse a las disposiciones de tránsito aéreo señaladas en el artículo 37 de la Ley de Aviación Civil.

A su vez, las disposiciones de esta circular no son aplicables a aeronaves no tripuladas clasificadas como autónomas, ni a los globos libres no tripulados.

Antecedentes.- La forma de regular la aviación civil se ha realizado hasta nuestros días, con base en la noción de considerar que un piloto dirige la aeronave desde su interior y que ésta comúnmente cuenta con pasajeros y

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

carga a bordo. Sin embargo, el concepto de retirar al piloto de la aeronave plantea importantes problemas técnicos y operacionales, cuya complejidad continúa siendo evaluada por las autoridades a nivel mundial en conjunto con la comunidad aeronáutica.

Los sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) son un nuevo concepto en el ámbito aeronáutico, que la Autoridad Aeronáutica y la industria aeroespacial requieren comprender, definir e integrar para su adecuada operación. Estos sistemas se basan en novedades tecnológicas aeroespacial de última generación, que ofrecen avances que pueden proporcionar nuevas y mejores aplicaciones civiles y de uso comercial, así como contribuir a mejorar la seguridad operacional y la eficiencia de toda la aviación civil.

La integración segura de los RPAS en el espacio aéreo no segregado será una actividad a largo plazo en la que muchos participantes interesados contribuirán con su experiencia y conocimientos en tópicos diversos como el otorgamiento de licencias y la calificación médica del personal que controlará la operación de RPAS en tierra, tecnologías para sistemas de detección y evasión, espectros de frecuencias para su operación (incluyendo su protección respecto de la interferencia no intencional o ilícita), disposiciones legales aplicables de separación con relación a otras aeronaves y el desarrollo de un marco normativo robusto.

El objetivo de la Autoridad Aeronáutica es establecer el marco normativa mediante disposiciones legales aplicables, a efecto de que se realice la operación de los RPAS en una forma segura, armonizada y fluida comparable a las de las operaciones de aeronaves tripuladas. La presente Circular Obligatoria es el primer paso para alcanzar dicho objetivo.

La Autoridad Aeronáutica prevé que la información y los datos relativos a los RPAS evolucionarán rápidamente a medida que la industria aeroespacial

***“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”***

avance en su desarrollo. Por consiguiente, la presente Circular Obligatoria constituye la forma en que son reguladas y autorizadas para una operación segura y en la medida que evolucione esta operación será revisada, conformada y actualizada.

La presente revisión 3 a la Circular, representa la actualización de diversas disposiciones que son el resultado de las mejores prácticas utilizadas hasta el momento a nivel internacional en el uso de este tipo de aeronaves (México, 2016).

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE AERONAVE PILOTADA A DISTANCIA

La organización de Aviación Civil Internacional tipifica a las aeronaves no tripuladas (unmanned aircraft-UA) como: Aeromodelos, Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPA) y aeronaves autónomas, existiendo a su vez la combinación entre estas.

El Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) ésta compuesto de una Aeronave Pilotada a Distancia (RPA) y todo asociado con el equipo de soporte para su operación, tal como, estación de control, datos de enlace, telemetría, equipo de navegación y comunicación, mecanismo de lanzamiento y recuperación, entre otros.

La RPA es la parte del sistema que ejecuta el vuelo, controlada por una persona que se le denomina “piloto en tierra”, mediante un sistema de control en tierra, y cuando aplique, con apoyo de una computadora, enlaces de comunicación y equipo adicional que sea necesario para operar la RPA en forma segura. Los estándares de aeronavegabilidad que se establecen para los RPAS, no son menos demandantes que los aplican para aeronaves tripuladas, ni deben restringir al Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) del cumplimiento de estos estándares.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIAS (RPAS) Y REQUERIMIENTOS Y LIMITACIONES GENERALES.

La Autoridad Aeronáutica clasifica a las Aeronaves Pilotadas a Distancia, por su peso máximo de despegue y por su uso, como se muestra a continuación:

CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA		
PESO MÁXIMO DE DESPEQUE	CATEGORÍA	USO
2 kg o menos	RPAS Micro	Privado Recreativo
		Privado No Comercial
		Comercial
Más de 2 kg hasta 25 Kg	RPAS Pequeño	Privado Recreativo
		Privado No Comercial
		Comercial
Más de 25 kg	RPAS Grande	Privado Recreativo
		Privado No Comercial
		Comercial

(México, 2016)

4.3. REQUERIMIENTOS Y LIMITACIONES GENERALES PARA TODAS LAS CATEGORIAS Y TIPOS DE USO DE RPAS.

- Ningún piloto de RPAS debe dejar caer y/o aventar (aunque tenga paracaídas) desde el RPA cualquier objeto o material que pueda causar daño a cualquier persona o propiedad.
- El piloto del RPAS no debe operar la aeronave si el vuelo no puede hacerse de manera segura. Esta condición debe determinarse en una inspección de prevuelo. La inspección de prevuelo debe contener por lo menos lo indicado en el Apéndice E de la presente Circular Obligatoria.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

- c) El piloto del RPAS no debe operar la RPA en las áreas prohibidas, restringidas o peligrosas, establecidas en la Publicación de Información Aeronáutica (PIA) de México.
- d) El piloto del RPAS antes de realizar una operación, es responsable de verificar los NOTAMS que activan áreas prohibidas o restringidas mencionadas en el inciso anterior o áreas temporales que prohíben la realización de operaciones bajo reglas de vuelo visual (VFR) con aeronaves. Los NOTAMS se verifican en la oficina del servicio de información del vuelo del aeropuerto controlado más próximo.
- e) Los RPAS no deben utilizarse para transportar mercancías peligrosas y/o sustancias prohibidas por la ley, ni para emplear o transportar armas o explosivos.
- f) El piloto del RPAS debe operar la RPA a línea de vista. Por lo que el operador de RPAS debe ser capaz de ver la RPA durante todo el vuelo con el fin de saber su localización, actitud, altitud, dirección, la existencia de otros tráficos aéreos o de otros peligros y determinar que la RPA no ponga en peligro la integridad física de la vida de las personas o daños de la propiedad.
- g) El piloto del RPAS, no debe operar la RPA, en lugares abiertos o cerrados donde se reúnan más de 12 personas.
- h) En todo momento durante el vuelo, el RPAS debe permanecer lo suficientemente cerca para que el piloto sea capaz de ver la aeronave con la vista sin ayuda de ningún otro dispositivo que los lentes correctivos.
- i) El piloto del RPAS debe mantener el control de la trayectoria de vuelo de la aeronave pilotada a distancia en todo momento.
- j) El piloto del RPAS es el responsable de su operación, uso y en caso de incidente o accidente, de los daños y/o lesiones causados por la misma.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

- k) El piloto del RPAS es el responsable de mal uso que se dé a la información obtenida durante la operación de la aeronave.
- l) El piloto del RPAS es el responsable de respetar todas las leyes, reglamentos y normas de índole Federal o Local, relacionadas con Seguridad Nacional, Seguridad Pública, protección de la privacidad, propiedad intelectual, entre otras.
- m) El piloto del RPAS, no debe operar el RPAS de una manera negligente o temeraria que ponga en peligro la vida o la propiedad de terceros.
- n) Los RPAS deben ser operados durante las horas oficiales entre la salida y la puesta de sol, salvo que obtengan una autorización especial de parte de la autoridad aeronáutica para vuelos nocturnos o bajo reglas de vuelo por instrumentos (IFR).
- o) El piloto del RPAS debe dar en todo momento y sin excepción alguna, el derecho de paso a cualquier aeronave tripulada, a menos que el RPAS y la otra aeronave estén bajo control positivo por los Servicios de Tránsito Aéreo.
- p) El RPAS no debe operarse desde vehículos en movimiento, a menos que el vehículo se esté moviendo sobre el agua y esto sea indispensable para su adecuada operación.
- q) Ninguna persona debe actuar o intentar actuar como piloto del RPAS o como observador en estado de ebriedad o bajo los efectos de estupefacientes, psicotrópicos o enervantes.
- r) El propietario/piloto del RPAS debe cumplir con el mantenimiento y con la información e instrucciones de aeronavegabilidad continua del fabricante de RPAS.
- s) El propietario/piloto del RPAS debe cumplir con todas las Directivas de Aeronavegabilidad aplicables, emitidas por la Autoridad de Aviación Civil del estado de diseño/fabricación del RPAS y/o por la Autoridad Aeronáutica.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

- t) Las operaciones del RPAS que causen heridas o la muerte de personas, o daños a las propiedades de terceros, deben ser reportados por el piloto del RPAS a la comandancia del aeropuerto más próximo con el mayor detalle posible, en un plazo no mayor a 10 días calendario de ocurrido. Las comandancias cuentan con formato oficial para ser llenado por el piloto de RPAS.
- u) Los avistamientos de RPAS dentro de la diez millas náuticas alrededor de los aeropuertos reportarlos de inmediato a la comandancia de dicho aeropuerto con el mayor detalle posible. Las comandancias cuentan con formato oficial para ser llenado por el público general.
- v) Cuando prevalezca una situación de riesgo generado por un reporte de avistamiento, la comandancia coordinará con el Servicio de Control de Tránsito Aéreo, a fin de informar las acciones que deberán tomar las aeronaves tripuladas, durante el despegue, ascenso, aproximación o sobrevuelo, hasta en tanto no se determine que las condiciones de operación del aeropuerto regresan a su condición normal de operación.
- w) El piloto o el observador del RPAS no debe operar más de un RPAS al mismo tiempo.
- x) Los RPAS con matrícula o registro extranjero u operados por operadores de RPAS extranjeros con fines científicos, deben de solicitar permiso a la Secretaria de la Defensa Nacional en cumplimiento con el artículo 29 fracción XVIII de la Ley Orgánica de la Administración pública Federal.
- y) No podrán operar en México un RPAS con matrícula o registro extranjero u operados por operadores de RPAS extranjeros, diferentes a los mencionados en el numeral 7.2.x) de la presente Circular Obligatoria, a menos de que exista un acuerdo bilateral entre las autoridades aeronáuticas del estado de matrícula/registro o el estado

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

del operador extranjero y la autoridad aeronáutica Mexicana (México, 2016).

CAPÍTULO 5.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE PIX-4D MAPPER

Un paquete de software exclusivo que combina miles de imágenes aéreas tomadas por vehículos aéreos no tripulados u otro tipo convencional de aeronave en precisos mapas profesionales en 2D y modelos 3D.



FIGURA 22. Imágenes de explotación a cielo abierto tomadas con UAV y procesadas con Pix4DMapper

(SL., 2017)

Pix4DMapper Cloud ofrece una forma sencilla y segura de procesar sus imágenes.

Nuestros servidores potentes proporcionan resultados rápidos y almacenamiento seguro de los datos, sin mencionar ningún costo por adelantado.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

5.1. NUBE DE PUNTOS 3D EN LA NUBE PIX4D

Los objetos con geometría compleja, como tuberías, equipos industriales, chimeneas y estructuras triangulares son difíciles de visualizar como una reconstrucción fotogramétrica 3D. Las nubes de puntos son la forma más simple y precisa de representar la posición de un objeto en un entorno 3D digital. Esta simplicidad los convierte en el tipo de representación de datos en 3D más preferido en diversos proyectos de topografía e ingeniería.

A partir de ahora, puede ver todos los proyectos nuevos que procesa o subir a Pix4Dmapper Cloud y Pix4Dbim Cloud como nubes de puntos. Con el visor de nubes en 3D, es fácil visualizar y medir con precisión proyectos complejos y grandes (SL., 2017).

Datos geolocalizados en la nube

Obtenga la latitud, longitud y elevación de cada punto. El visor de nubes de puntos en Pix4D Cloud te da acceso a datos geolocalizados, con la posición exacta en 3D de tus marcadores

Puede exportar las coordenadas 3D completas de los marcadores como archivos .csv y

GeoJSON. También puede exportar la posición 3D de las líneas y polígonos que dibujó en la vista 3D como un archivo GeoJSON.

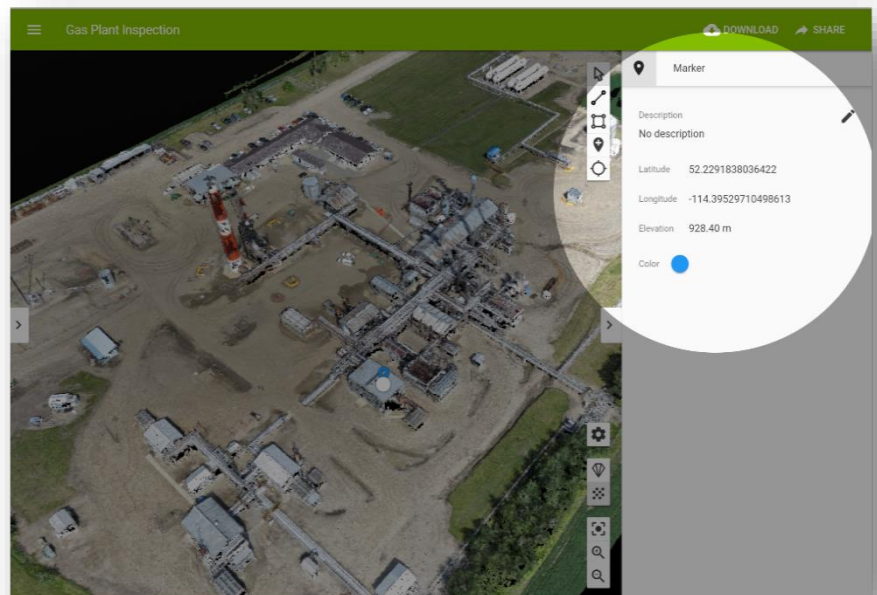


FIGURA 24. Datos geolocalizados pix4D

5.2. VENTAJAS DE PIX4D

Precisión profesional, sin la molestia de instrucciones.-

Paquetes tradicionales de fotogrametría no están diseñados para las imágenes UAV y requieren de horas de mano de obra especializada. Pix4DMapper toma fotogrametría al siguiente nivel mediante la automatización de todo el proceso y dando una mayor precisión, logrando precisión centimétrica con UAV ligero. Pix4DMapper verdaderamente permite a los UAV para convertirse en la próxima generación de herramientas profesionales de topografía.

Aumente la productividad.-

Los trabajos utilizando UAVs y Pix4DMapper se llevan a cabo en cuestión de minutos en lugar de días requeridos por las técnicas tradicionales. Como Pix4DMapper es tan fácil de usar como un par de clicks, no se requiere ningún especialista, y el inspector directamente puede procesar y visualizar los resultados que se entregan al cliente final.

