

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**“APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA DIGITAL DE OBJETO
CERCANO EN INFRAESTRUCTURA MINA, PROYECTO MINERO LAS
BAMBAS-APURÍMAC”**

Presentado por:
Bach. Abel Paucar Hinojosa

Para Optar al Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS

Asesor:
Ing. Florentino Yana Jahuirra

CUSCO - PERU
2019

DEDICATORIA

La presente tesis, fruto de mi trabajo, se la dedico a mis queridos padres: Leonor mi amada madre quien con su lucha constante logro la culminación de mis estudios universitarios y sobre llevo la falta que nos hizo mi querido padre Daniel, mi esposa Xomara e hijo Daren que son la razón de mi vida, a María, Edith, Yeni, Alfredo, Graciela y Lisandro mis hermanos que gracias a su apoyo incondicional me dieron la motivación y fuerzas para la culminación de mis objetivos.

Gracias a todos

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Leonor que gracias a su apoyo incondicional estoy escribiendo estas líneas, a mi esposa por el gran amor que me brinda, a mi hijo Daren que es en el motivo para seguir adelante, a mis hermanos gracias por el apoyo, confianza y afecto que me brindan.

Agradezco también a mi asesor el Ing. Florentino Yana Jahuirá por guiarme en la realización de la presente tesis.

A mis docentes que me guiaron en el transcurso de mi vida universitaria, que gracias a ellos obtuve las bases para mi formación como futuro ingeniero.

A la universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por abrirme las puertas académicas, para realizar mi sueño de estudiar la carrera anhelada y convertirme en el profesional que siempre he deseado.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE GENERAL	iii
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE ANEXOS	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I	1
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA PRINCIPAL	1
1.1.1 FORMULACIÓN DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS	1
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2 OBJETIVO ESPECIFICO	2
1.3 JUSTIFICACIÓN DE ESTUDIO	3
1.3.1 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 HIPÓTESIS	3

1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	3
1.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS.....	3
1.5 ALCANCES DEL ESTUDIO	4
1.5.1 ALCANCES.....	4
CAPITULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	5
2.1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	5
2.2 MARCO CONTEXTUAL	8
2.2.1 ÁMBITO GEOGRÁFICO.....	8
A. INSTITUCIÓN A LA QUE PERTENECE LA UNIDAD MINERA.....	8
B. LUGAR DONDE SE REALIZO	8
2.3 BASE TEÓRICA	10
2.3.1 HISTORIA DE LA FOTOGRAMETRÍA	10
2.3.2 CONCEPTOS FOTOGRAMÉTRICOS.....	23
2.3.3 EVOLUCIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA	24
A. FOTOGRAMETRÍA ANALÓGICA	25
B. FOTOGRAMETRÍA ANALÍTICA	26
C. FOTOGRAMETRÍA DIGITAL.....	27
2.3.3 CLASIFICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA.....	28

2.3.4 GEOMETRÍA FUNDAMENTAL DE LA FOTOGRAMETRÍA.....	30
A. ORIENTACIÓN INTERIOR.....	31
B. ORIENTACIÓN EXTERIOR (AEROTRIANGULACIÓN).....	32
2.3.5 CÁMARAS DIGITALES.....	35
2.3.6 FOTOGRAFÍA E IMAGEN DIGITAL.....	37
A. LA IMAGEN DIGITAL.....	37
B. CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN DIGITAL.....	39
B.1. RESOLUCIÓN.....	39
B.2. DIMENSIÓN.....	39
B.3. PROFUNDIDAD DE COLOR.....	39
B.4. TAMAÑO DEL ARCHIVO.....	40
B.5. COMPRESIÓN DE IMÁGENES.....	41
2.3.7 APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA.....	46
CAPITULO III.....	47
METODOLOGÍA.....	47
3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO DE LA FOTOGRAMETRÍA.....	47
3.2 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA.....	47
3.3 ADQUISICIÓN DE DATOS.....	47
3.3.1 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO.....	47
3.3.2 BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LOS UAV:.....	48

3.3.3 CONCEPTO.....	49
3.3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS UAV:.....	49
3.3.4.1 ALA ROTATORIA O MULTIROTORES:.....	50
3.3.4.2 APARATOS CON ALA FIJA:	51
3.3.5 DISEÑO O PLAN DE VUELO	52
3.3.6 DATOS DE LA CÁMARA.....	53
3.3.6.1 DISTANCIA FOCAL (f)	55
3.3.6.2 EL SENSOR	56
A.-PROPORCIONES DEL SENSOR	56
B.-TAMAÑO DEL SENSOR (Ls).....	57
C.-TAMAÑO DE IMAGEN (L)	57
D.-RESOLUCIÓN DEL SENSOR (Rs).....	58
3.4 ESCALA DE IMAGEN, ALTURA DE VUELO Y GSD.....	59
3.4.1 GROUND SAMPLE DISTANCE (GSD)	59
3.4.2 ESCALA DE IMAGEN	61
3.4.3 ESPACIAMIENTO ENTRE LÍNEAS DE VUELO	63
3.5 PUNTOS DE APOYO TERRESTRE O GROUND CONTROL POINT (GCP).....	66
3.5.1 RED BASE	67
3.5.2 PUNTOS DE APOYO GCP.....	67
3.6 EL VUELO FOTOGRAMÉTRICO.....	69

3.7 PROCESAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO	69
3.7.1 CONFIGURACIÓN INICIAL	70
3.7.2 CARGAR LAS IMÁGENES.....	70
3.7.3 ENLAZAR PUNTOS DE APOYO O CONTROL	70
3.7.4 AEROTRIANGULACIÓN ORIENTACIÓN INTERNA Y EXTERNA	70
3.7.5 PRODUCTOS OBTENIDOS DEL PROCESAMIENTO FOTOGRAMETRICO	70
3.7.5.1 ORTOFOTO.	70
3.7.5.2 DSM (DIGITAL SURFACE MODEL).....	73
3.7.5.3 MODELO 3D.	74
3.7.5.4 SUPERFICIE TOPOGRAFICA.....	75
3.7.6 ANÁLISIS DEL RESULTADOS FOTOGRAMETRICO	78
3.4.7.1 CONTROL DE CALIDAD POSICIONAL DEL PROCESO FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL	78
A. MÉTODOS ESTADÍSTICOS.....	78
B. MÉTODOS VISUALES	79
3.8 REGULACION AERIA EN EL PERU	79
3.8.1 Ley 30740	80

CAPÍTULO IV	81
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	81
4.1 RESULTADOS OBTENIDOS	81
<i>OBJETIVO ESPECIFICO 1: OBTENER MEJORES RESULTADOS EN CUANTO A PRECISIÓN HACIENDO ESTUDIOS DE VUELOS A DISTINTAS ALTURAS DE VUELO.</i>	81
<i>OBJETIVO ESPECIFICO 2: CONSECUENCIAS QUE TENDRÁ EL RESULTADO FINAL VARIANDO LA CANTIDAD DE PUNTOS DE APOYO EN TIERRA.</i>	84
<i>OBJETIVO ESPECIFICO 3: REDUCIR COSTOS Y TIEMPO DE OBTENCIÓN DE IMÁGENES Y SU POSTERIOR PROCESAMIENTO MEDIANTE EL USO DE LA FOTOGRAMETRÍA Y COMPARARLOS CON LEVANTAMIENTOS TRADICIONALES.</i> .	85
<i>OBJETIVO ESPECIFICO 4: CONSECUENCIAS DE LA APLICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA EN CUANTO A LA SEGURIDAD DE NUESTROS COLABORADORES CON LA APLICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRIA.</i>	86
CONCLUSIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	89

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.DTM curvas de nivel.....	6
Figura 2.Vista 3D de la Mina	6
Figura 3. Modelo de malla y modelo con textura mediante fotogrametría.....	6
Figura 4.Ubicacion del proyecto minero Las Bambas Tajo Ferrobamba	9
Figura 5.Cámara métrica Meydenbauer 1890	10
Figura 6.Fototeodolito de Finsterwalder 1895	11
Figura 7. Estereocomparador de Pulfrichs.....	12
Figura 8. Zeiss SMK 40 Cámara estereométrica.....	15
Figura 9. Zeiss estereoploter	15
Figura 10.Zeiss TMK cámara métrica	16
Figura 11.Cámara Kodak DCS 460	19
Figura 12.Medición fotogramétrica digital	20
Figura 13. PHIDIAS-MS Software de procesamiento digital de imágenes	21
Figura 14. Autógrafo Wild A7 con mesa de dibujo y registrador.....	25
Figura 15. Restituidor analítico Kern DSR 15	26
Figura 16. Estación fotogramétrica digital	27
Figura 17. Proceso fotogramétrico por parámetros	31
Figura 18. Principio de colinealidad	33
Figura 19. Aplicación del principio de triangulación lado izquierdo.....	34

Figura 20. La transformación de un marco de referencia 1 a un marco de referencia 2 se puede describir con tres traducciones $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ tres rotaciones R_x, R_y, R_z , y un parámetro de escala μ	35
Figura 21. Distancia focal y sensor de una cámara-adaptación.....	36
Figura 22. Imagen digital monocromática	38
Figura 23. Imagen digital RGB.....	38
Figura 24. Profundidad de color.....	40
Figura 25. Compresión LWZ	43
Figura 26. Compresión TDW	44
Figura 27. Búsqueda progresiva en una pirámide de imagen	45
Figura 28. Derecha tipo a, medio UAV comercial, Derecha UAV militar	49
Figura 29. RPA de ala rotatoria con ocho hélices	51
Figura 30. RPA de ala fija.....	52
Figura 31. Datos de pre calibración software ContextCapture	53
Figura 32. Datos de pre calibración software Photoscan	54
Figura 33. Elementos de una toma fotográfica.....	55
Figura 34. Izquierda Full Frame, Medio ASP-H, derecha ASP-C.....	56
Figura 35. Tamaño de sensor y número de fotositos que contiene el sensor.....	58
Figura 36. Espaciamiento entre líneas de vuelo	63
Figura 37. Planeamiento de vuelo, líneas de vuelo en 3D.....	66

Figura 38. Ubicación de puntos de apoyo en google Earth.	68
Figura 39. Ortofoto acceso 3960 mina las bambas.....	71
Figura 40. Planimetria e imagen de fondo en plano, diseño acceso 3960	72
Figura 41. Planta sección para remediación por deslizamiento de banquetas, tajo Ferrobamba.....	72
Figura 42. Modelo digital de superficie DSM Botadero.....	73
Figura 43. Modelo 3d con extensión .3mx con detalle en poza	74
Figura 44. Modelo 3d en Acute3D Viewer haciendo algunas mediciones.	75
Figura 45. Malla TIN del área de estudio acceso 3960 en proceso constructivo	76
Figura 46. Superficie en curvas de nivel a 1 m acceso 3960.....	77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Puntos de apoyo GCP terrestre.....	68
Tabla 2. Levantamiento topográfico de puntos dentro del área de estudio.....	82
Tabla 3. Cálculo del error medio cuadrático de puntos aleatorios dentro del área de estudio.....	83

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Reporte de calidad de levantamiento fotogrametrico con el software Context capture Master.