Integración de flujo de trabajo.-

Pix4DMapper convierte tus imágenes aéreas primas en ortomosaicos DEM y legibles por otro paquete de SIG profesional, como ESRI ArcGIS y Google Earth Enterprise. También se integra perfectamente con los paquetes de fotogrametría tradicional, proporcionando resultados legibles por ERDAS, SocetSet y suites INPhO fotogrametría. Además, un informe de precisión 6 páginas se genera automáticamente para evaluar la calidad de los resultados (SL., 2017).

Vehículos aéreos y cámaras compatibles

Pix4DMapper está diseñado para los productores de cartografía basada en imágenes tomadas con cámaras de bajo peso transportadas por sistemas. También funciona con sensores más grandes realizadas por los sistemas aéreos como el Hasselblade y cámaras Leica. Soporta resolución de imagen

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

de entrada desde 1 hasta 200 megapíxeles y procesos RGB, las imágenes de infrarrojos y térmica, de hasta 10.000 imágenes al mismo tiempo. El único requisito es una ubicación grosera GPS de las imágenes (SL., 2017).

CASO DE ESTUDIO

PROCESO DEL PROYECTO: LEVANTAMIENTO (MODELO 3D) DE MINA DE PIEDRA CALIZA CON EL USO DEL DRONE.

DESCRIPCION Y LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La mina de caliza “la huerta” se encuentra en la República Mexicana exactamente en el estado de Guerrero, muy cercano de La unión De Isidoro Montes de Oca, otra referencia cercana es la autopista Morelia-Lázaro Cárdenas, ya que encuentra a 2 km aproximadamente, sus coordenadas son:

Longitud: -101.86

Latitud: 18.113

Con la localidad más cercana que se encuentra la mina de “La huerta” es con El Naranjillo, Localidad del Estado de Guerrero.

La localidad se encuentra a una mediana altura de 500 metros sobre el nivel del mar.

La población total de El Naranjillo es de 106 personas, de cuales 49 son masculinos y 57 femeninas.

Edades de los ciudadanos

Los ciudadanos se dividen en 44 menores de edad y 62 adultos, de cuales 12 tienen más de 60 años.

Estructura social

***“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”***

Derecho a atención médica por el seguro social, tienen 0 habitantes de El Naranjillo.

Estructura económica

En El Naranjillo hay un total de 32 hogares.

De estos 32 viviendas, 1 tienen piso de tierra y unos 1 consisten de una sola habitación.

13 de todas las viviendas tienen instalaciones sanitarias, 10 son conectadas al servicio público, 30 tienen acceso a la luz eléctrica.

La estructura económica permite a 0 viviendas tener una computadora, a 14 tener una lavadora y 28 tienen una televisión.

Educación escolar en El Naranjillo

Aparte de que hay 29 analfabetos de 15 y más años, 1 de los jóvenes entre 6 y 14 años no asisten a la escuela.

De la población a partir de los 15 años 33 no tienen ninguna escolaridad, 28 tienen una escolaridad incompleta. 2 tienen una escolaridad básica y 4 cuentan con una educación post-básica.

Un total de 4 de la generación de jóvenes entre 15 y 24 años de edad han asistido a la escuela, la mediana escolaridad entre la población es de 3 años.

Aspectos más importantes de la mina “La huerta”.

Obviamente el material o recurso que se extrae en esta mina es Piedra Caliza, el cliente número 1 que se le suministra este material es la siderúrgica Arcelor Mittal, el principal uso que se le da a la piedra caliza en esta siderúrgica es para el proceso de calcinación para producir cal siderúrgica, las granulometrías que se manejan para la planta van de 1"- 2 ½" que tienen

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

que pasar por los procesos de trituración para llegar a estas granulometrías, la empresa o compañía encargada de la operación de esta mina es Proyectos de Obra Civil S.A. de C.V., la cual ya tiene 8 años extrayendo piedra caliza de esta mina y suministrándola, aproximadamente en promedio se suministran 11,000 toneladas al mes de piedra caliza, esto puede variar por los requerimientos o necesidades que tenga la planta siderúrgica, en promedio se cuenta con 24 trabajadores que operan en la mina entre operadores de diferente maquinaria, como: excavadoras, retroexcavadoras, track drill, trituradora primaria y secundaria.



FIGURA 25. Macrolocalización mina "La huerta"

(Tesis, Erick Coria)

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”



FIGURA 26. Microlocalización Mina “La Huerta”

(Tesis, Erick Coria)

TRABAJO EN CAMPO

VISITA Y RECORRIDO A LA ZONA DE ESTUDIO.-

Es de vital importancia tener en cuenta que en este tipo de proyectos es muy importante conocer muy bien el lugar, mencionaremos los puntos más relevantes:

1. Accesos más convenientes para llegar al sitio de estudio, para esto previamente tuvimos que recopilar información con las personas que habitan cercanamente de este sitio, y tomamos la ruta más adecuada para evitar algún tipo de problema.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

2. Analizamos y definimos cuál sería el mejor sitio para asignar como la base de nuestro equipo de vuelo, que tenga las condiciones adecuadas, como temperatura, que no sea un lugar muy transitado por la gente de operación, previamente limpio, y tener en cuenta un punto de hidratación.
3. Designamos el frente o área que se va analizar, claro esto no se va determinar en este paso, se recopilaran varias propuestas, para después en oficina determinarla.
4. Definimos donde será el punto donde será el despegue de nuestro dron, dependiendo la altura o nivel donde estaremos desplantados, para así de ahí partir nuestro plan de vuelo.
5. Verificar en sitio o a los alrededores que no tengamos algún tipo de interferencia que pueda afectar el funcionamiento del dron o que tenga ciertas limitaciones que sean críticas y tomarlas en cuenta para nuestro plan de vuelo.

REPORTE FOTOGRAFICO DEL RECORRIDO



(Tesis, Erick Coria)

FIGURA 27. Reporte Fotográfico de la Mina

**“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”**



(Tesis, Erick Coria)

FIGURA 28. Reporte Fotográfico de la Mina



FIGURA 29. Reporte Fotográfico de la Mina



(Tesis, Erick Coria)

FIGURA 30. Reporte Fotográfico de la Mina

**“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”
PLANEACION DE PREVIOS PARA EL VUELO DEL DRONE**

Puntos importantes para recaudar la información necesaria para el proyecto.

1.- Una vez hecho el recorrido en la zona, se designó el área aproximadamente que se va a levantar.



2.- Se ubicaron los puntos de control que se tomaran con la estación total, que nos permita la facilidad de acceso a esos puntos y sean los más estratégicos para nuestro levantamiento.



(Tesis, Erick Coria)

*“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”*



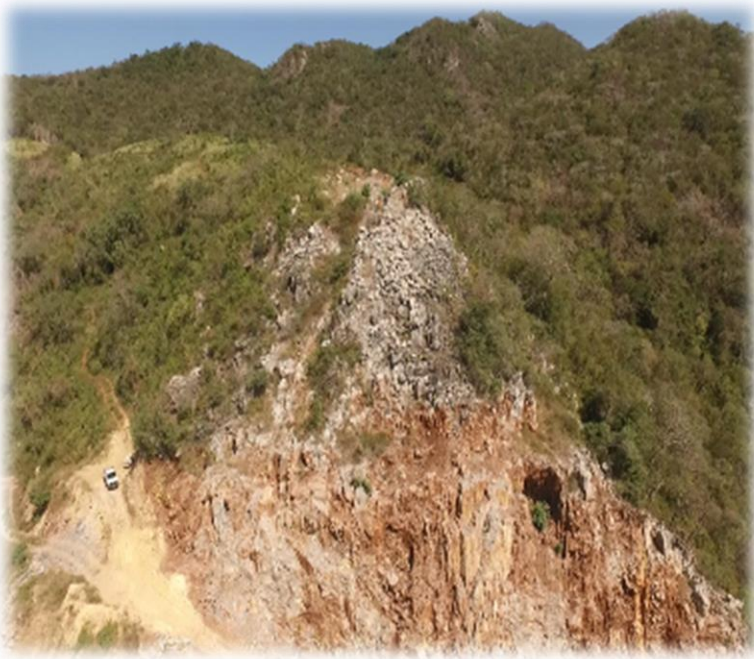
3.- Se asignó el lugar donde se van a refugiar los equipos de topografía y de vuelo, en lo que se ejecutan otras actividades.



4.- Se ubica el punto donde se va hacer el despegue del drone, debe de ser un lugar libre de vegetación y lo más estable posible.

(Tesis, Erick Coria)

*“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”*



5.- Tomar en cuenta esas zonas llenas de vegetación pueden afectar un poco en el modelamiento.



6.-Se realizó el plan de vuelo de una manera estratégica para cubrir el área deseada.

(Tesis, Erick Coria)

**“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE PUNTOS DE CONTROL CON
ESTACION TOTAL Y EL VUELO DE PRUEBA.**



2.- Se inicia el vuelo de prueba, como manera de ver si es la ruta de adecuada o hay que modificarle alguna trayectoria o bien también ver la calibración de disparos de fotos por segundo, si es conveniente al momento del procesamiento de información.

(Tesis, Erick Coria)



3.- Algunas de las cuestiones que si nos hizo sufrir o batallar un poco era todo el polvo ocasionado por la operación de las trituradoras y en el momento que se apilaba los finos de caliza, se genera algo de polvo, entonces aquí el punto importante es tratar de no coincidir con el horario de operación.

*“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”
EJECUCIÓN DEL VUELO DEL DRONE DEFINITIVO (Tesis, Erick Coria)*



1.- Y es aquí donde llega el momento más esperado donde ya una vez que cumplimos con todos los requisitos anteriores o recomendaciones, es hora de ejecutar el vuelo definitivo, el levantamiento fotográfico que en su momento se va a procesar.

Es aquí es donde si estuvimos bien pendientes que las condiciones del lugar fueran las adecuados para que nuestro no se vea afectado, por ahí tuvimos un detalle con unas aves que estaban muy cercas de donde se hizo el vuelo, nos esperamos un poco a que se despejaran.

El viento también es un factor muy importante, ya que es unos de los aspectos que pueden alterar la estabilidad de nuestro drone, y por lo tanto se nos puede llegar a descontrolar.

Otro punto importante que de vital importancia es estar preparados con las baterías, ya que cada una tiene una duración de 20 min, es muy probable que con una sola batería sea suficiente para el plan de vuelo que tenemos asignado, pero siempre es bueno tener una batería de reserva por cualquier situación estar prevenidos.

*“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”*
REPORTE FOTOGRAFICO DEL VUELO



(Tesis, Erick Coria)



(Tesis, Erick Coria)

*“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”*



(Tesis, Erick Coria)



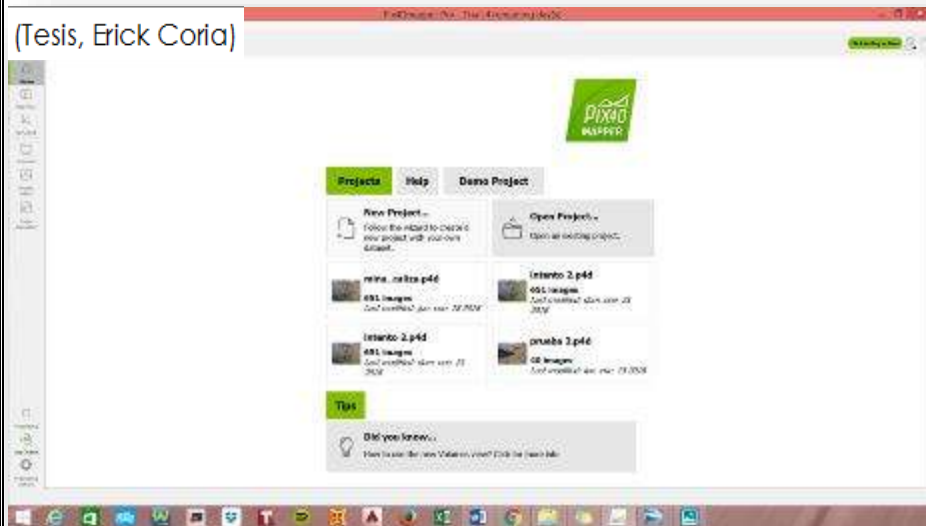
(Tesis, Erick Coria)

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

TRABAJO DE OFICINA

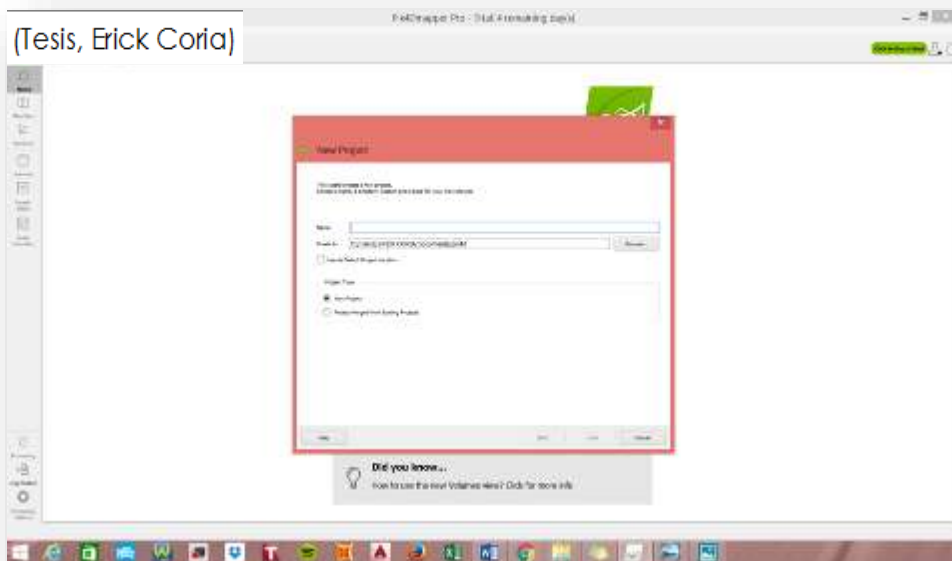
(PROCESAMIENTO DE INFORMACION DEL LEVANTAMIENTO CON EL DRONE
CON PIX 4D, PARA MODELAMIENTO DE LA MINA DE PIEDRA CALIZA)

(Tesis, Erick Coria)



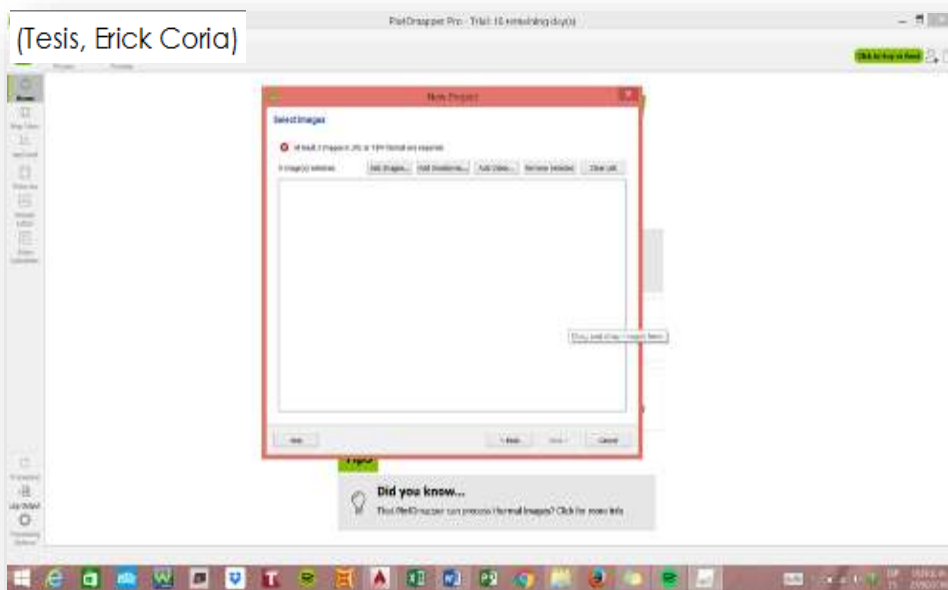
1. Primeramente entramos al programa Pix-4D, y nos encontramos con esta vista, iniciamos un nuevo proyecto.

(Tesis, Erick Coria)

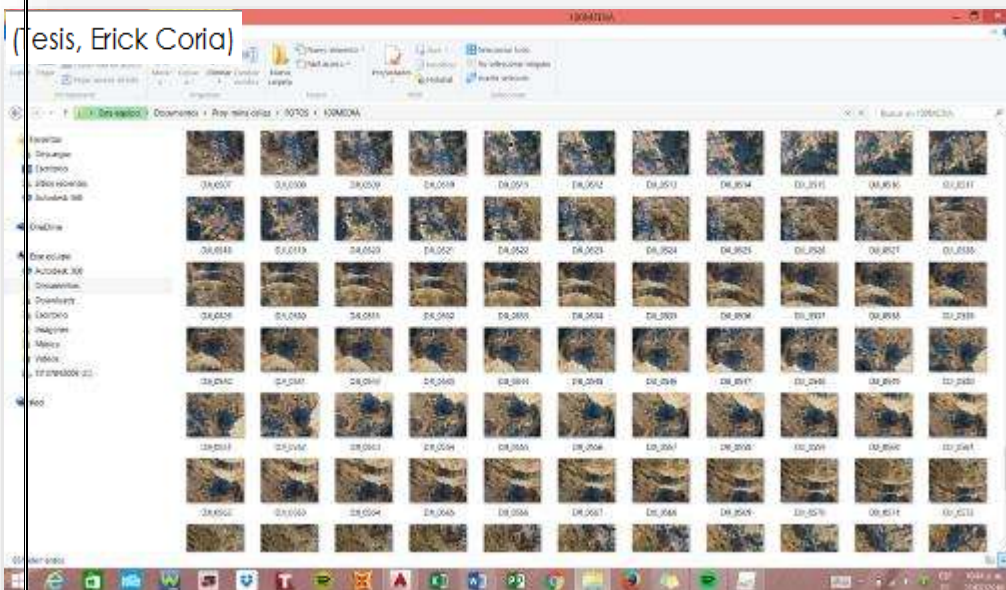


2. Nombramos el proyecto y destinamos donde se van a guardar todos los archivos que arroja el programa, por default te manda a una ruta de Pix4D y damos siguiente.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”



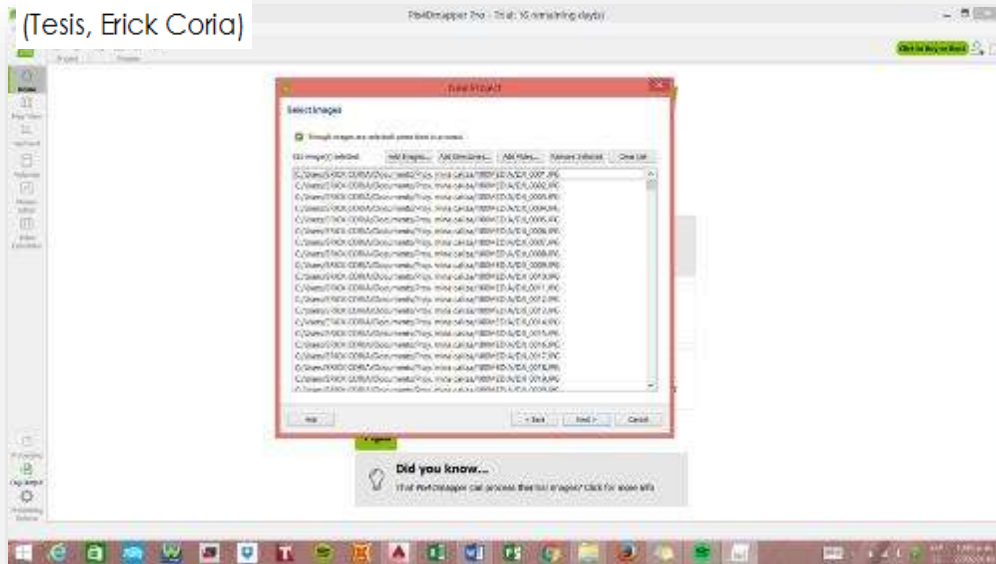
3. Posteriormente anexaremos las fotos levantadas por el drone, vamos a ingresar al archivo donde se encuentran las fotos, de preferencia hay que nombrar una carpeta destinada solo para las fotos del levantamiento.



4. Este es el destino de las fotos, son aproximadamente 450 fotos, las seleccionamos todas.

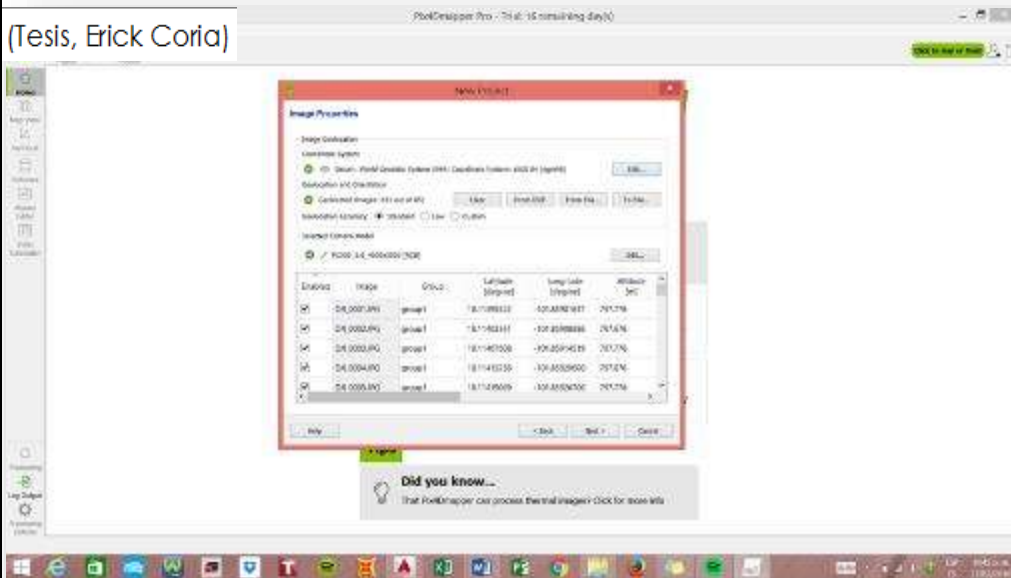
“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

(Tesis, Erick Coria)



5. Una vez ya vaciadas las fotos en pix4D, revisamos que estén todas las fotos completas ya que aparecen una lista en pantalla.

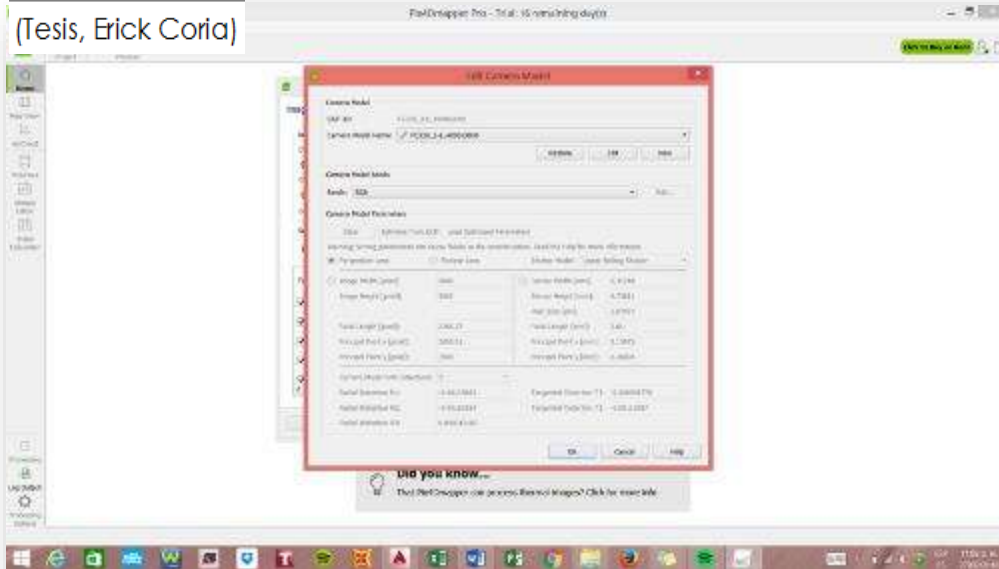
(Tesis, Erick Coria)



6. Le damos siguiente y aparece la lista de fotos con sus coordenadas respectivas de cada foto.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

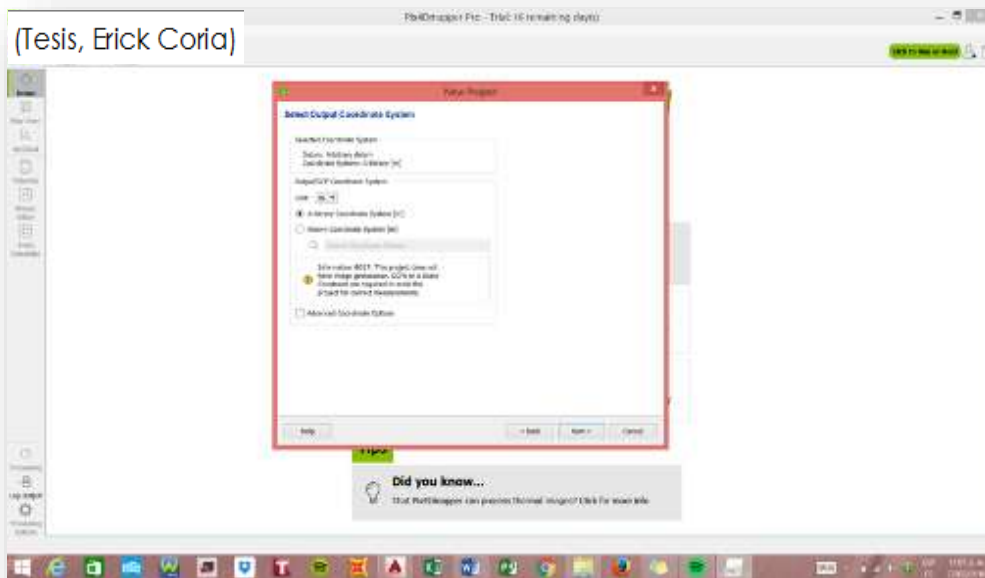
(Tesis, Erick Coria)



7. Nos vamos a la opción de editar modelo de cámara para asegurarnos de que se encuentre con las opciones indicadas para el tipo de cámara, esto se determinará

dependiendo el tipo de drone, en este caso se hizo con un drone phantom 4.

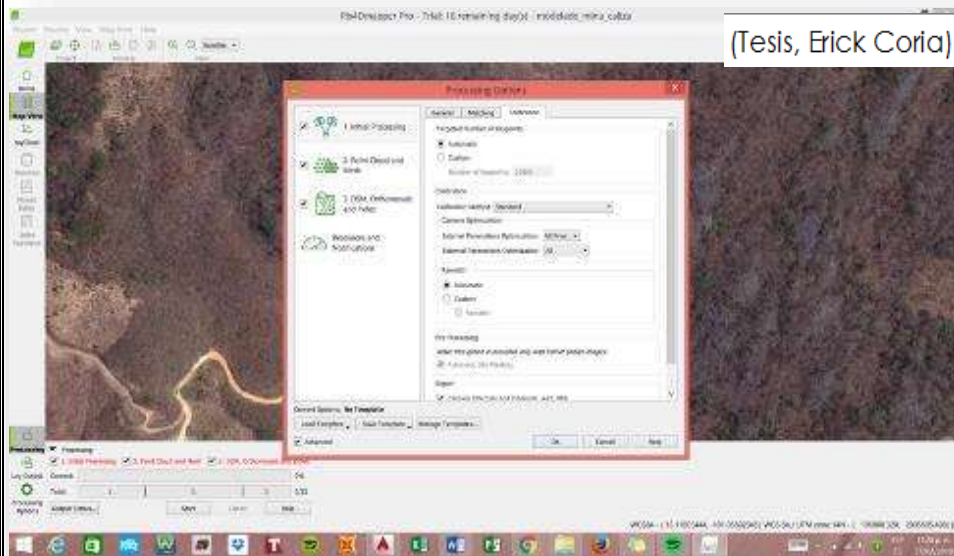
(Tesis, Erick Coria)



8. Después de dar siguiente, nos da la opción de cambiar el sistema de coordenadas, por default el programa ya te asigna el sistema de coordenadas adecuado de la zona de estudio, esto es