ANEXO 2. Reporte de calidad de levantamiento fotogrametrico con el software Photoscan.

ANEXO 3. Reporte de calidad de levantamiento fotogrametrico con el software Pix4d.

ANEXO 4 Procedimiento para el proceso de imágenes con el SOFTWARE AGISOF

INTRODUCCIÓN

La Fotogrametría de objeto cercano es una disciplina que se ocupa de los conceptos, métodos, procesos y la tecnología para la obtención de imágenes digitales aéreas o terrestres, con el objeto de obtener medidas geométricas precisas para la reconstrucción espacial de entidades.

Un concepto importante a resaltar es la definición que da la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS), la Fotogrametría *“es el arte, ciencia y tecnología de obtener información fiel acerca de objetos físicos y su entorno a través de procesos de registro, medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”*.

Los métodos, es el orden lógico que se sigue para obtener las imágenes digitales, para este fin se realiza dos pasos claves:

- Primero el plan de vuelo, esto involucra realizar cálculos matemáticos para obtener la altura a la que volara la aeronave, la precisión a obtener a dicha altura y escala de vuelo, para estos cálculos se parte de los datos que proporciona una cámara digital como es la distancia focal, tamaño de sensor y tamaño de imagen.

- Segundo, es calcular el número de puntos de apoyo que serán necesarios para obtener una precisión aceptable, teniendo en cuenta el área a volar y las condiciones meteorológicas del lugar.

El proceso dentro del arte de la fotogrametría es la ejecución del trabajo, primero marcando puntos de control, que son marcas físicas en tierra, que deben ser totalmente identificables desde el aire, luego el dron que es una aeronave no tripulada se programa con una ruta de vuelo, este despegue e inicia tomando las imágenes digitales del área de interés estas imágenes son la base fundamental de la fotogrametría el cual indica, que teniendo dos imágenes que fueron tomadas desde distintas posiciones pero teniendo una superposición o traslape razonable entre estas dos imágenes se forma una imagen tridimensional o estereoscópico.

La tecnología que se usa para el proceso fotogramétrico tanto software como hardware es de última generación esto en razón a que el procesamiento fotogramétrico consume mucho recurso computacional. Punto aparte es el dron que es una aeronave no tripulada que tiene dos sistemas uno el de tierra o de control que sirve para dirigir o programar la ruta de vuelo y la aeronave o dron que es una tecnología bien optimizada que puede realizar vuelos a altura constante o siguiendo la topografía del terreno.

Finalmente descargamos y analizamos los datos obtenidos imágenes, se filtra datos erróneos, se procesa estas imágenes en un software fotogramétrico y obtener los resultados como son ortofoto, nube de puntos densa, y modelo 3D con los requerimientos de precisión y calidad previstas con anterioridad. Todos los cálculos y las mejores prácticas se verán durante el desarrollo de la presente tesis.

Ahora tenemos una breve descripción de todos los capítulos involucrados.

Capítulo 1: Se formula la problemática de investigación haciendo la siguiente pregunta ¿en qué medida aportara la fotogrametría de objeto cercano en la optimización y mejores prácticas de sus operaciones en la unidad minera Las Bambas?

Capítulo 2: Veremos los antecedentes de la fotogrametría viendo los orígenes del mismo, un marco contextual en el cual limitamos el área de estudio y presentamos teoría base mencionando las aplicaciones de esta técnica.

Capítulo 3: Veremos todo lo referente a la metodología usada para alcanzar los objetivos del estudio, en él se ve el ámbito de estudio, tipo de investigación, métodos de adquisición de datos, procesamiento de los datos obtenidos, control de calidad de los productos obtenidos y los temas de seguridad que se aplicaron durante el proceso.

Capítulo 4: Considerado como el último capítulo se presentan los resultados obtenidos y su análisis, el resultado está en función a cada uno de los objetivos específicos planteados para el presente estudio.

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA PRINCIPAL

¿En qué medida la aplicación de fotogrametría digital de objeto cercano en la unidad minera las Bambas Apurímac, esta aportando en la optimización de las operaciones mineras en la unidad minera Las Bambas?

1.1.1 FORMULACIÓN DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS

· ¿Se obtiene mejores resultados en cuanto a precisión en los levantamientos fotogramétricos obteniendo una altura de vuelo óptima?

· ¿Cómo influye la mayor o menor cantidad de puntos de control en tierra en la aplicación de fotogrametría digital en la unidad minera Las Bambas?

· ¿Respecto al tiempo y costo requerido en la obtención de imágenes y procesamiento de las mismas, realizados mediante fotogrametría digital, serán inferiores a los obtenidos topografía tradicional?

· ¿Cómo influye la aplicación de la fotogrametría digital en la seguridad de los trabajadores de la unidad minera Las Bambas?

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Fundamentar las posibilidades de implementar el uso de la fotogrametría en el área de infraestructura mina durante la ejecución de la unidad minera Las Bambas.

1.2.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Determinar alternativas para obtener mejores resultados en cuanto a precisión y calidad de los resultados haciendo estudios de vuelos fotogramétricos a distintas alturas de vuelo.

- Analizar las consecuencias que tendrá el resultado final del proceso fotogramétrico variando la cantidad de puntos de control en tierra GCP (ground control point) reduciendo o incrementando su número y calcular la cantidad optima necesaria de los mismos para obtener resultados con la precisión esperada.

- Estimar las posibilidades de reducir costos y tiempo mediante el uso de la fotogrametría y compararlos con el método tradicional realizado con GPS diferencial.

- Enumerar las consecuencias de la aplicación de la fotogrametría en cuanto a la seguridad de nuestros colaboradores con la aplicación de esta técnica.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE ESTUDIO

1.3.1 JUSTIFICACIÓN

El estudio de investigación se justificará en mejorar dos aspectos fundamentales dentro de una operación minera:

Mejora en las operaciones: Teniendo información actualizada en un menor tiempo, con un costo inferior y precisiones planeadas previamente, se podrán tomar decisiones más acertadas.

La seguridad de los colaboradores: Mediante el uso de la fotogrametría realizar levantamientos topográficos dentro o fuera del tajo Ferrobamba, siendo esta una técnica no invasiva vale decir que no se está en contacto directo con el personal o equipos en movimiento.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

Se implementara el uso de la fotogrametría en el área de infraestructura mina durante la ejecución de proyectos en la unidad mina Las Bambas.

1.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

-Cumplir con la normatividad de la empresa de acuerdo a los requerimientos establecidos en cuanto a precisión volando el vehículo aéreo no tripulado a una altura óptima calculada.

-A mayor cantidad de puntos de apoyo terrestre hay la probabilidad de obtener mejor precisión en el modelo 3D final.

-Existe la probabilidad de obtener bajos costos y menores tiempos esperados para la obtención de imágenes y su posterior procesamiento.

-Las expectativas de obtener cero accidentes con el uso de la fotogrametría se podrá hacer una realidad.

1.5 ALCANCES DEL ESTUDIO

1.5.1 ALCANCES

El presente estudio abarcara el área laboral de Topografía e ingeniería de minas, realizado dentro de la gerencia de operaciones, área de infraestructura mina en la unidad minera las Bambas, en los límites del tajo Ferrobamba operada por la empresa MMG (Mining Metal Group), dentro marco del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional vigente.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

- En el XXIII congreso ISPRS del 12 al 19 de julio de 2016 realizado en Republica Checa se presentó el siguiente tema “VOLUME COMPUTATION OF A STOCKPILE – A STUDY CASE COMPARING GPS AND UAV MEASUREMENTS IN AN OPEN PIT QUARRY”
Cálculo de volumen de un stock pile - Estudio de caso que compara las mediciones de GPS y UAV en una cantera de tajo abierto. En este estudio se compara los beneficios que tiene la fotogrametría aérea en comparación a un levantamiento con GPS diferencial y a la conclusión que llega es la siguiente: El volumen por fotogrametría UAV es 12 749 m³ y el volumen calculado por puntos GPS: 12 606 m³. Como resultado, el volumen de UAV resultó ser más grande con 144m³. Es más apropiado expresar la diferencia en porcentaje, que sería una diferencia del 1.1% de la cantidad total.

Es importante indicar que los datos de UAV se recopilaron más rápido que las mediciones GPS terrestres. El área total de la cantera fue mapeada por menos de 30 minutos en comparación con las 5 horas de mediciones GPS.

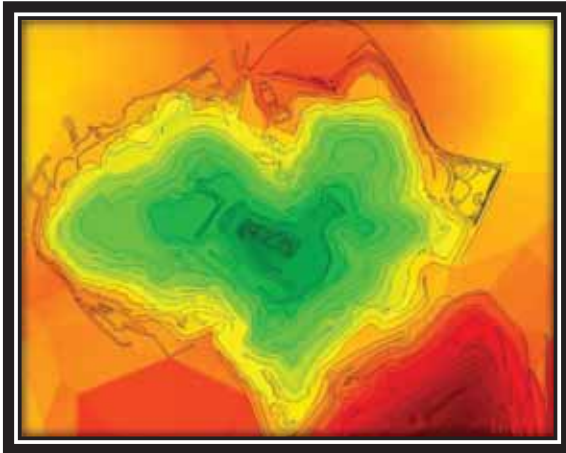


Figura 1. DTM curvas de nivel



Figura 2. Vista 3D de la Mina

Las figuras 1 y 2 forman parte del estudio anterior.