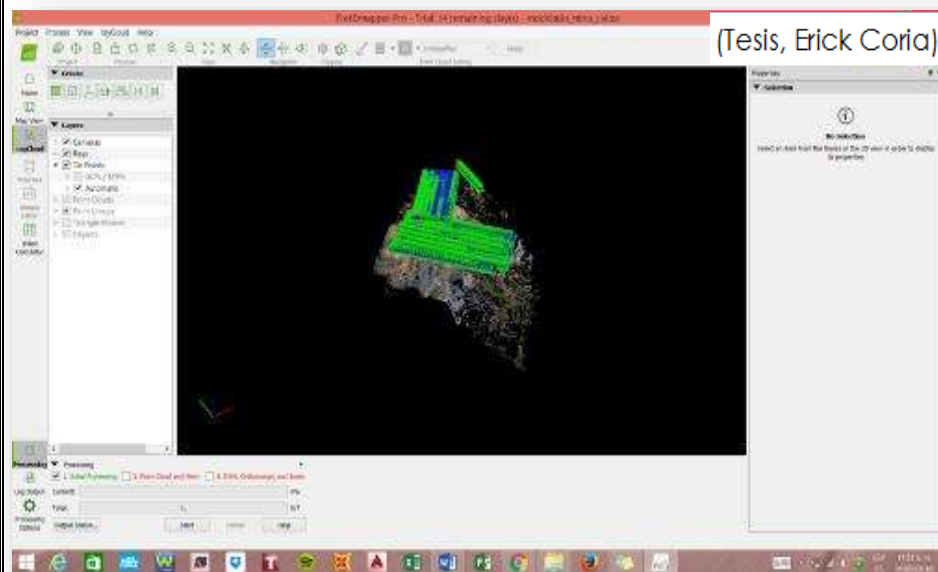
de mucha importancia para los puntos de control que utilizaremos para referenciar.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”



9. Después de finalizar lo anterior vamos a iniciar con el primer proceso, que es nombrado como “procesamiento inicial”, en esta ventana podemos modificar opciones dependiendo la calidad y calibración que

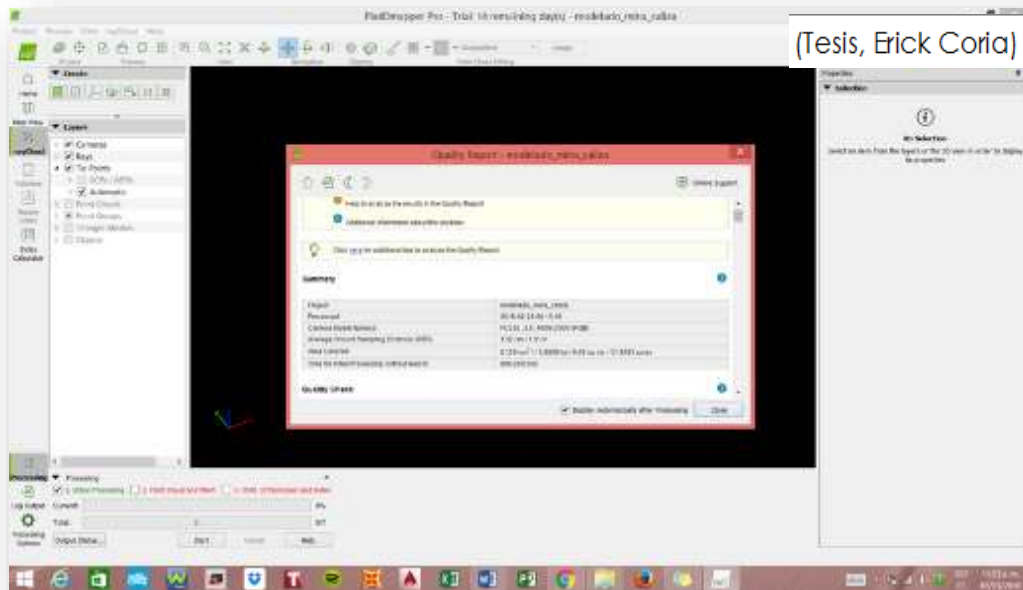
ocupamos para nuestro proyecto, lo único que se modificó fue los parámetros de optimización interna se cambió “all pier” por recomendación.



10. Aquí es el momento donde comienza el primer proceso, debe cargar el 100%, esto conllevó aproximadamente 14 horas, dependiendo el procesador de nuestra computadora es el

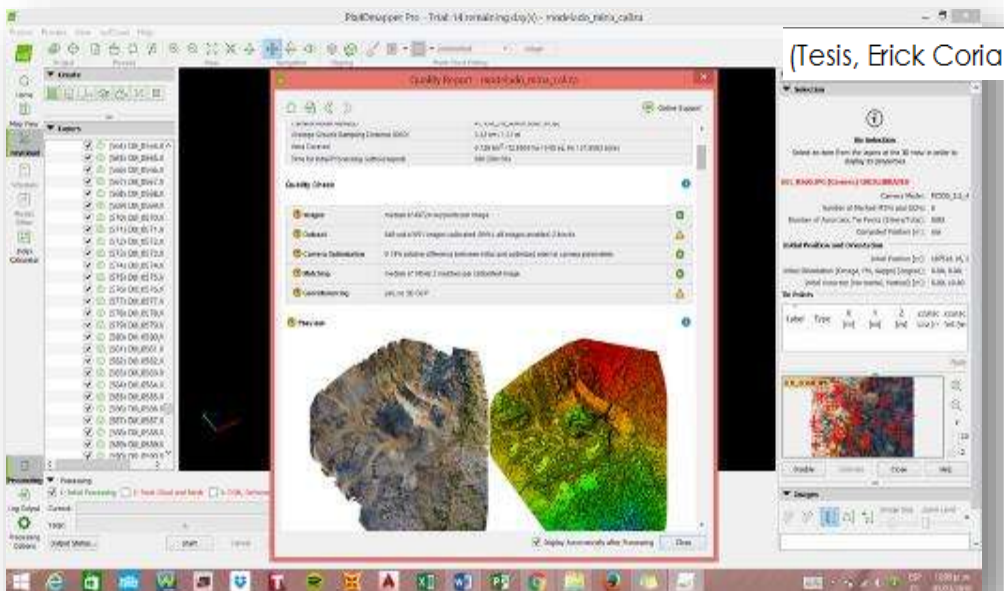
tiempo que va definir la duración de estos procesos, ya que este programa demanda un procesador y una tarjeta de video considerablemente potente.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”



11. Una vez ya ha completado el 100% del proceso inicial, nos va arrojar el programa un reporte de calidad donde nos menciona varias cosas de nuestro proyecto

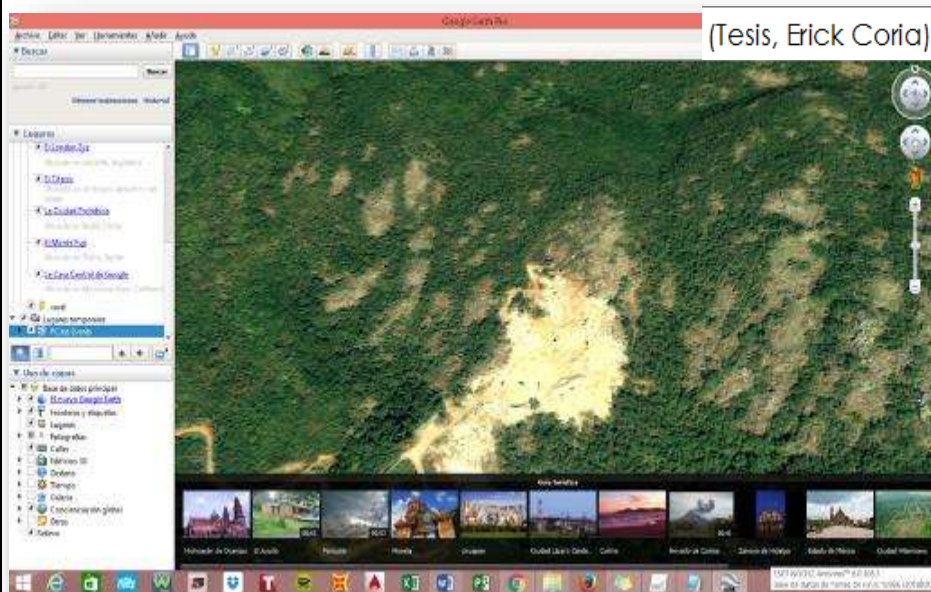
como lo es el nombre de proyecto, fecha de procesamiento, tipo de cámara, área de levantamiento, entre otras cosas.



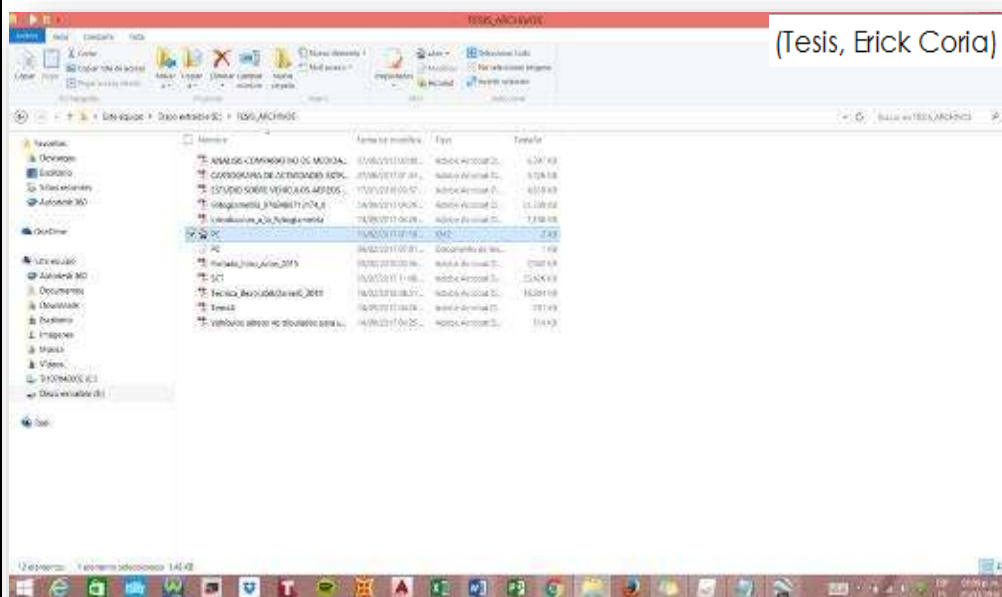
12. Entre el reporte de calidad también nos muestra si el proceso se está devolviendo de manera correcta, como es los keypoints o puntos clave de cada imagen,

calibración de las imágenes, los parámetros de la cámara y la georreferenciación de las imágenes, por ahí aparecen algunos errores pero es porque todavía falta proceso.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”



13. Con ayuda de Google Earth y las coordenadas KMZ las ubicamos (como se muestra en la siguiente imagen) rápidamente los puntos de control en el mapa, para fácil identificarlos cuando los ingresemos a Pix4D.

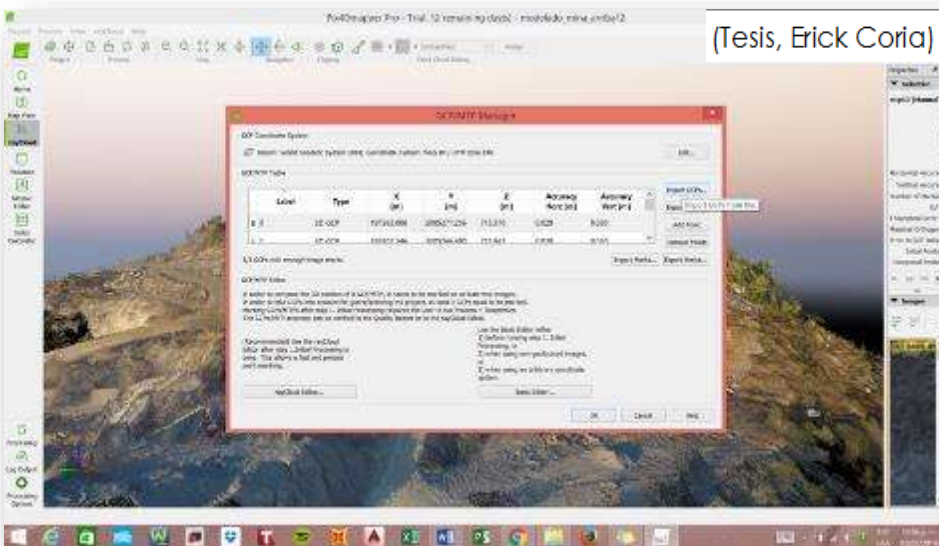


14. Coordenadas KMZ de los puntos de control.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

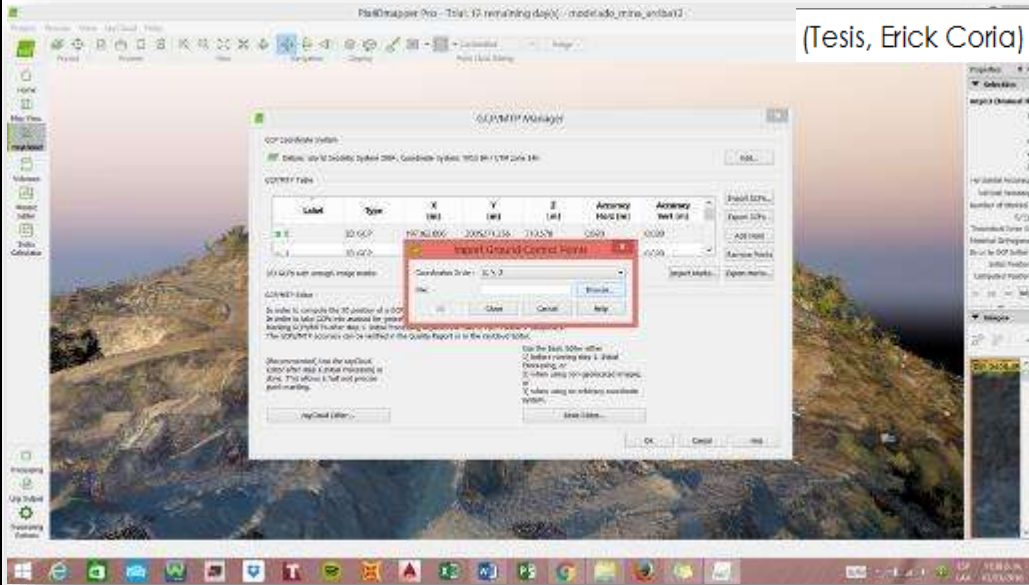


15. Para el siguiente proceso necesitamos ingresar los puntos de control, para esto necesitamos irnos a esta opción que nos da este programa.