- En el congreso internacional de JCRM Japanese Committee for Rock Mechanics se presenta el tema “Three-dimensional topography of fracture surfaces obtained by a digital photogrammetric technique” realizado el 18 de diciembre de 2007 en Tokyo Japon la precisión alcanzada mediante fotogrametría figura 3 es de aproximadamente 0,02 mm paralela a la superficie de la fractura, y 0,1 mm en dirección vertical, para la muestra de 30 mm de diámetro. La conclusión a la que llegan es que la técnica de fotogrametría digital tiene suficiente precisión para distinguir la diferencia de rugosidad de la fractura relacionada con la anisotropía de la roca.

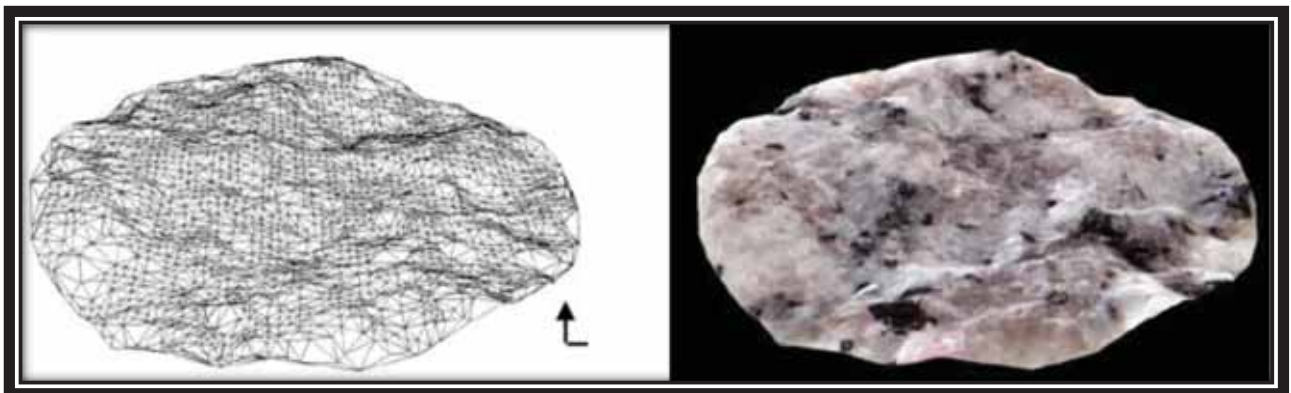


Figura 3. Modelo de malla y modelo con textura mediante fotogrametría

- La aplicación de la fotogrametría de objeto cercano con dron en nuestro país se inicia con levantamientos fotogramétricos de cuencas hidrográficas para el planteamiento de defensa ribereña luego de las avenidas de huaicos tras el fenómeno del niño por ejemplo “Fotogrametría para la Gestión de Riesgos de Desastres” lanzándola como proyecto de investigación y definiéndola como nueva metodología para la evaluación del riesgo de desastres por flujos detríticos (huaycos) de aplicabilidad nacional de enero 2018 a julio 2019 fue impulsada por el ministerio de la producción.

-El ministerio de transportes y comunicaciones acepta los levantamientos fotogramétricos denominados como “vuelo aerofotogramétrico con dron” para la realización de proyectos de carreteras en la etapa de mantenimiento y rehabilitación. En la resolución directoral N° 501-2015-MTC/12 del 03 de noviembre del 2015 dicta la regulación de las aeronaves pilotadas a distancia cuyas limitaciones importantes que da a conocer es que ninguna persona podrá operar un RPAS:

(1) Si la masa máxima de despegue del RPA excede los 25 Kg.

(2) Sobre zonas pobladas, salvo los casos excepcionales que autorice la DGAC de acuerdo a lo señalado en el párrafo 8, subpárrafo (f), de esta norma.

(10) Por encima de 500 ft (152.4 m) de altura sobre el terreno.

(11) A más de 100 mph (87 Kt) de velocidad aérea.

También señala otras consideraciones que se tiene que revisar en la norma.

2.2 MARCO CONTEXTUAL

2.2.1 ÁMBITO GEOGRÁFICO

A. INSTITUCIÓN A LA QUE PERTENECE LA UNIDAD MINERA

La presente tesis se realizó en la unidad minera Las Bambas operado por MMG (Mining Metal Group), empresa de la gran minería dedicada a la exploración, desarrollo y explotación de cobre y zinc, principalmente.

B. LUGAR DONDE SE REALIZO

El distrito minero Las Bambas se encuentra ubicado a 565 Km al SE de la ciudad de Lima, 75 Km al SO de la ciudad de Cusco, 300 km al noroeste de la ciudad de Arequipa, en parte de los distritos de Challhuahuacho y Coyllurqui (provincia de Cotabambas) y Progreso (provincia de Grau) en el departamento de Apurímac, en los andes de la zona centro sur del Perú.

Las altitudes dentro del proyecto varían desde los 3700 hasta los 4650 msnm. Se ubica en el sector norte del cuadrángulo de Santo Tomás (29-r) de la carta geográfica nacional.

El Proyecto Las Bambas cuenta con un derecho especial denominado “Área de no admisión de petitorios” de 33,063 ha, dentro de la cual existen cuatro concesiones mineras que corresponden a Activos Mineros (antes Centromín) que tienen una extensión total de 1,800 ha.

- Tajo Ferrobamba 400 ha
- Tajo Chalcobamba 600 ha
- Tajo Sulfobamba 400 ha
- Tajo Charcas 400 ha.

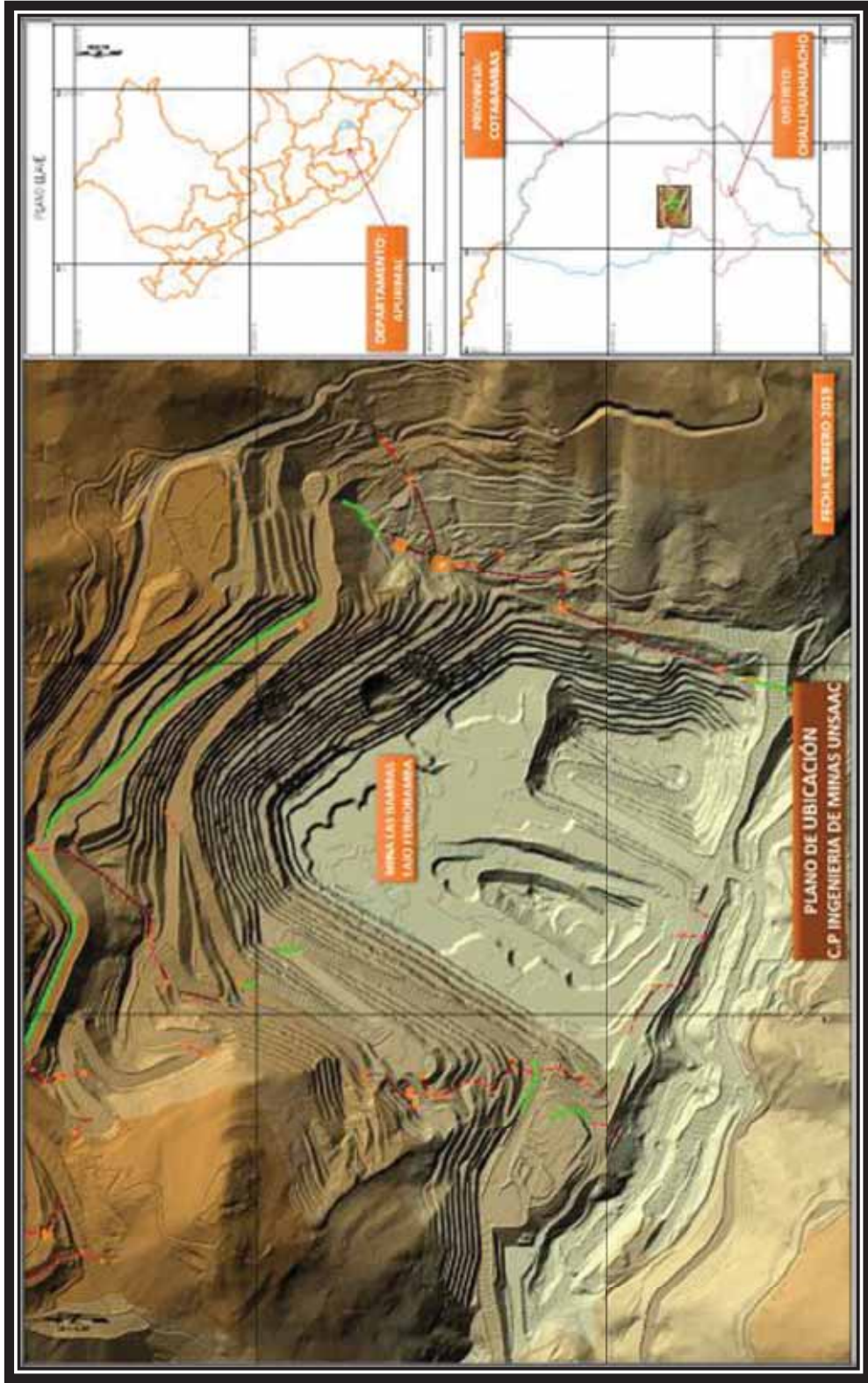


Figura 4. Ubicación del proyecto minero Las Bambas Tajo Ferrobarbamba (Fuente: Elaboración propia)

2.3 BASE TEÓRICA

2.3.1 HISTORIA DE LA FOTOGRAMETRÍA

Hablar de fotogrametría se remonta a los inicios de la invención de la fotografía por Fox Talbolt en Inglaterra, Por Niepce que toma la primera fotografía del mundo y Daguire en Francia en los años 1827 y 1837.

El desarrollo de la medición estereoscópica alrededor del cambio de siglo fue un avance trascendental en la historia de la fotogrametría. El estereoscopio fue descrito por primera vez por Charles Wheatstone en 1838, Sir David Brewster 1849 mejoró el estereoscopio prescindiendo de los espejos y llevándolo a su forma actual con lentes.

En 1852 El oficial Aimé Laussedat adopta la fotografía para reemplazar la cámara lúcida en los levantamientos topográficos. A este procedimiento le puso el nombre de “metrofotografía”.

De hecho, el arquitecto alemán Meydenbauer, es quien acuñó la palabra "fotogrametría" quien, en 1858, usó fotografías para dibujar planos de la catedral de Wetzlar y, para 1865, había construido su "gran fotogramómetro" ver figura 5.

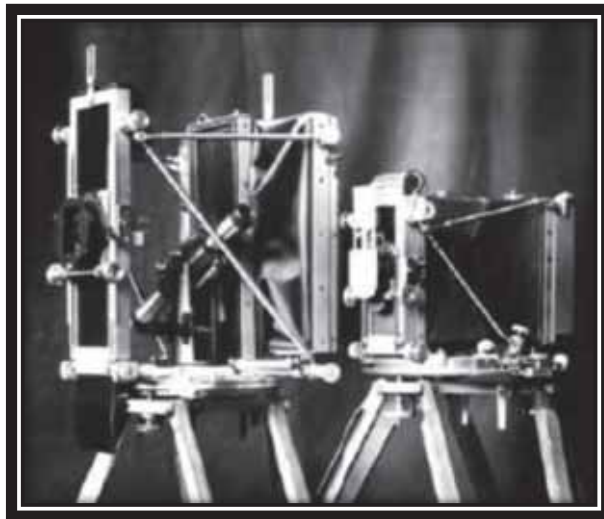


Figura 5. Camara métrica Meydenbauer 1890 (Fuente; Albertz y Wiedemann 1997)

Meydenbauer utilizó la fotografía para evitar el método convencional, a menudo peligroso, manual de medición de fachadas. Desarrolló sus propias cámaras fotogramétricas con imagen.

Formatos de hasta 40 cm × 40 cm (ver Figura 5), utilizando placas de vidrio para transportar la emulsión. Entre 1885 y 1909, en nombre del estado de Prusia, Meydenbauer compiló un archivo de alrededor de 16 000 imágenes métricas de los monumentos arquitectónicos más importantes; Todavía está parcialmente en existencia hoy en día. El desarrollo de tales archivos ha continuado en muchos países hasta el día de hoy como un seguro contra daños o la destrucción del patrimonio cultural.

Durante el siglo XIX se realizó mucha más fotogrametría arquitectónica que topográfica. No obstante, una cierta cantidad de mapeo topográfico tuvo lugar durante las últimas tres décadas de ese siglo; por ejemplo, el mapeo de los Alpes por Paganini en 1884 y el mapeo de vastas áreas de las Montañas Rocosas en Canadá por Daniel Deville con su primer instrumento que usa pares estereoscópicos para realizar planos de línea. Jordan mapeó el oasis de Dachel en 1873 y Finsterwalder desarrolló soluciones analíticas.

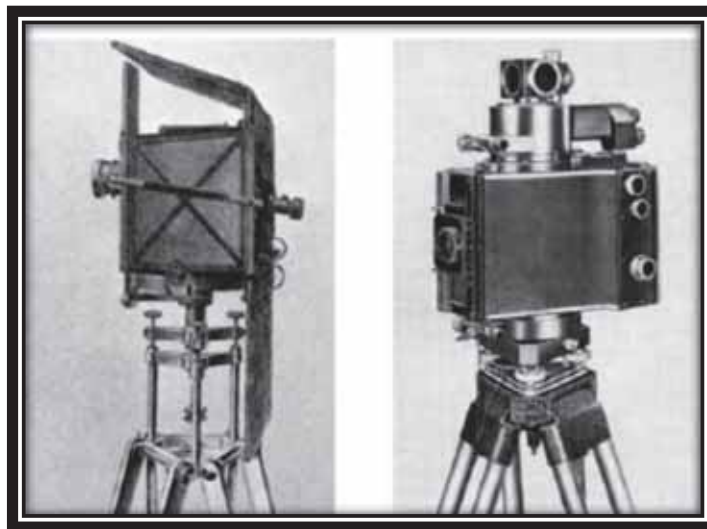


Figura 6. Fototeodolito de Finsterwalder 1895 (Fuente; Luhmann T, 2011)

F. Stolze descubrió el principio de la marca de medición flotante en Alemania en 1893. Otros dos científicos, Pulfrich en Alemania y Fourcade en Sudáfrica, que trabajaron de manera independiente y casi simultánea, desarrollaron instrumentos para la aplicación práctica del descubrimiento de Stolze. Sus estereocomparadores permitieron la configuración simultánea de marcas de medición idénticas en las dos fotografías y el registro de las coordenadas de la imagen para su uso en cálculos numéricos posteriores; los puntos se fijaron por intersección numérica y la medición se realizó punto por punto (ver Figura 7).

La fotogrametría estaba a punto de entrar en la era de la computación analógica, un concepto muy extraño para los topógrafos con su larga tradición de computación numérica: la computación digital era demasiado lenta para permitir el trazado ininterrumpido de los detalles, en particular de los contornos, que la medición estereoscópica parecía ofrecer. Tentadoramente solo la computación analógica podría extender la posibilidad de retroalimentación instantánea al observador.

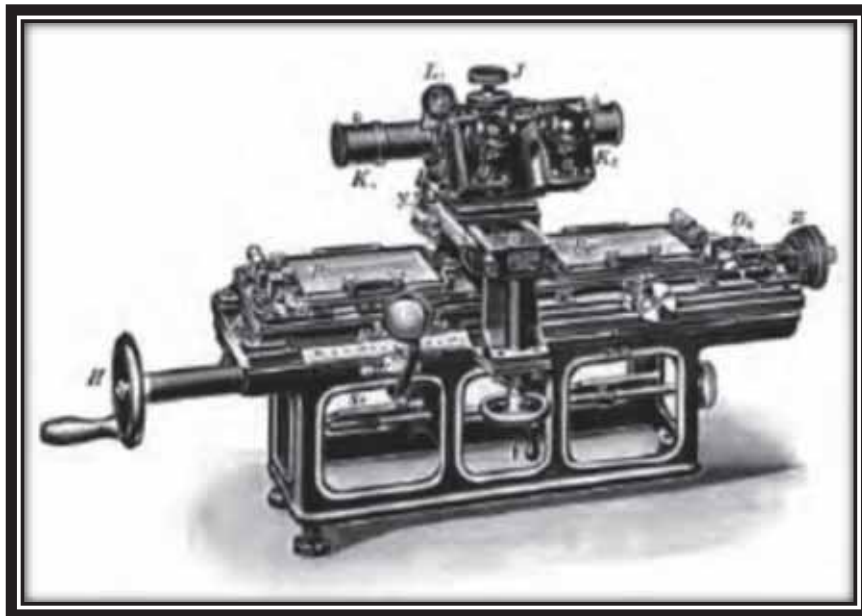


Figura 7. Estereocomparador de Pulfrichs (Fuente; Luhmann T, 2011)

Durante la última parte del siglo XIX y en varios países, se dedicó mucho esfuerzo e imaginación a la invención de instrumentos de estereoplotaje, necesarios para el trazado preciso y continuo de la topografía. En Alemania, Hauck propuso tal aparato.

En Alemania, posiblemente el país más activo en los primeros días de la fotogrametría, los métodos de Pulfrich se utilizaron con gran éxito en el mapeo. Esto inspiró a von Orel en Viena a diseñar un instrumento para el trazado "automático" de contornos, lo que en última instancia llevó al estéreoautógrafo Orel-Zeiss que entró en uso productivo en 1909. En Inglaterra, FV Thompson fue un poco antes de von Orel en el diseño y uso. De Vivian Thompson Stereoplotter; continuó diseñando el Stere Thompson Stereoplanigraph como "el primer diseño para un instrumento de trazado fotogramétrico completamente automático y completamente riguroso".

El rápido desarrollo de la aviación que comenzó poco después fue otra influencia decisiva en el curso de la fotogrametría. La Tierra fotografiada verticalmente desde arriba no solo es un sujeto casi ideal para el método fotogramétrico, sino que también las aeronaves hacen que todas las partes de la Tierra sean accesibles a alta velocidad. En la primera mitad del siglo XX, estas circunstancias favorables permitieron un desarrollo impresionante en la fotogrametría, con un tremendo beneficio económico en el estudio del aire. Por otro lado, aunque la estereoscopia abrió el camino para la aplicación de la fotogrametría a las superficies más complejas, como la que se puede encontrar en trabajos de corto alcance, la geometría en tales casos a menudo estaba lejos de ser fotogramétricamente ideal y no había una ventaja económica correspondiente para promoverla su aplicación.

Aunque hubo una considerable oposición por parte de los topógrafos al uso de fotografías e instrumentos analógicos para el mapeo, el desarrollo de instrumentos de medición

estereoscópicos avanzó notablemente en muchos países durante el período entre la Primera Guerra Mundial y principios de los años treinta. Mientras tanto, el uso no topográfico era esporádico, ya que había pocas cámaras adecuadas y los trazadores analógicos imponían severas restricciones en la distancia principal, el formato y la disposición de las imágenes y las inclinaciones de las cámaras. Se desarrollaron sistemas instrumentalmente complejos utilizando proyección óptica (por ejemplo, Multiplex), principios opto-mecánicos (Zeiss Stereoplanigraph) y proyección mecánica usando barras espaciales (por ejemplo, Wild A5, Santoni Stereocartograph), diseñados para usar con fotografía aérea. Para 1930, el Stereoplanigraph C5 estaba en producción, un sofisticado instrumento capaz de usar fotografía oblicua y convergente, incluso si las cámaras improvisadas tenían que usarse a corta distancia, los experimentadores al menos tenían libertad en la orientación y colocación de las cámaras; esta considerable ventaja llevó a algún trabajo notable.

Ya en 1933, la policía suiza estaba fabricando cámaras estereométricas Wild para la cartografía de los lugares del accidente, utilizando el estereoautógrafo Wild A4, un plotter especialmente diseñado para este fin. Dichas cámaras estereométricas comprenden dos cámaras métricas idénticas fijadas a una base rígida de longitud conocida y tales que sus ejes son coplanares, perpendiculares a la base y, generalmente, horizontales. Otros fabricantes también han fabricado cámaras estereométricas (ver figura 8) y plotters asociados (ver figura 9); Se ha realizado una gran cantidad de trabajo de corto alcance con este tipo de equipos. Inicialmente, las placas de vidrio se utilizaron en cámaras métricas para proporcionar una superficie de imagen plana sin un esfuerzo mecánico significativo (ver figura 10). A partir de la década de 1950, la película se usaba cada vez más en cámaras métricas que luego estaban equipadas con un dispositivo mecánico para aplanar películas.