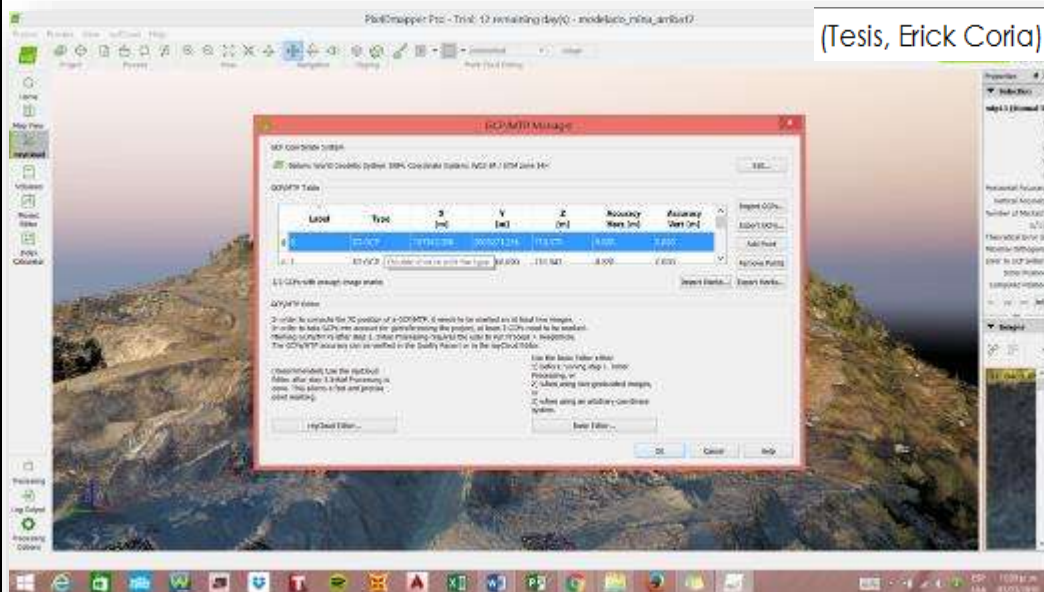


16. Nos va a aparecer esta ventana, donde nos da la opción de importar los puntos, le damos click.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”



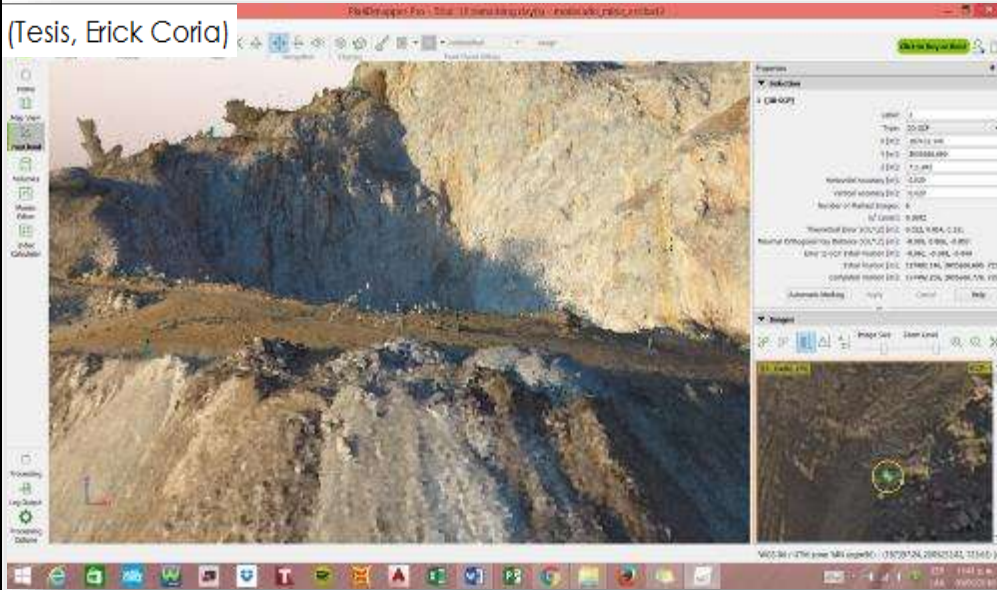
17. Buscamos donde tenemos los puntos de control para poderlos vaciar al programa.



18. Así es como deben aparecer los puntos de control, en este caso son 4 puntos de control.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

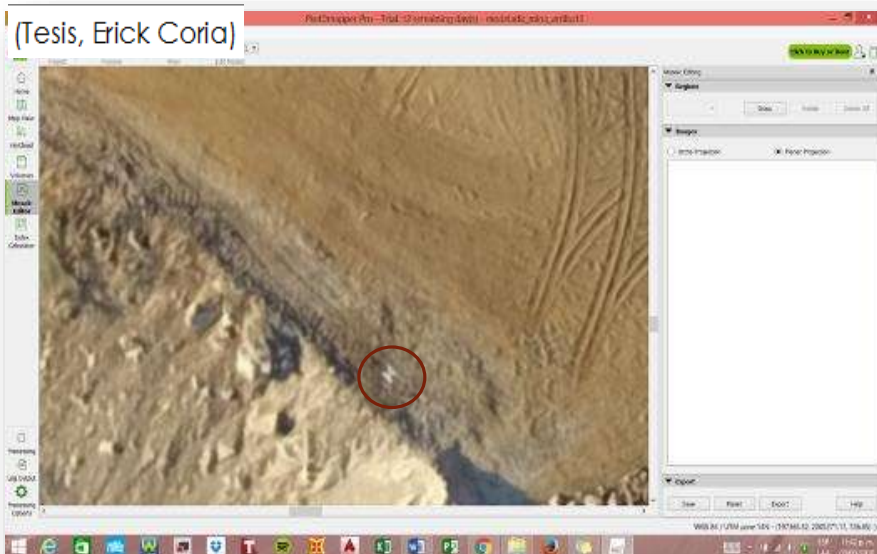
(Tesis, Erick Coria)



19.El siguiente paso es corregir los errores que se tengan por georreferenciación ya sea por las coordenadas de las fotos o de los puntos de control, pero para esto haremos un ajuste, en cada uno de

los puntos de control, como se muestra en la imagen siguiente, con esos letreros distinguimos donde se encuentran los puntos de control, el programa por default te dice donde supone el que están los puntos de control entonces es muy probable que no te de exactamente donde debe de ser como en nuestro caso, es ahí donde debes de ajustarlo.

(Tesis, Erick Coria)



20.Aquí en esta imagen se ve claramente este letrero que el **primer punto de control**, de manera de facilitar a distinguir los puntos de control de una manera más rápida, este proceso de ajuste se aplica para los 4 puntos de control que tenemos en nuestro proyecto.

*“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR
MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”*

(Tesis, Erick Coria)



21. 2nd punto de control, se muestra en la imagen.

(Tesis, Erick Coria)



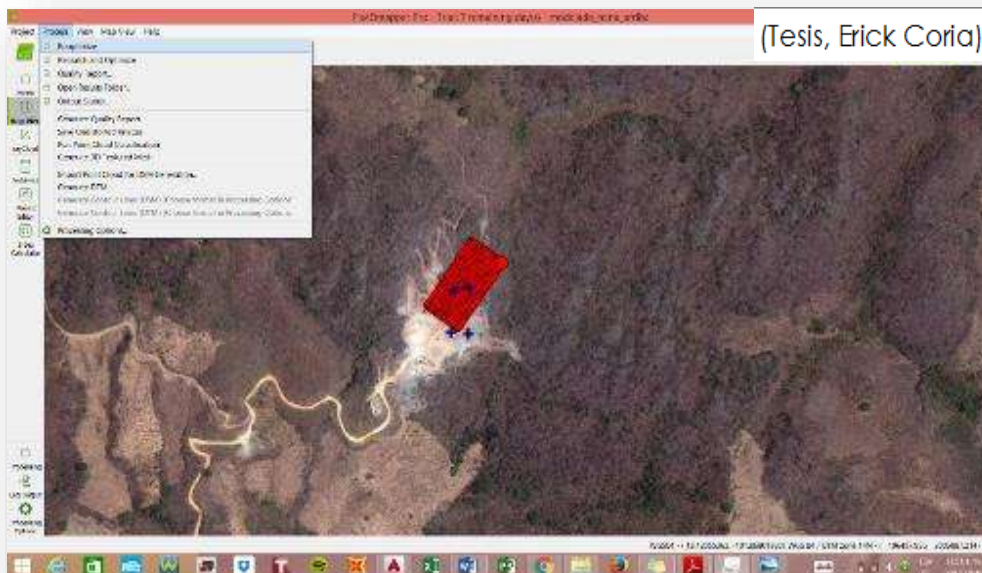
22. 3er punto de control, se muestra en la imagen.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

(Tesis, Erick Coria)



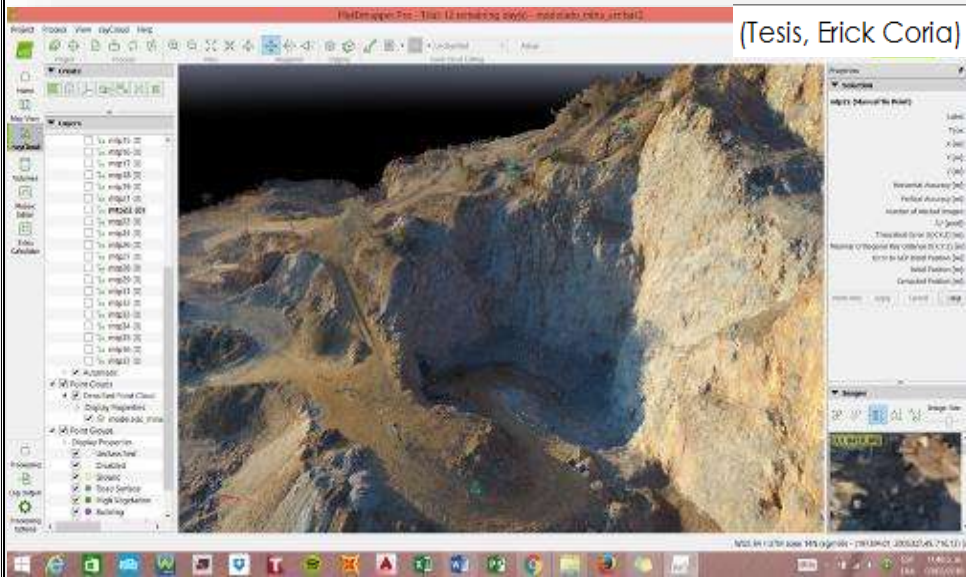
23. 4º punto de control, se muestra en la imagen.



24. Una vez ya ajustados manualmente los 4 puntos de control, nos vamos a la opción de re optimizar, para que el programa empiece con el proceso del ajuste del error.

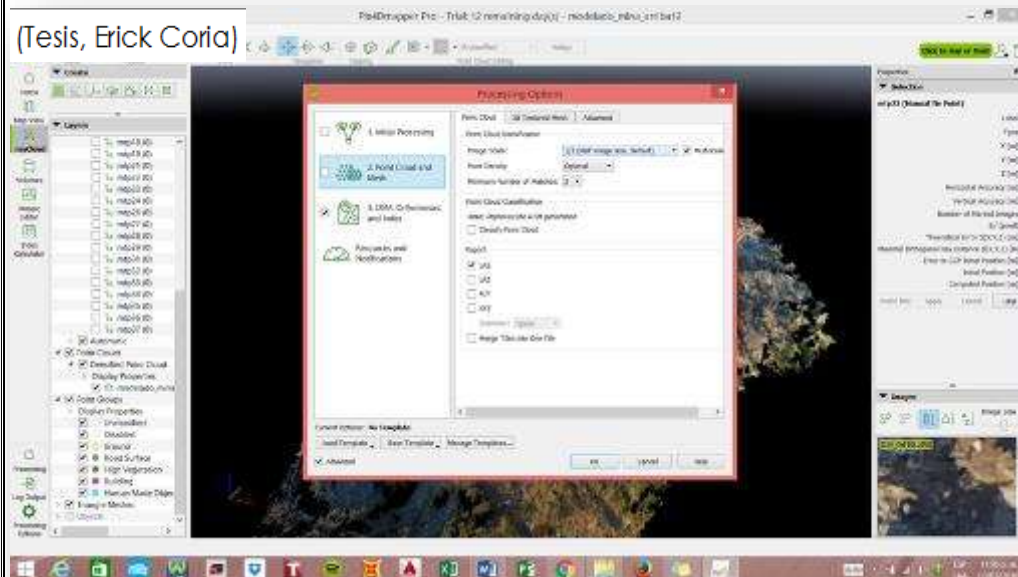
“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

(Tesis, Erick Coria)



25. Este es el resultado del reajuste que se hizo en los puntos de control, en la imagen se muestra claramente los 4 puntos de control georreferenciados correctamente.