Figura 8. Zeiss SMK 40 Cámara estereométrica (Fuente;Luhmann T, 2011)



Figura 9. Zeiss estereoploter (Fuente; Luhmann T, 2011)



Figura 10. Zeiss TMK cámara métrica (Fuente; Luhmann T, 2011)

En la década de 1950 estábamos al borde del período de la fotogrametría analítica. El uso cada vez mayor de las computadoras digitales y electrónicas en esa década generó un interés generalizado en el enfoque puramente analítico o numérico de la fotogrametría en comparación con el predominante.

Posteriormente, los estereoplotters se equiparon con dispositivos para registrar las coordenadas del modelo para entrada a las computadoras electrónicas. Partiendo de las ideas pioneras de Helava 1957, las computadoras se incorporaron en los propios estereoplotters, lo que dio como resultado estereoplotters analíticos con reconstrucción numérica completa de los modelos fotogramétricos. Bendix / OMI desarrolló el primer trazador analítico, el AP / C, en 1964; durante las siguientes dos décadas, las principales compañías de instrumentos y otros produjeron

estereoplotters analíticos.

La triangulación fotogramétrica analítica es un método, utilizando datos numéricos, de determinación de puntos que involucra la orientación simultánea de todas las fotografías y que toma en cuenta todas las interrelaciones. El trabajo en esta línea de desarrollo había aparecido antes de la Segunda Guerra Mundial, mucho antes del desarrollo de las computadoras electrónicas. La triangulación analítica exigía instrumentos para medir las fotocoordenadas. El primer estereocomparador diseñado específicamente para usar con fotografías aéreas fue el Cambridge Stereocomparator diseñado en 1937 por E. H. Thompson. En 1955 había cinco estereocomparadores en el mercado. El método de paquete de triangulación fotogramétrica, **más conocido como ajuste de haz**, es de vital importancia para la fotogrametría de rango cercano. Los documentos de Schmid (1956-57, 1958) y Brown (1958) sentaron las bases de un bloque teóricamente.

Se desarrollaron varios programas de ajuste de paquetes para levantamientos aéreos que se hicieron disponibles comercialmente, como los de Ackermann et al. (1970) y Brown (1976).

Los programas diseñados específicamente para trabajos de corto alcance han aparecido desde la década de 1980, como STARS, BINGO, MOR y CAP.

El método no impone restricciones en las posiciones o las orientaciones de las cámaras; tampoco hay necesidad de limitar el sistema de imágenes a la proyección central. De igual o mayor importancia, los parámetros de orientación interior de todas las cámaras pueden incluirse como incógnitas en la solución.

Hasta la década de 1960, muchos experimentadores parecen haber prestado poca atención a la calibración, de sus cámaras; esto bien puede haber sido debido a la calibración directa de las

cámaras enfocadas para los objetos cercanos suelen ser mucho más difíciles que las cámaras enfocadas para objetos distantes. Al mismo tiempo, la orientación interna generalmente debe conocerse con mayor precisión de la necesaria para la vertical.

Para superar esta dificultad fueron sugeridos por Torlegård (1967) y otros, el ajuste del paquete ahora nos libera de esta preocupación. Para trabajos de alta precisión ya no es necesario usar cámaras métricas que, aunque tiene la ventaja de una orientación interior conocida y constante, suele ser engorroso y costoso. Prácticamente cualquier cámara puede ser utilizada. La calibración a través del ajuste del haz se conoce generalmente como autocalibración.

Desde mediados de la década de 1980, el uso de sensores de imagen optoelectrónicas ha aumentado dramáticamente. La avanzada tecnología informática permite el procesamiento de imágenes digitales, en particular para el reconocimiento automático y la medición de características de imagen, incluido el patrón de correlación para determinar superficies de objetos.

Los primeros sistemas operacionales de múltiples imágenes estuvieron disponible a fines de la década de 1980.

Las limitaciones de las cámaras de video con respecto a su pequeño formato de imagen y baja resolución llevaron al desarrollo de cámaras de escaneo que permitieron la grabación en alta resolución de objetos estáticos a aproximadamente 6000×4500 píxeles. Paralelamente a este desarrollo, los teodolitos electrónicos estaban equipados con cámaras de video para permitir la grabación automática de las direcciones a los objetivos.

Las cámaras digitales con alta resolución, que pueden proporcionar una imagen digital sin procesamiento de señales analógicas, han estado disponibles desde principios de los años noventa. Las resoluciones varían desde aproximadamente 1000×1000 píxeles (por ejemplo, Kodak

Megaplus) hasta más de 4000×4000 píxeles. Las cámaras de video fijas fácilmente portátiles pueden almacenar imágenes de alta resolución directamente en la cámara (por ejemplo, Kodak DCS 460, (ver Figura 11). Han conducido a una expansión significativa de la tecnología de medición fotogramétrica, particularmente en el campo industrial. Los sistemas fotogramétricos (ver figura 12) se utilizan cada vez más, tanto como sistemas móviles como en configuraciones estacionarias. Los objetivos codificados permiten la identificación y asignación totalmente automática de las características del objeto y la orientación de las secuencias de imágenes. La medición de la superficie de objetos grandes es ahora posible con el desarrollo de métodos de proyección de patrones combinados con técnicas fotogramétricas.



Figura 11. Cámara Kodak DCS 460 (Fuente; Luhmann T, 2011)



Figura 12. Medición fotogramétrica digital (Fuente; Luhmann T, 2011)

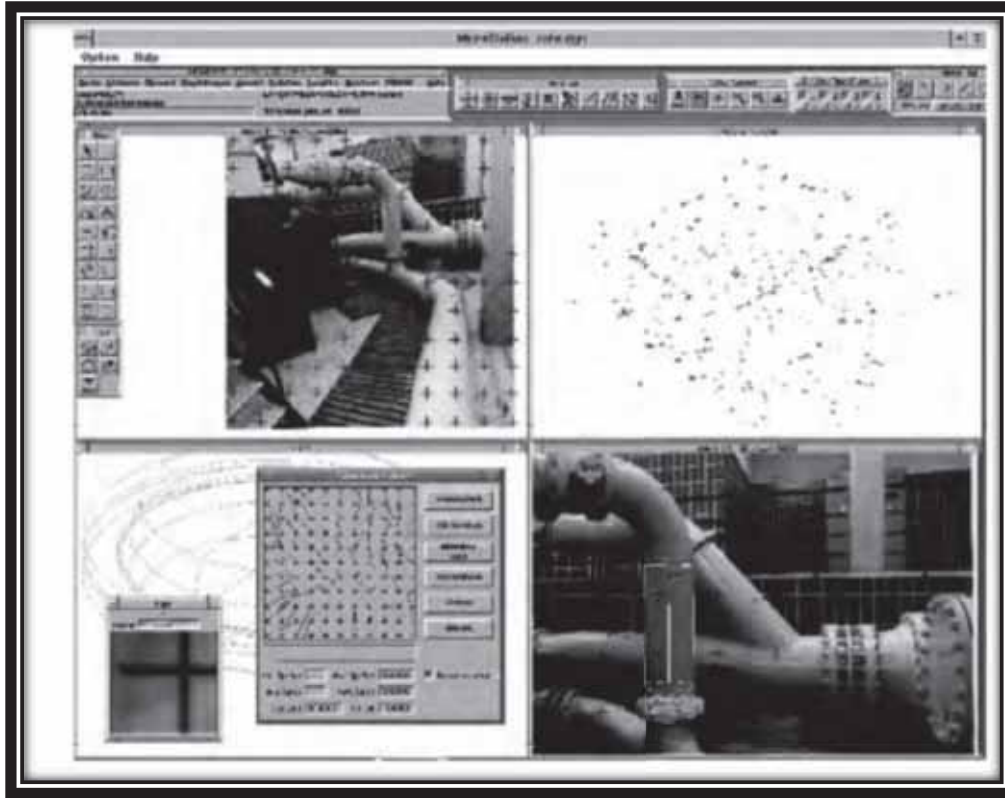


Figura 13. PHIDIAS-MS Software de procesamiento digital de imágenes (Fuente;Luhmann T, 2011)

Los sistemas estéreo digitales interactivos (por ejemplo, Leica / Helava DSP, Zeiss PHODIS) existen desde alrededor de 1988 y en 2005 reemplazan cada vez más los plotters analíticos, pero rara vez se emplean para uso a corta distancia. Los sistemas de procesamiento de imágenes múltiples interactivas y gráficas son más importantes aquí ya que ofrecen el procesamiento de configuraciones de imagen elegidas libremente en un entorno CAD por ejemplo, PHIDIAS de Phocad (ver figura 13). Los paquetes de software de bajo costo y fáciles de usar (por ejemplo, PhotoModeler de EOS, ImageModeler de REALVIZ, iWitness de PhotoMetric) proporcionan reconstrucción de objetos y creación de modelos virtuales en 3D a partir de imágenes digitales sin la necesidad de un profundo conocimiento de la fotogrametría.

Una tendencia en la fotogrametría de corto alcance es hacia la integración o incorporación de componentes fotogramétricos en sistemas híbridos orientados a la aplicación. Esto incluye enlaces a paquetes tales como sistemas de CAD en 3D, bases de datos y sistemas de información, sistemas de análisis y control de calidad para producción, sistemas de navegación para robots y vehículos autónomos, sistemas de visualización en 3D, aplicaciones de Internet, animaciones en 3D y realidad virtual. Otra tendencia es que los métodos de visión por computadora, como la geometría proyectiva o el reconocimiento de patrones, se utilicen cada vez más para soluciones rápidas sin demandas de alta precisión. La fotogrametría de rango cercano es hoy una técnica de medición 3D universal bien establecida, que se aplica de manera rutinaria en una amplia gama de campos interdisciplinarios; Hay muchas razones para esperar su desarrollo continuo en el futuro. (Luhmann T, 2011, págs. 15-24)

2.3.2 CONCEPTOS FOTOGRAMÉTRICOS

La fotogrametría surge como ciencia en 1840, como resultado de una combinación de la óptica, la fotografía y las matemáticas. Se ocupa de obtener información métrica de objetos físicos y del medio ambiente a partir de la interpretación de imágenes fotográficas.

La fotogrametría permite obtener una representación muy precisa de los objetos fotografiados, aparte de que es una técnica relativamente económica con respecto a otras, dada la cantidad de información que se puede capturar en una sola sesión de vuelo. Sirve de insumo principal para la cartografía y la elaboración de mapas complejos, no es necesaria una intervención directa en la zona de trabajo así que no hay ninguna perturbación en el medio ambiente o la cotidianidad de las comunidades, es utilizada ampliamente en el campo de la ingeniería para la elaboración de proyectos en primera fase, puesto que proporciona información espacial de la capa vegetal y de la topografía de la zona donde se van a realizar los proyectos. En institutos geográficos a nivel mundial tienen como base la fotogrametría como insumo principal para la elaboración de cartografía.

Etimológicamente, la palabra *Fotogrametría* (del griego ‘photos’, luz; ‘gramma’, escribir; ‘metron’, medir) significa *la medida de lo escrito por la luz*, o en aplicación específica, *medir en fotografías*.

Según la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS), la Fotogrametría “*es el arte, ciencia y tecnología de obtener información fiel acerca de objetos físicos y su entorno a través de procesos de registro, medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos*”, que supone una definición más formal, actualizada y aceptada internacionalmente (Aguirre J, 2016, pág. 27).

La fotogrametría puede definirse como una técnica de captura de información espacial a distancia, que permite cuantificar y obtener información muy relevante de la superficie terrestre y del medio ambiente con el fin de elaborar mapas de interés social, cultural y económico, esta intrínsecamente vinculada con la fotointerpretación puesto que se complementan entre sí con el objeto de lograr una representación precisa del mundo real. (Riaño R, 2018, pág. 15)

Como el término ya indica, la fotogrametría se puede definir como la "ciencia de medir en fotos", y es una parte tradicional de la geodesia, que pertenece al campo de la teledetección.

Cada punto en la superficie del terreno (punto objeto) se representa en al menos dos fotos. Si sabemos o somos capaces de reconstruir todos los parámetros geométricos de la situación cuando tomamos las fotos, podemos calcular las coordenadas tridimensionales (x, y, z) del punto P mediante la configuración de las ecuaciones de rayos $[P \rightarrow P_1]$ y $[P \rightarrow P_2]$ y después de eso calculando su intersección. Como recordará, esta es la tarea principal de la fotogrametría, y puede imaginar fácilmente que, si lo hemos alcanzado, podemos digitalizar puntos, líneas y áreas para la producción de mapas o calcular distancias, áreas, volúmenes, pendientes y mucho más. (Linder W, 2016, pág. 16)

2.3.3 EVOLUCIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría ha tenido un desarrollo sustancial a través de los tiempos, pues los avances en otras ramas del conocimiento han permitido su evolución, tales como la óptica, la aviación y la informática. Esta ha estado encargada de la producción cartográfica pues facilita la apreciación de la superficie terrestre a través de fotografías aéreas, sin embargo la cartografía no es el único campo de acción de la fotogrametría. La topografía también se ha beneficiado con la fotogrametría tras la implementación de levantamientos fotogramétricos a través de los cuales se puede hallar áreas,

volúmenes, contornos, localización de puntos, detalles, etc., sobre la superficie de la tierra. (Espinosa L, 2017, pág. 06)

En general, se pueden distinguir tres fases principales de la fotogrametría en relación con las técnicas y del equipo utilizado para la evaluación y el flujo de trabajo resultante.

La transición de una fase a la siguiente tomó un tiempo de unos 20 años o incluso más.

A. FOTOGRAMETRÍA ANALÓGICA

En las primeras décadas de la fotogrametría, esto se hizo de forma totalmente óptica-mecánica. Los instrumentos grandes, complicados y costosos para esto solo podían manejarse con mucha experiencia, lo que llevó a la profesión de un operador fotogramétrico. No solo las orientaciones de las fotos, sino también cualquier tipo de trabajo siguiente, como la medición, el mapeo, etc., se llevaron a cabo mecánicamente ver figura 14.

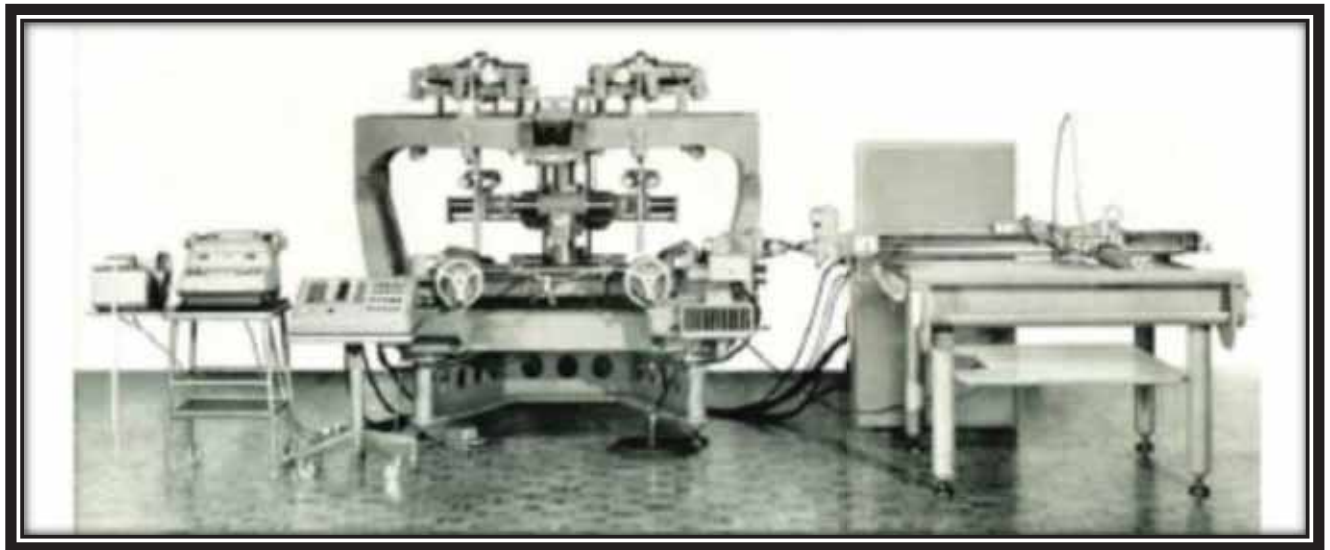


Figura 14. Autógrafo Wild A7 con mesa de dibujo y registrador (Fuente; Espinosa L, 2017)

B. FOTOGRAMETRÍA ANALÍTICA

Con la llegada de las computadoras, la idea era reconstruir la orientación no más analógica sino algorítmica, a través de fórmulas con sus parámetros (coeficientes) que se calculan y almacenan en la computadora. El equipo se volvió significativamente más pequeño, más barato y más fácil de manejar, y se suministró con rotación lineal los contadores de impulsos para registrar coordenadas de hardware, y con servomotores para proporcionar la capacidad de colocar las fotos directamente desde la computadora. Sin embargo, el trabajo todavía se realizó con fotos reales (analógicas) y aún se necesitaba un equipo óptico y mecánico de alta precisión, el denominado trazador analítico ver figura 15.



Figura 15. Restituidor analítico Kern DSR 15 (Fuente; Espinosa L, 2017)

C. FOTOGRAMETRÍA DIGITAL

En las últimas décadas el poder de las computadoras aumentó a una velocidad impresionante. Entonces, ¿por qué no usar fotos digitales y hacer el trabajo directamente con la computadora? Incluso una PC simple en la actualidad tiene suficiente capacidad de almacenamiento y energía para manejar fotos digitales de alta resolución ver figura 16.



Figura 16. Estación fotogramétrica digital (Fuente; Espinosa L, 2017)

2.3.3 CLASIFICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría se puede clasificar en una multiplicidad de formas:

- **Por posición de la cámara y distancia del objeto.**

- Fotogrametría satelital: procesamiento de imágenes satelitales, $h > 200$ km
- Fotogrametría aérea: procesamiento de fotografías aéreas, $h > 300$ m
- Fotogrametría terrestre: mediciones desde una ubicación terrestre fija
- Fotogrametría de rango cercano: distancia de imagen $h < 300$ m
- Fotogrametría de macros: escala de imagen > 1 (imágenes de microscopio)

- **Por número de imágenes de medición.**

- Fotogrametría de una sola imagen: procesamiento de una sola imagen, trazado de puntos, rectificación, ortofotografías.
- Estereofotogrametría: procesamiento dual de imágenes, medición estereoscópica
- Fotogrametría de imágenes múltiples: n imágenes donde $n > 2$, triangulación de haz

- **Por método de grabación y procesamiento o evolución.**

- Fotogrametría de tablas planas: evaluación gráfica (hasta 1930)
- Fotogrametría analógica: cámaras analógicas, sistemas de medición opto-mecánicos (hasta 1980)
- Fotogrametría analítica: imágenes analógicas, medición controlada por ordenador.
- Fotogrametría digital: imágenes digitales, medición controlada por ordenador.
- Videogrametría: adquisición y medición de imágenes digitales.
- Fotogrametría panorámica: procesamiento de imágenes panorámicas.
- Fotogrametría de líneas: métodos analíticos basados en líneas rectas y polinomios.

- **Por disponibilidad de resultados de medición.**

- Fotogrametría en tiempo real: registro y medición completados dentro de un período de tiempo específico de la aplicación.
- Fotogrametría fuera de línea: secuencial, grabación de imagen digital, separada en tiempo o ubicación de la medición
- Fotogrametría en línea: grabación simultánea, múltiple, digital de imágenes, medición inmediata.

- **Por aplicación o área especializada.**

- Fotogrametría arquitectónica: arquitectura, conservación del patrimonio, arqueología.
- Fotogrametría de ingeniería: aplicaciones generales de ingeniería (construcción).
- Fotogrametría industrial: aplicaciones industriales (fabricación).
- Fotogrametría forense: aplicaciones a diversos problemas legales.
- Biostereometría: aplicaciones médicas.

En la presente tesis de grado tomaremos puntos específicos de esta clasificación, por la posición de la cámara y distancia al objeto es fotogrametría de rango cercano, por lo que se realizaron vuelos a menos de 300m de altura, y por el número de imágenes es la fotogrametría de imágenes múltiples, por el método de grabación y procesamiento es fotogrametría digital, y por la aplicación es una fotogrametría de ingeniería. Por lo que se puede decir que es una “fotogrametría de objeto cercano para ingeniería, mediante el uso de múltiples imagen digitales”

2.3.4 GEOMETRÍA FUNDAMENTAL DE LA FOTOGRAMETRÍA.

La determinación rigurosa de estos elementos o parámetros internos constituye, en definitiva, el primer objetivo de la restitución Fotogramétrica.