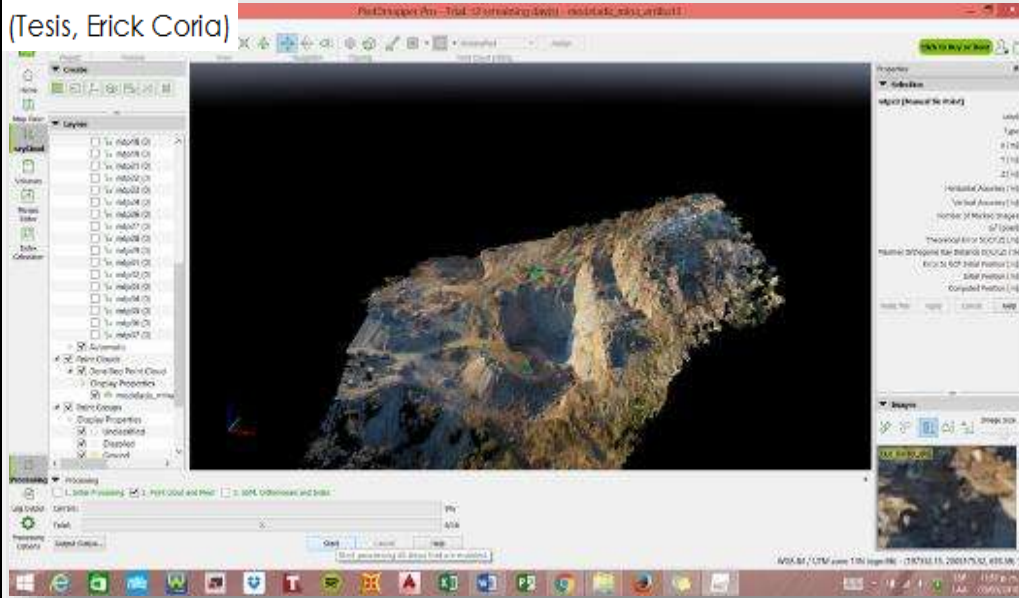
(Tesis, Erick Coria)



26. En este momento podemos iniciar con el 2nd proceso para obtener la nube de puntos y la malla.

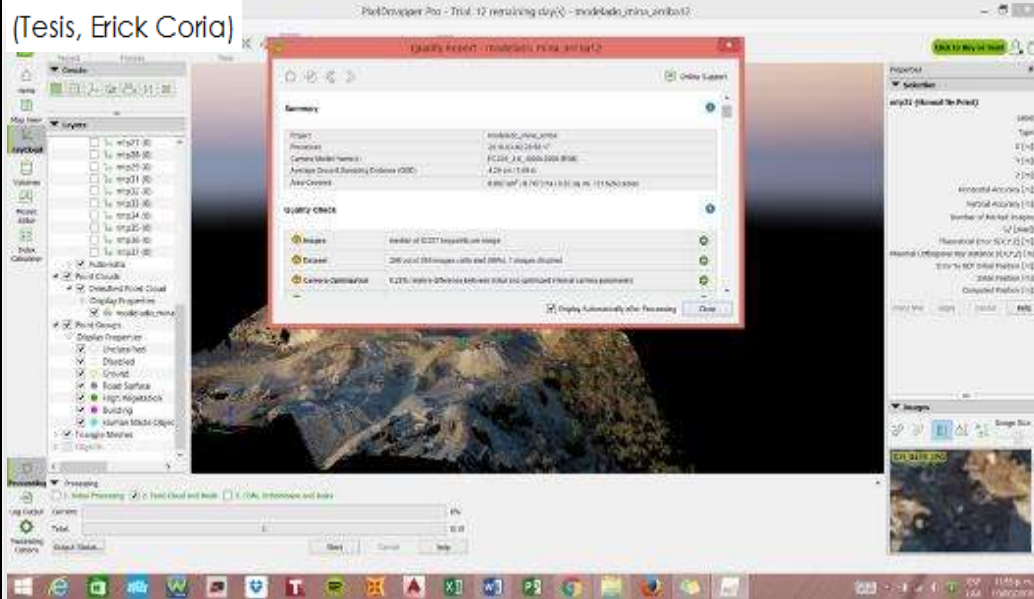
“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

(Tesis, Erick Coria)



27. Este es el resultado del 2nd proceso y obtenemos un modelo con más definición y se puede percibir mejor el relieve de la mina.

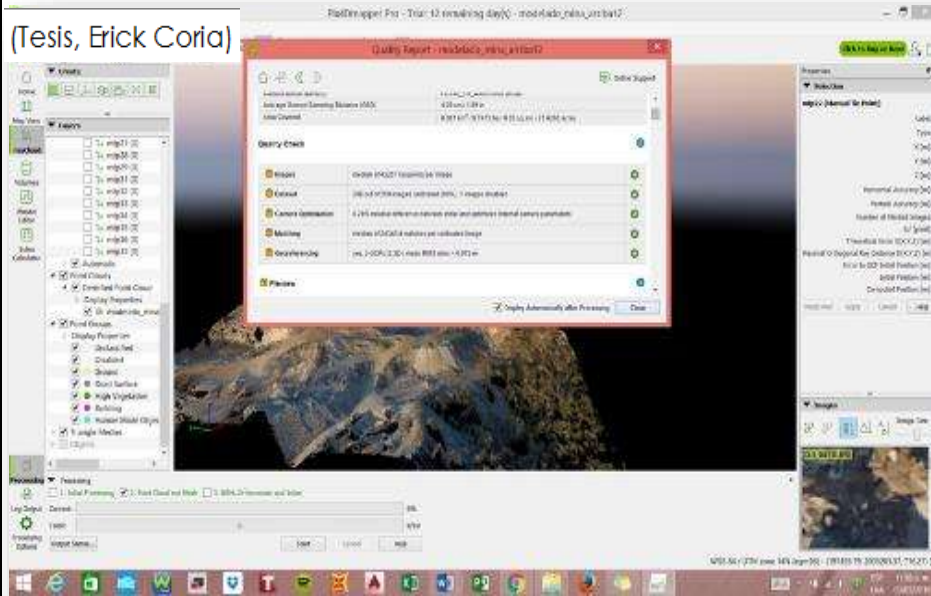
(Tesis, Erick Coria)



28. Nos vuelve a arrojar el reporte de calidad de los datos más importantes del proyecto.

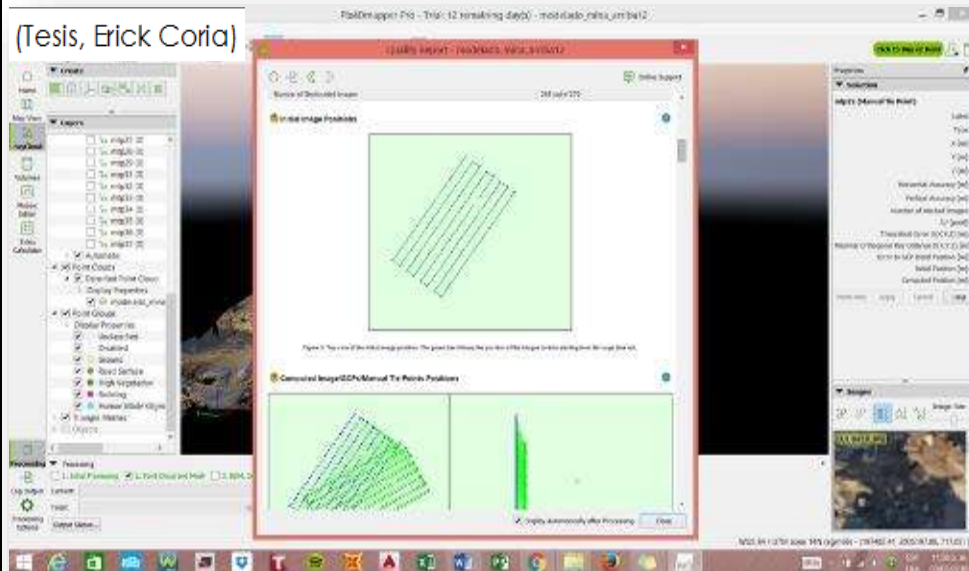
“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

(Tesis, Erick Coria)



29. Podemos observar que en el reporte se refleja que los conceptos que anteriormente nos mandaba error, en este momento todo ya sale correctamente.

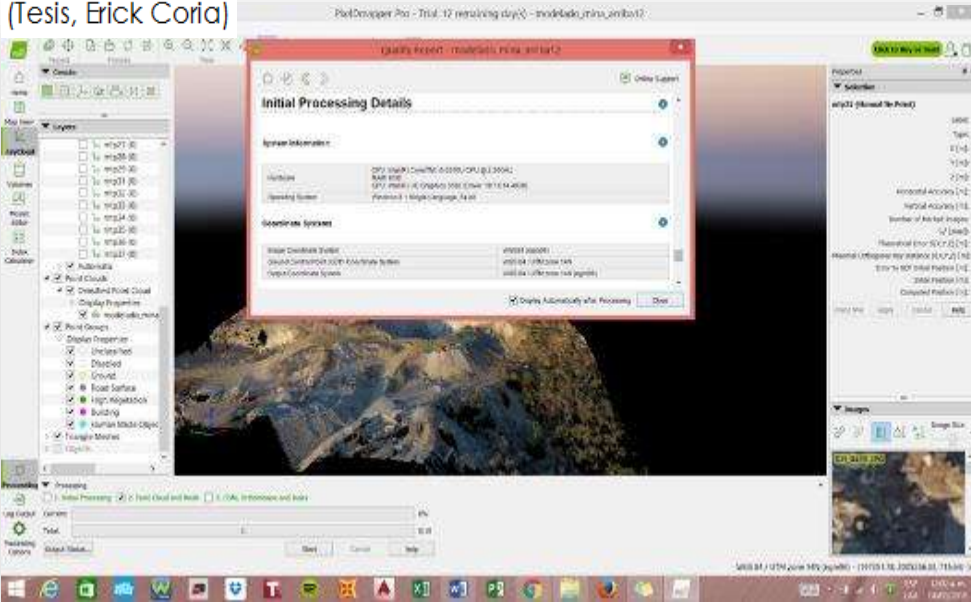
(Tesis, Erick Coria)



30. En esta imagen se ve claramente cómo se georreferenciaron las imágenes con los puntos de control, se orientaron de manera adecuada sin marcar errores.

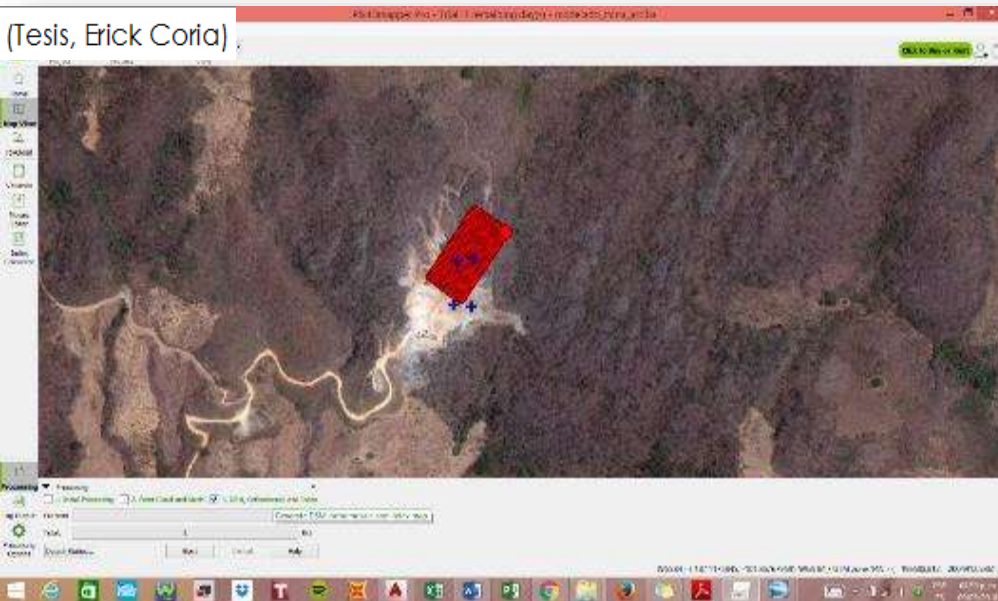
“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

(Tesis, Erick Coria)



31. El reporte de calidad también nos despliega las características de la computadora con la que se realizó el proceso.

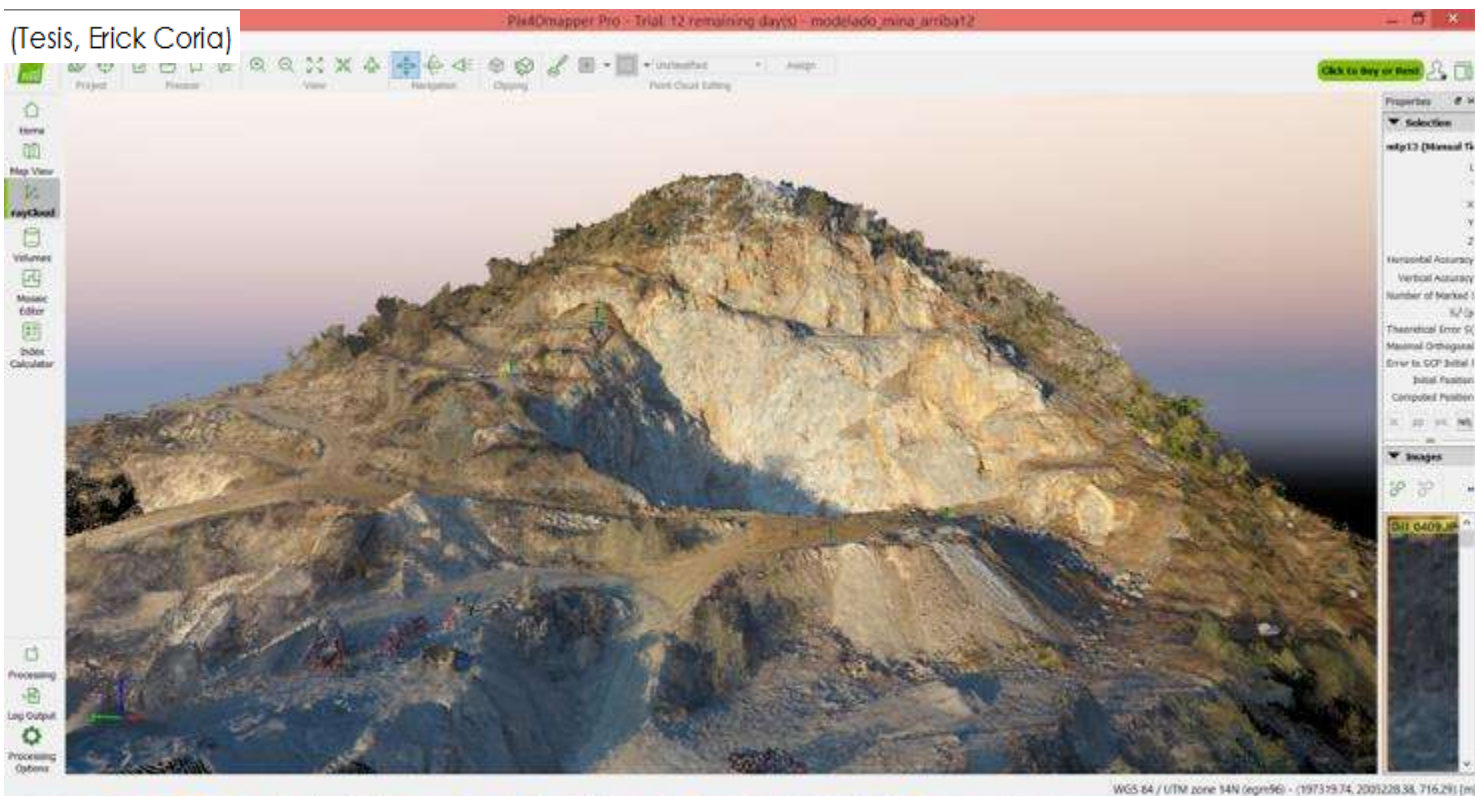
(Tesis, Erick Coria)



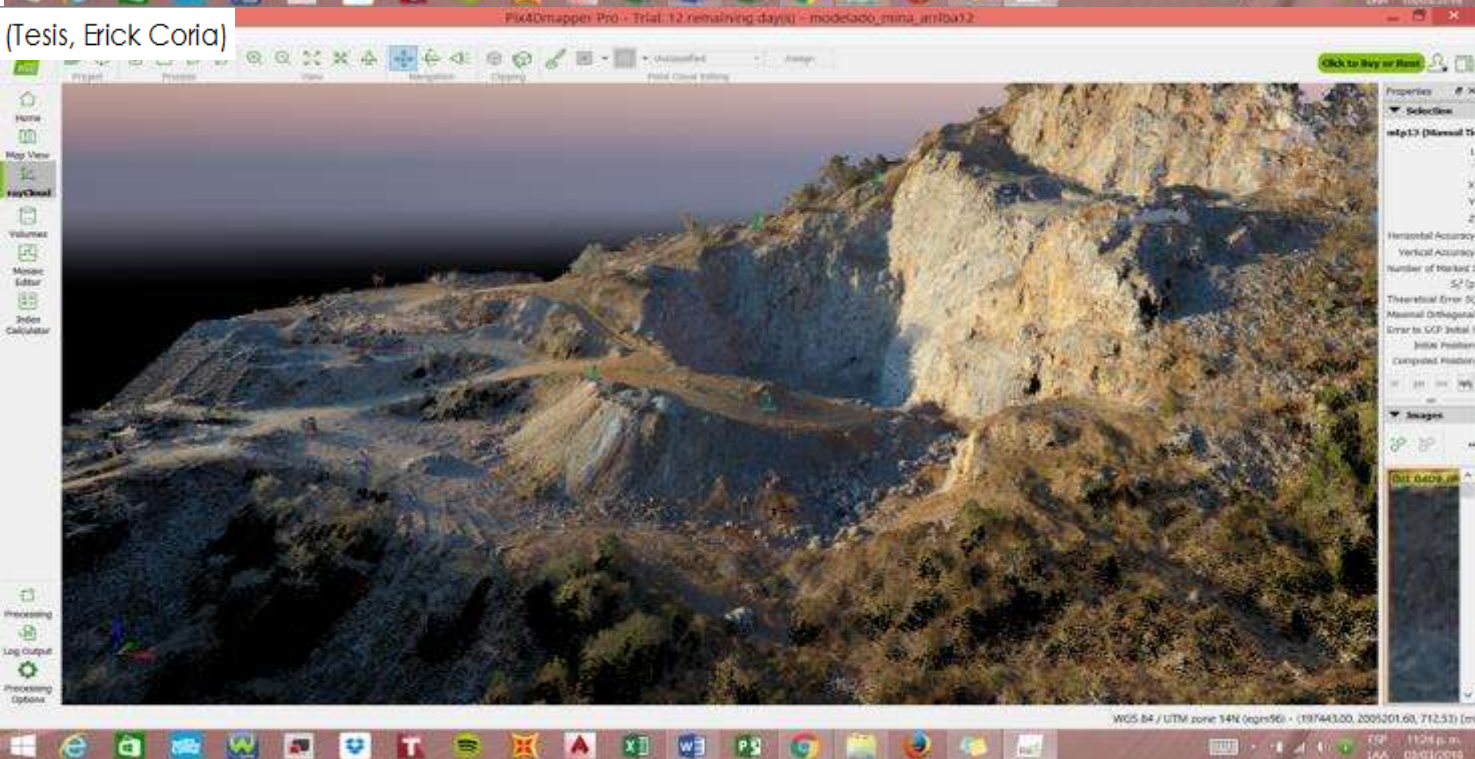
32. Finalmente ya para obtener el modelo 3D definitivo y para poder obtener volúmenes, tenemos que realizar el último proceso, como se muestra en la imagen.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)” MODELO EN 3D Y VISTAS

(Tesis, Erick Coria)

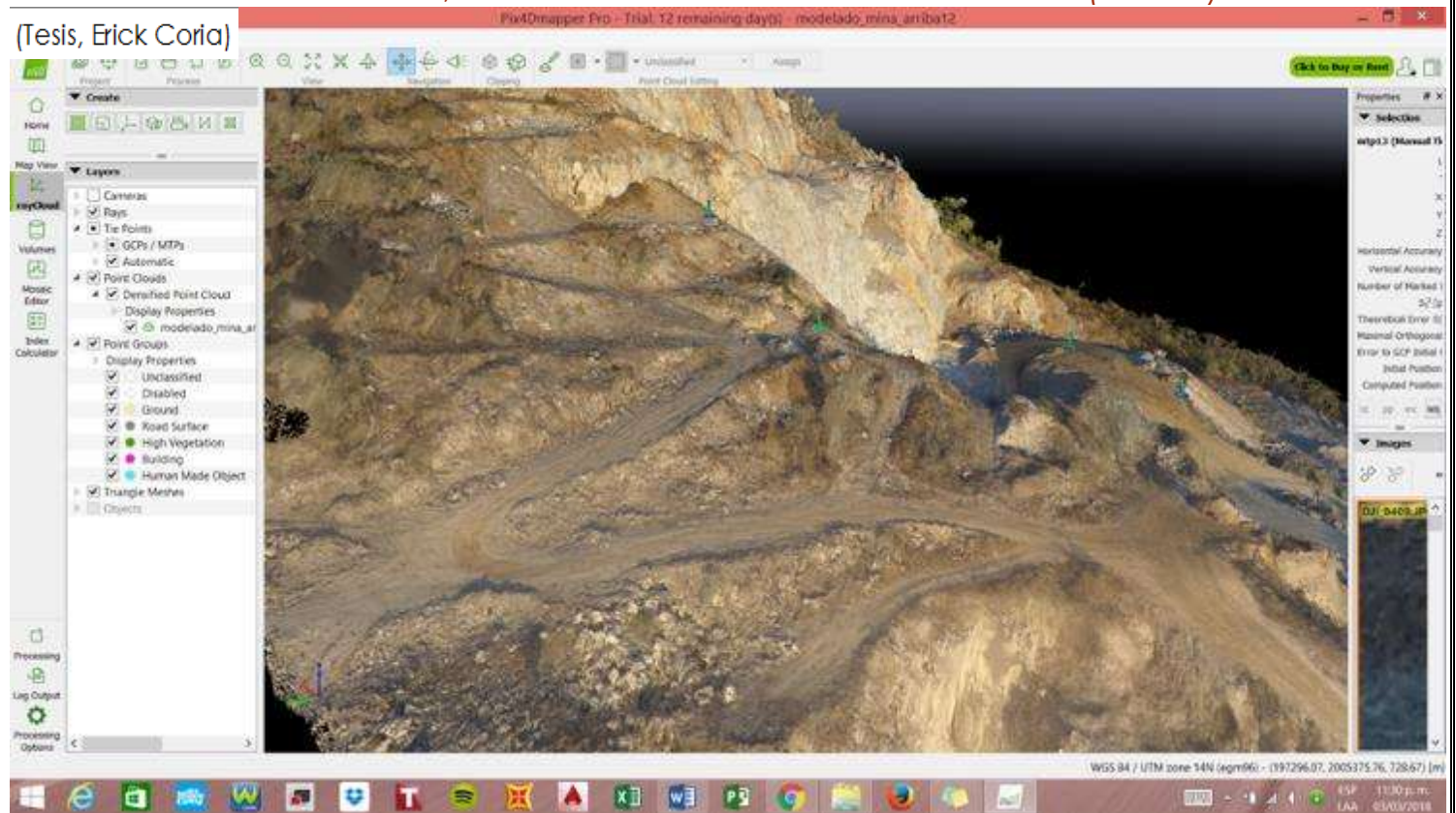


(Tesis, Erick Coria)

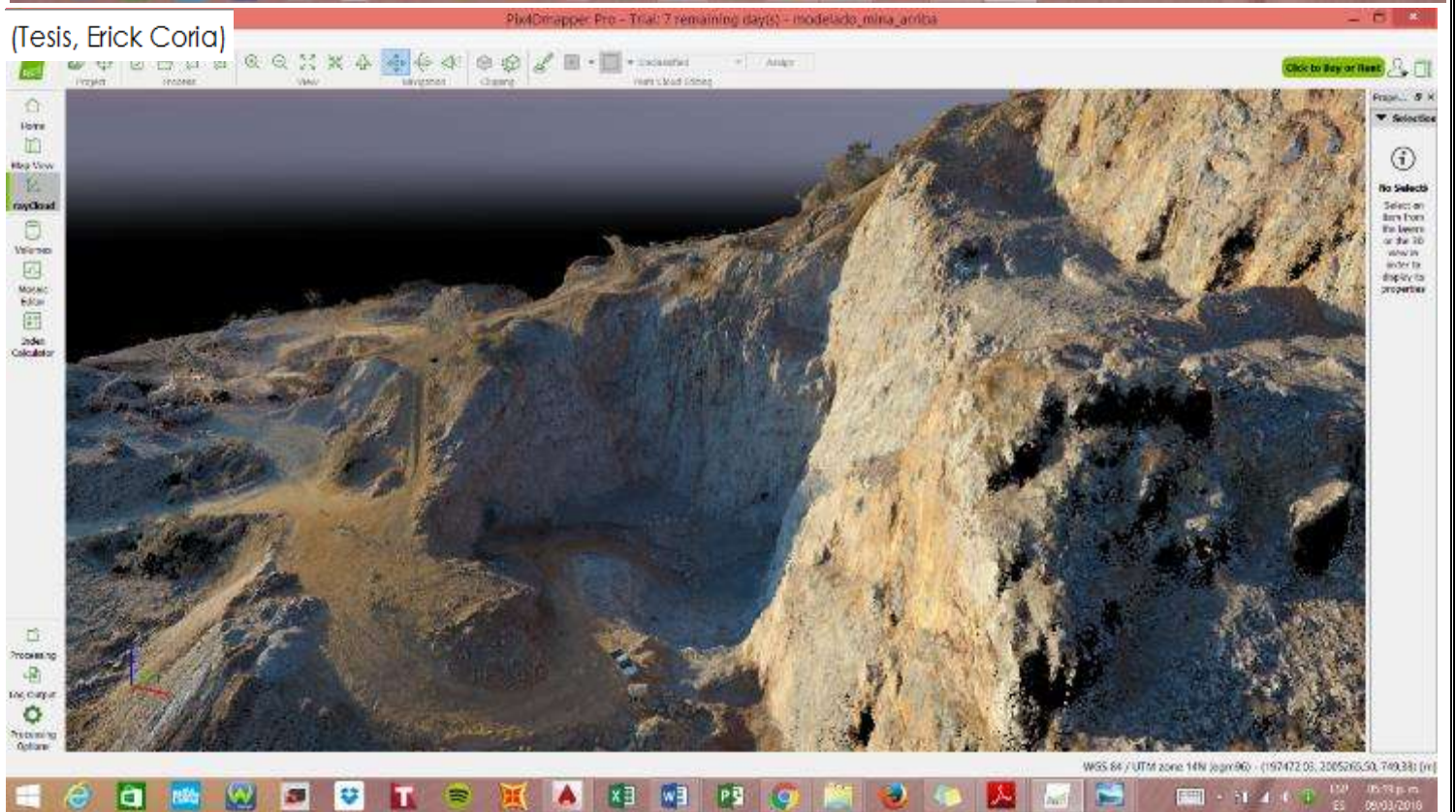


“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

(Tesis, Erick Coria)



(Tesis, Erick Coria)



RESULTADOS

Una vez ya obtenido el modelo en 3D que queríamos llegar de la mina de piedra caliza en este caso, lo que prosigue es comprobar que tan preciso es el programa para el cálculo de volúmenes, en la manera que se manejó para este proyecto es con el uso de material que se va atacando de la mina, con la ayuda un camión de 14 m³ apilamos material en forma de cono como normalmente toma su forma.

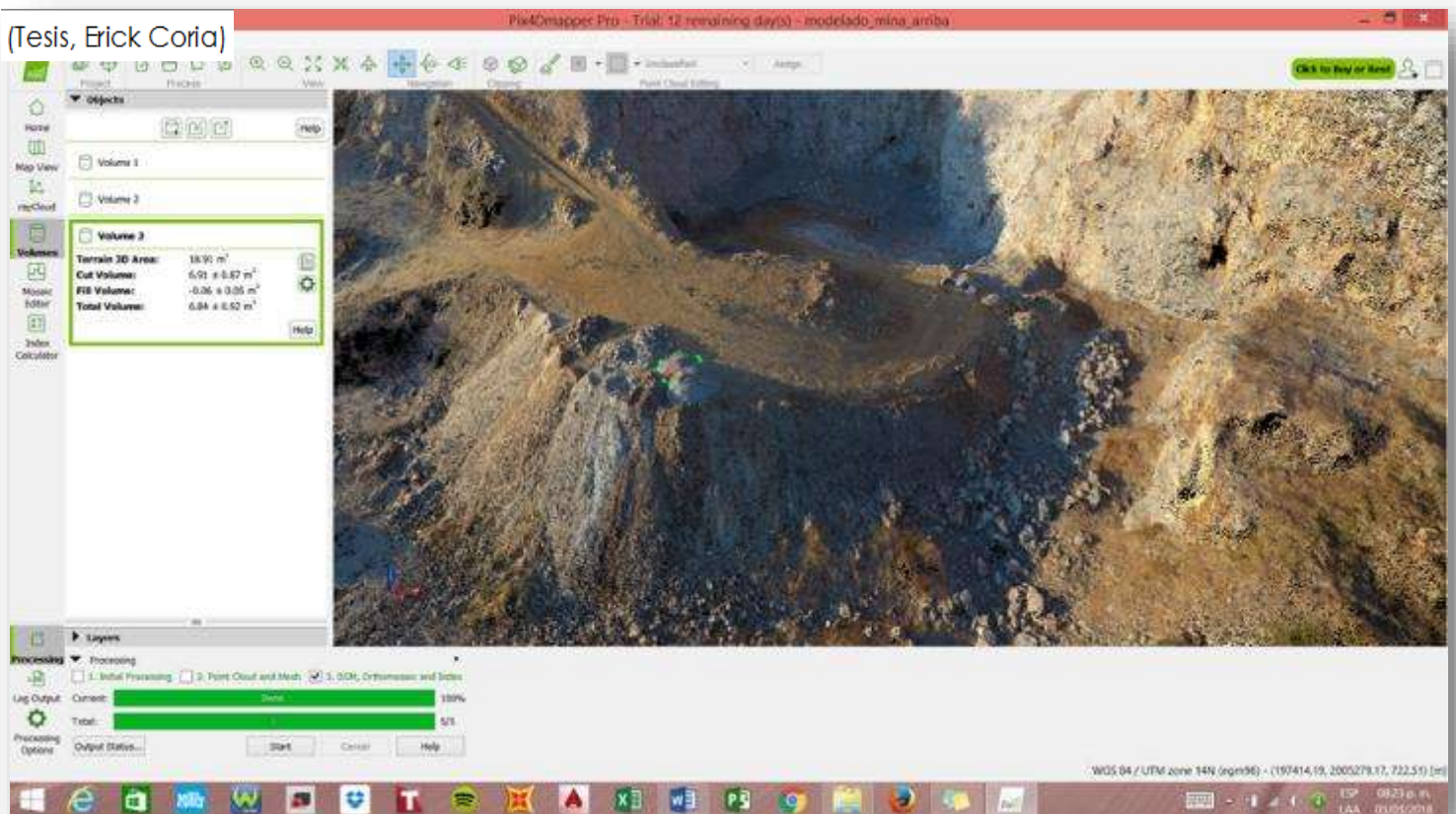
Como se puede ver la imagen (está marcado el cono de material), el procedimiento para obtener el volumen es muy sencillo y es de la siguiente manera:

1. Ubicar cual va hacer el volumen que se pretende calcular en el modelo.
2. Nos vamos a ir en la opción volúmenes que se encuentra en lado izquierdo de nuestra pantalla, damos click.
3. Siguiendo presionamos el icono de nuevo volumen (figura de un cilindro con un signo +).
4. Una vez ya hecho el paso anterior vamos a dar click (en forma secuencial) a todos los vértices del cono tomando como referencia del suelo donde se encuentra desplantado el material.
5. Una vez ya terminado de seleccionar todos los vértices del cono, vamos a dar click derecho, para terminar la selección de vértices.
6. El último paso es el cálculo que tiene que hacer pix4D, y eso lo vamos a lograr presionando (compute).
7. Enseguida nos va arrojar los resultados en pantalla como se muestra en las imágenes.