Para resolver el problema de reconstruir un objeto a partir de la fotografía del terreno (pares estereoscópicos) es preciso recurrir a un proceso combinado de restitución que contemple las operaciones correlativas siguientes, según los siguientes métodos:

- Método 1: orientación interna + orientación relativa + orientación absoluta.
- Método 2: orientación interna + orientación exterior.

En el análisis de aproximaciones sucesivas del método general de la Fotogrametría resulta preciso señalar la existencia de tres sistemas de referencia empleados habitualmente, como son:

- Sistema de coordenadas de la fotografía.
- Sistema de coordenadas del modelo estereoscópico.
- Sistema de coordenadas del terreno

Las diversas relaciones matemáticas que pueden establecerse entre los diversos sistemas cartesianos reciben, en Fotogrametría, el nombre de Orientaciones. Para el desarrollo de la presente tesis iremos por el camino más corto, que es la orientación interna y orientación externa ver figura 17.

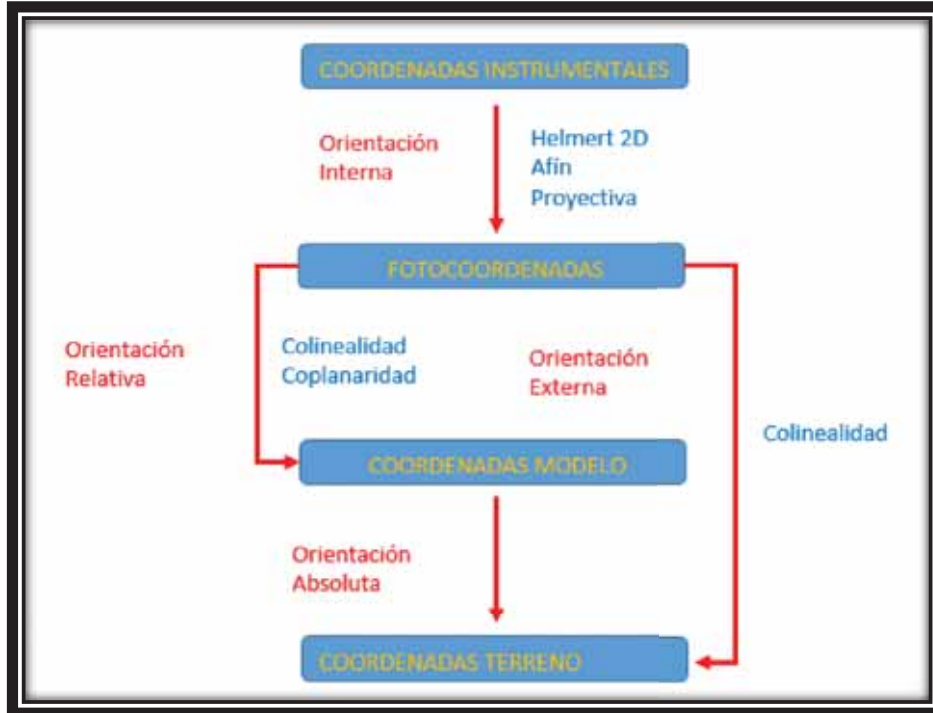


Figura 17. Proceso fotogramétrico por parámetros (Fuente; elaboración propia)

A. ORIENTACIÓN INTERIOR

Los parámetros de orientación interior se definen durante el proceso de calibración de la cámara. Los parámetros son catalogado como:

1) f - distancia principal - la distancia entre el centro de proyección y el principal punto de la fotografía (llamado por Schenk (2005) como distancia focal), y

2) x_0, y_0 - coordenadas de imagen del punto principal. Además, como las lentes físicas no son perfectas, la distorsión radial y tangencial de la lente también se trata como un parámetro de orientación interior. Todos estos parámetros deben ser conocidos para permitir una reconstrucción precisa de los rayos del haz que pasan por la proyección. (Alicja M, 2016, pág. 08).

B. ORIENTACIÓN EXTERIOR (AEROTRIANGULACIÓN)

La aerotriangulación por haces de rayos se centra en el cálculo de la orientación externa, esta es una operación que se realiza en el ordenador, resolviendo matemáticamente la relación entre las coordenadas de la imagen fotográfica medidas en el sistema tridimensional de coordenadas terreno o modelo por medio de la condición de colinealidad.

El principio del ajuste se basa en que los haces de rayos se desplazan y rotan, de modo que intersectan en los puntos de paso y pasan lo más cerca posible de los puntos de apoyo.

Es necesario conocer los siguientes datos para realizar el proceso de aerotriangulación por haces de rayos:

- Parámetros de orientación interna del fotograma: f , x_0 , y_0 .
- Coordenadas imagen de los puntos de apoyo, de paso y densificación: x , y .
- Coordenadas terreno de los puntos de fotocontrol: X , Y , Z .

1) El principio de colinealidad: el supuesto de que el punto objeto (T), la proyección centro (C), y el punto proyectado (t) son colineales. En otras palabras: los puntos se encuentran en una línea recta. La representación gráfica se muestra en la figura 18. (Alicja M, 2016, pág. 07)

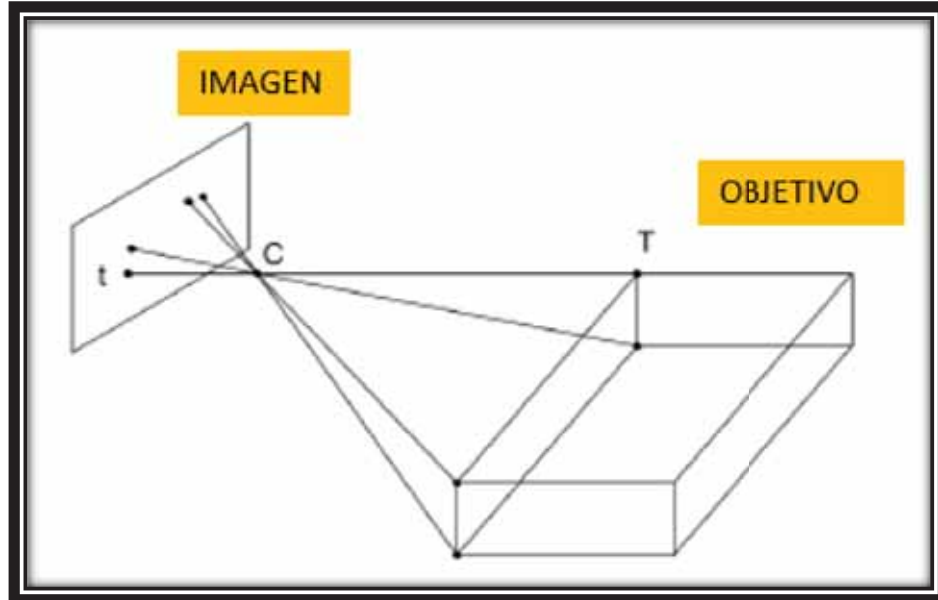


Figura 18. Principio de colinealidad (Fuente; Alicja M, 2016)

$$d(Tt) = d(tC) + d(CT)$$

2) El principio de triangulación: una medida de la coordenada de la imagen (x, y) también es poco para determinar las coordenadas del punto objeto (X, Y, Z). Hay una necesidad de tener al menos dos medidas (dos fotos de diferentes ubicaciones) del mismo punto objeto para obtener coordenadas tridimensionales de un punto objeto. El grafico la representación se muestra (ver figura 19) (Alicja M, 2016, pág. 07).

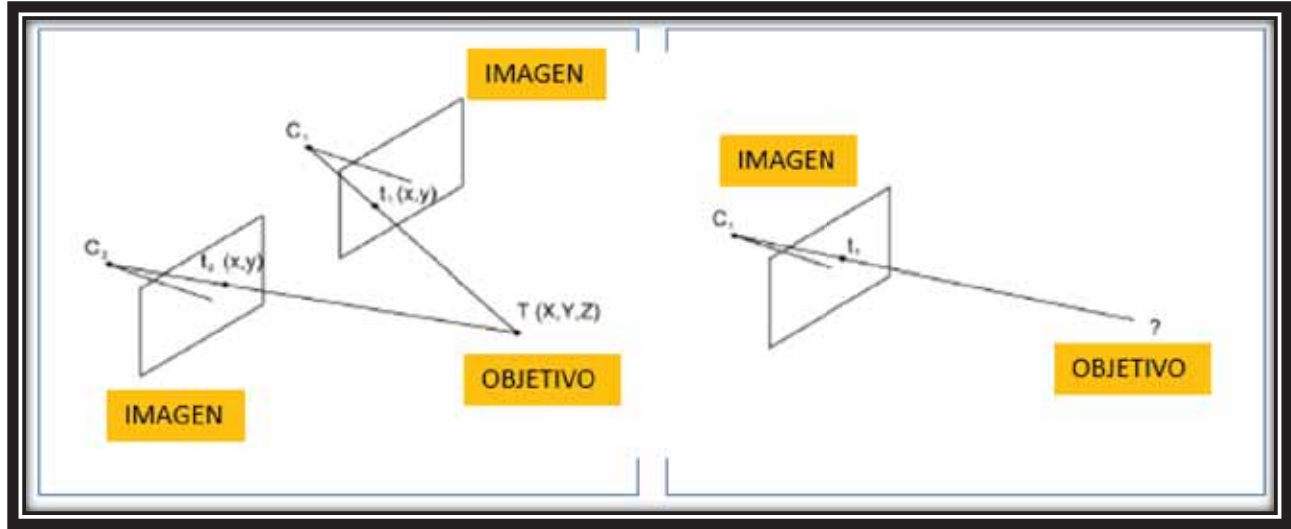


Figura 19. Aplicación del principio de triangulación lado izquierdo (Fuente; Alicja M, 2016)

3) Helmert 2d y 3d

El Helmert o la Transformación de Semejanza expresa la relación que existe (o la transformación que es preciso realizar) entre dos sistemas cartesianos que discrepan en la situación del origen, en la orientación de los ejes y en la unidad de medida a lo largo de los mismos pero de manera que dicha variación en unidad de medida es constante a lo largo de cada eje y entre los tres ejes.

Igualmente puede considerarse como el modelo que da cuenta de la transformación que sufre un cuerpo al ser trasladado, girado y deformado, pero de tal manera que la deformación es absolutamente homogénea (deformación radial) de manera que se conserva semejante a sí mismo ver figura 20.