Enseguida se muestran 3 ejemplos:

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)” PRIMER CASO

(Tesis, Erick Coria)



Volumen teórico= 7 M3 aproximadamente

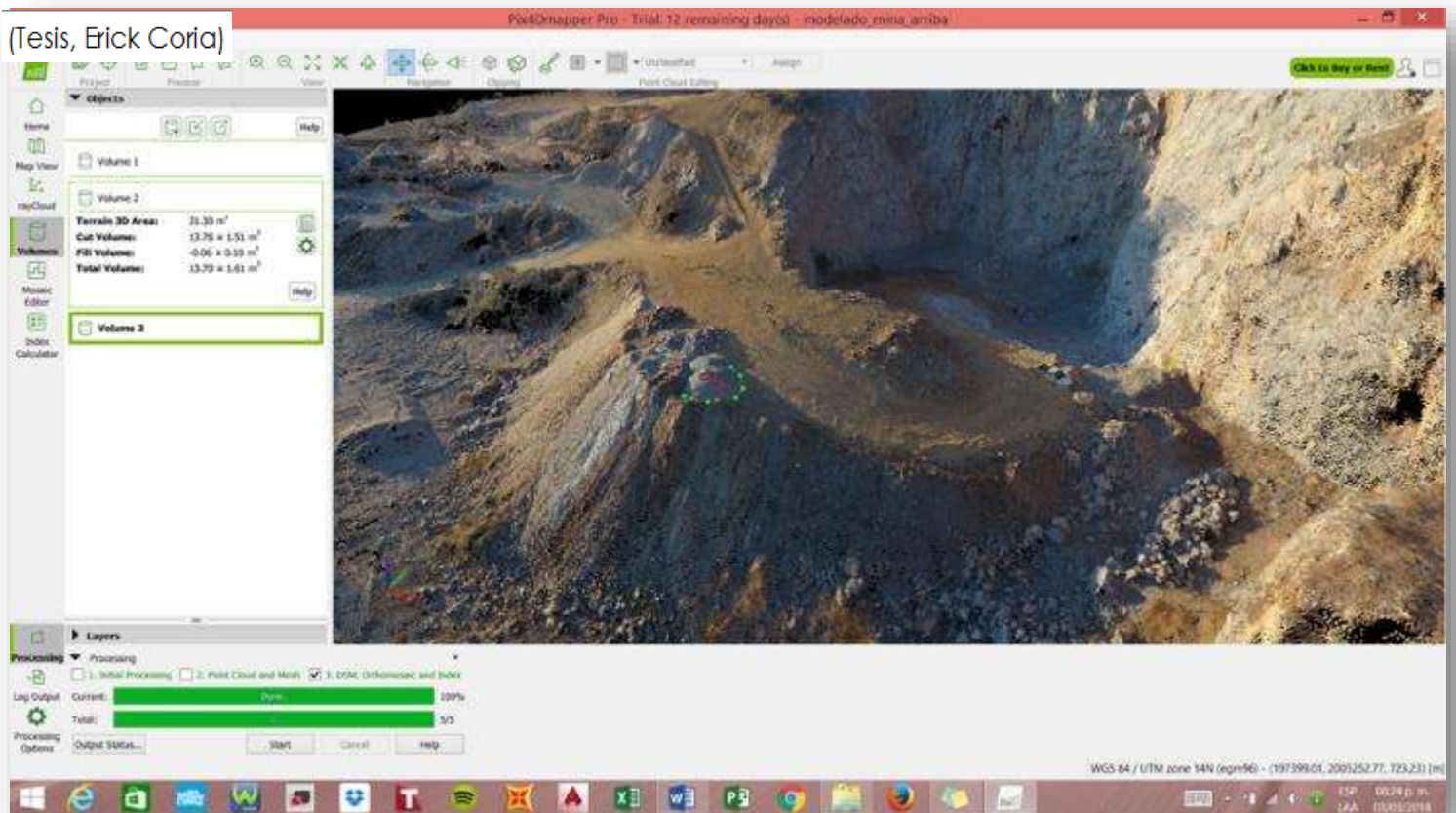
Podemos observar en los resultados arrojados nos dice que el volumen es 6.84 m3.

Volume 3	
Terrain 3D Area:	18.91 m ²
Cut Volume:	6.91 ± 0.87 m ³
Fill Volume:	-0.06 ± 0.05 m ³
Total Volume:	6.84 ± 0.92 m ³

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

SEGUNDO CASO

(Tesis, Erick Coria)



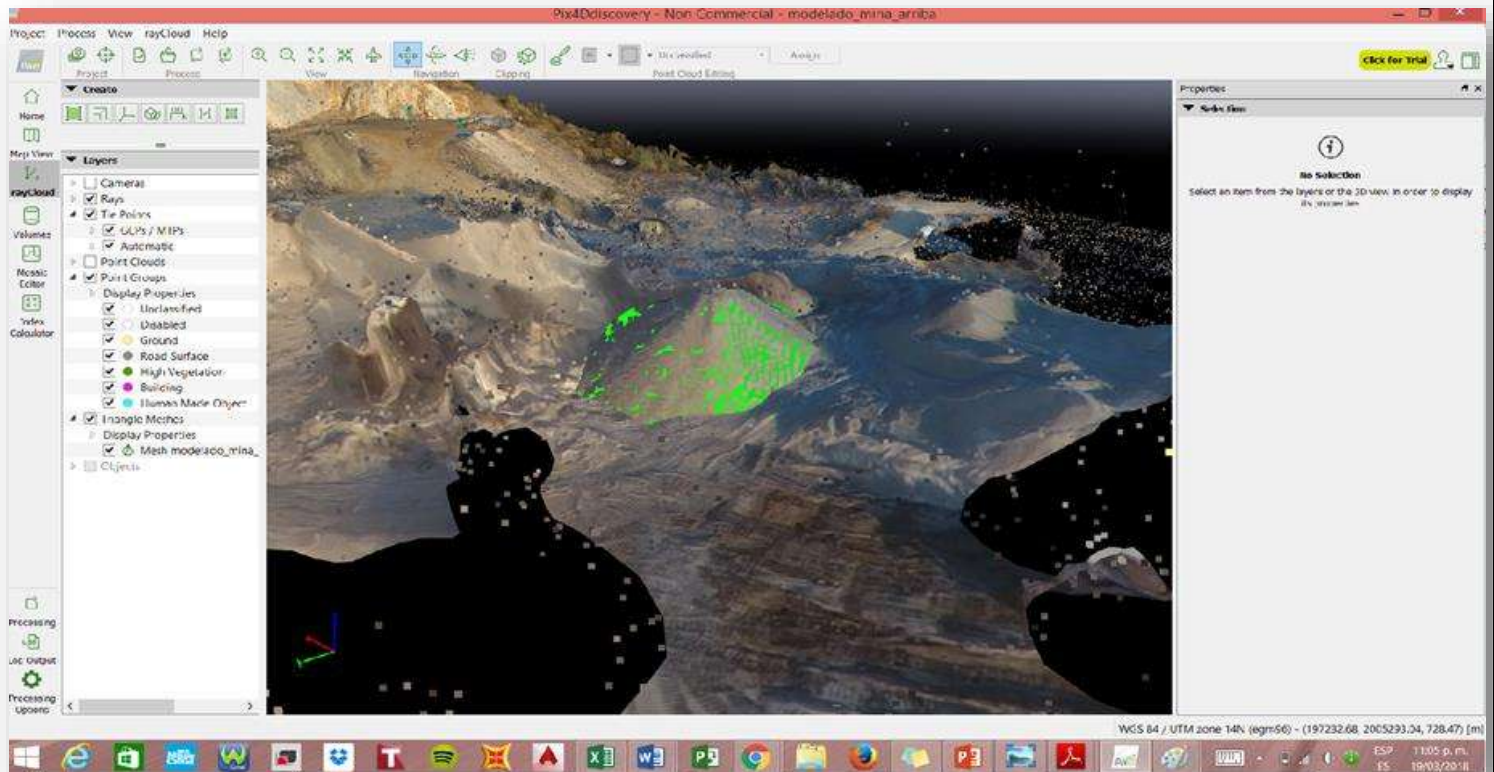
Volume 2	
Terrain 3D Area:	31.30 m ²
Cut Volume:	13.76 ± 1.51 m ³
Fill Volume:	-0.06 ± 0.10 m ³
Total Volume:	13.70 ± 1.61 m ³

Volumen teórico= 14 M3
aproximadamente.

Podemos observar en los
resultados arrojados nos dice que
el volumen es 13.70 m3.

“CALCULO DE VOLÚMENES DE UNA MINA DE PIEDRA CALIZA POR MODELADO 3D, IMPLEMENTANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS (DRONE)”

TERCER CASO



Volumen teórico= 140 M3
aproximadamente.

Podemos observar en los resultados
arrojados nos dice que el volumen es
136 m3.

DISCUSIÓN

Podemos decir, hablando de los resultados que nos arrojó el programa que hay un cierto error, pero sabemos que puede ser por muchos factores, claro no es justificación, pero entre los más destacados es el volumen teórico ya que partimos de la capacidad de un carro de volteo de 14 m³, donde pudo variar un poco, pero en aspectos generales podemos decir que se acercó a lo esperado, claro este método fue aplicado a material ya producto de la trituración de la mina.

Otra de las cuestiones importantes de mencionar es el cómo saber cuánto desgaste tenemos en nuestra mina, podríamos saberlo si este modelo que tenemos en este momento lo comparamos con un modelo que se haga en un 1 o 2 años por decir un ejemplo, y se concilian los dos modelos, para ver diferencias de volúmenes, y determinar conclusiones.

Esta sería la manera de llevar un control del desgaste de nuestra mina de una manera más real, se pudo ver de manera clara como se obtiene el volumen de cualquier material por medio de pix4D, solo señalando los vértices de determinada zona, es una manera rápida y sencilla de obtener información cuantitativa de la mina, se podría decir que lo más tardado es el procesamiento de la información, y después de ahí todo se facilita.

CONCLUSIONES

Pero en mi particular conclusión puedo decir que para el siguiente proyecto si se llegara a dar para otro caso va hacer más rápido, ya que se sabe cómo manipular el software para procesamiento y los puntos más críticos.

Se podría decir que algunas de las cosas más notorias es lo complejo de cómo conseguir un drone o la posibilidad de adquirir uno ya que son algo costosos en estos momentos claro un drone con una buena definición de captura y estable, pero con el tiempo se va hacer más accesible la compra de uno de estos, y también más fácil de manipularse.

Definimos esto como un comienzo a una nueva era al drone, para ingresar en el ámbito de la ingeniería, servirá de muchos usos, entre ellas en el cálculo de parámetros de medición, supervisión de obras, fotografía, entre muchas más cosas.

Algo importante de mencionar que nos dejó este proyecto es el saber que tanto tiempo nos llevó hacer este método, sabemos que es algo nuevo para nosotros, y había muchas cosas que eran desconocidas, solamente el programa era algo totalmente desconocido, se tuvo que ver muchos cursos por internet para poderlo manipular, todos esos tiempos de investigación por así mencionarlos, fueron factores importantes para la duración del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Antonio, S. S. (2006-2007). Catedra de Topografía. *introducción a la Fotogrametría* (pág. 58). E.T.S.I. Caminos, Canales y puertos.
- Eisenbeiss, H., & Sauerbier, M. (2011). INVESTIGATION OF UAV SYSTEMS AND FLIGHT MODES 26(136):. *The Photogrammetric Record*, 400–421.
- Elia, Q. R. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil. *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil* (págs. 46-57). Cáceres: Universidad de Extremadura.
- Israel, G. G. (Marzo de Valladolid, Marzo de 2017.). ESTUDIO SOBRE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS Y SUS APLICACIONES. *ESTUDIO SOBRE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS Y SUS APLICACIONES*. Valladolid, España: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.
- México, D. G. (31 de MAYO de 2016). CO AV-23/10 R3. *QUE ESTABLECE LOS REQUERIMIENTOS PARA OPERAR UN SISTEMA DE AERONAVE PILOTADA A DISTANCIA (RPAS)*. CD. MÉXICO, MÉXICO, MÉXICO: SCT MÉXICO.
- SL., G. O. (27 de MAYO de 2017). *PIX4d MAPPER*. Obtenido de PIX4d MAPPER: <http://www.gonostopografia.com/pix4d-uav/>
- wolf, P. R., & Ghilani, C. D. (2016). *Topografía 14ª edición*. Ciudad de México: Alfaomega grupo editor, S.A. de C.V., México.