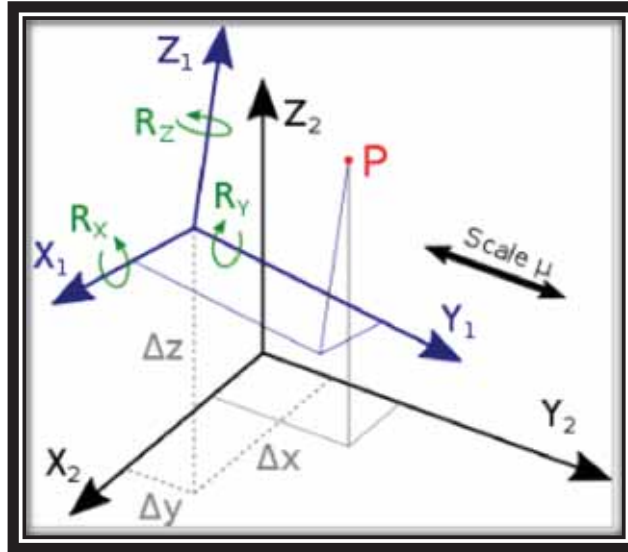


Figura 20. La transformación de un marco de referencia 1 a un marco de referencia 2 se puede describir con tres traducciones $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ tres rotaciones R_x, R_y, R_z , y un parámetro de escala μ (Fuente; Wikipedia)

$$x, y, z = f(X_t, Y_t, Z_t, w, \phi, k, s)$$

traslacion rotacion escala

2.3.5 CÁMARAS DIGITALES

En una cámara digital, el plano focal de la cámara es sustituido por un sensor con diminutas células fotoeléctricas que registran la imagen (CCD) ver figura 21.

Para poder llevar a cabo un buen proceso fotogramétrico es indispensable realizar una buena selección del sensor a usar, esto porque existen distintas categorías de cámaras digitales como las cámaras de gran, mediano y pequeño formato, aparte de esto algunas trabajan con capacidades multiespectrales, esto brinda una alta gama de posibilidades a la hora de decidir cuál es el sensor a usar, la elección debe ir en función de las necesidades de los proyectos a realizar y de las distintas opciones de cámaras con las que cuentan los RPAs usados para poder llevar a cabo un proceso fotogramétrico.

Las cámaras digitales actuales cuentan con múltiples componentes que permiten que la captura de la imagen sea de una forma eficiente, esto se logra transformando la luz en energía, los lentes de la cámara direccionan los haces de luz hacia sensores, que dependiendo de su tamaño determinaran la calidad de la imagen obtenida, los sensores son los receptores de la información espacial, capaces de clasificar las diferentes variaciones de luz y traducirlas en información binaria.

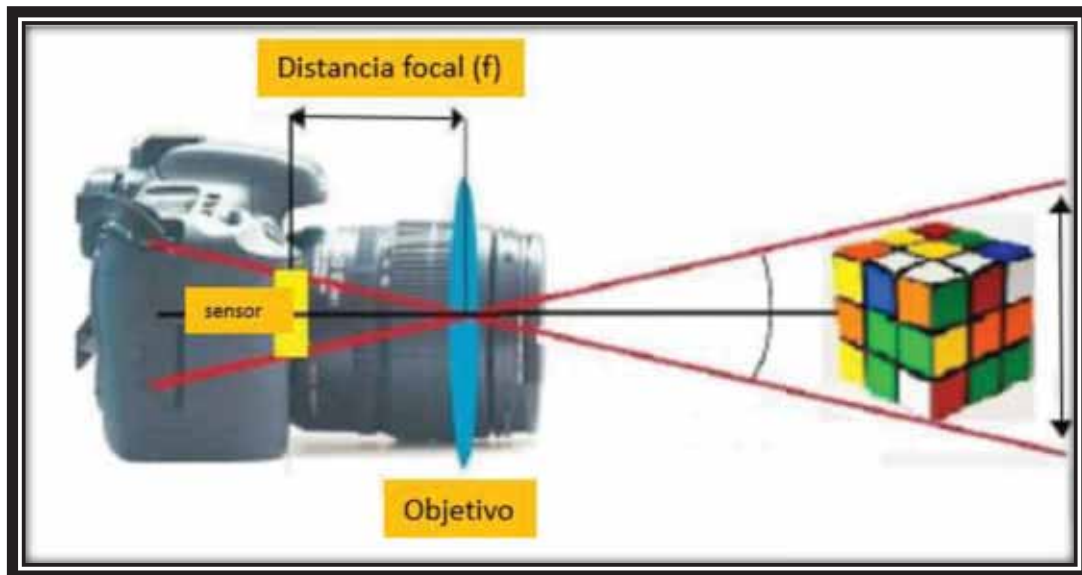


Figura 21. Distancia focal y sensor de una cámara-adaptación (Fuente; Riaño R, 2018)

La mayoría de estas cámaras tienen un formato de imagen rectangular, donde la dimensión más grande está en la dirección transversal para minimizar el número de líneas de vuelo requeridas para los vuelos fotográficos. El tamaño del sensor se define en milímetros (por ejemplo, para el Phantom 4 pro 13.2mm). Hay una amplia gama de longitudes focales de alrededor de 8 mm hasta 120 mm. Debido al formato de sensor rectangular, el campo de visión es diferente en la dirección del vuelo y a través de la línea de vuelo. Para cada cámara digital, la combinación de longitud focal

y tamaño de píxel determina su perfil de operación. Los parámetros de la misión para los vuelos fotográficos con cámaras digitales están determinados por la distancia de muestreo requerida GSD. (Riaño R, 2018)

2.3.6 FOTOGRAFÍA E IMAGEN DIGITAL

Hoy en día, casi todas las imágenes fotogramétricas que se utilizan tienen formato digital, ya que la fotogrametría digital es la que más auge ha adquirido en estos tiempos.

Dichas imágenes digitales lo son, o bien por su propia naturaleza (han sido capturadas por un sensor digital), o bien porque han sido transformadas a un formato digital mediante un escáner fotogramétrico. (Quiróz E, 2014, pág. 58)

Por esa razón, nos centraremos en ese tipo de imágenes, describiendo tanto su estructura, como su tratamiento.

A. LA IMAGEN DIGITAL

Una imagen digital es una matriz bidimensional en la que cada unidad mínima de información es un píxel con coordenadas fila, columna (i,j) . Cada píxel, tendrá un valor denominado Nivel Digital (Nd) que estará representado por un nivel de gris en pantalla (ver figura 22).

Esta composición de la imagen digital es la que corresponde con una imagen mono banda, o lo que es lo mismo: compuesta por solo una matriz, y que se visualizaría en niveles de gris.

Sin embargo, las imágenes a color (RGB), tal y como se puede apreciar en la (ver figura 23), están compuestas por tres matrices, una para el color rojo (Red), otra para el verde (Green) y otra para el azul (Blue). El almacenamiento de estas imágenes se triplica en espacio, puesto que cada matriz tiene sus propios niveles digitales.

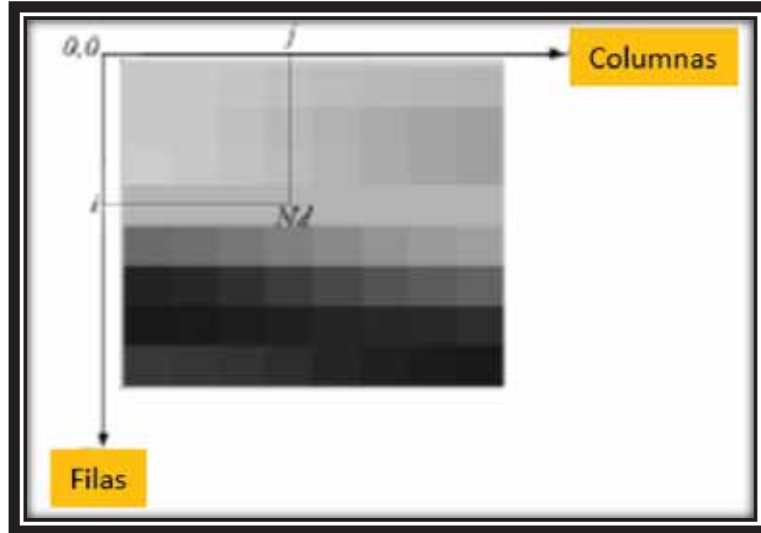


Figura 22. Imagen digital monocromática (Fuente; Quiróz E, 2014)

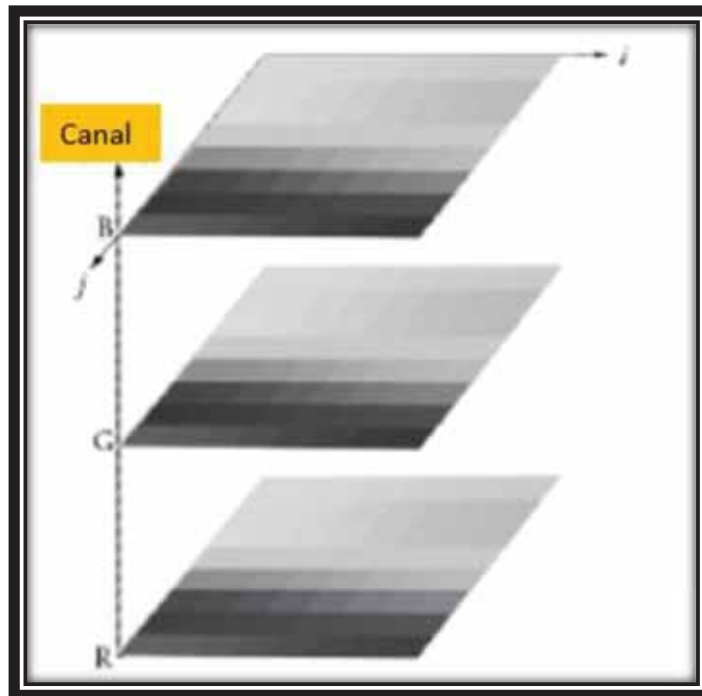


Figura 23. Imagen digital RGB (Fuente; Quiróz E, 2014)

B. CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN DIGITAL

B.1. RESOLUCIÓN

La calidad de una imagen digital depende del tamaño del pixel, y es la denominada resolución. Si ese tamaño es demasiado grande, la imagen pierde información, pero, si por el contrario, es demasiado pequeño, la imagen tendría mucha calidad, con el inconveniente de que también necesitaría mucho espacio de almacenamiento.

La unidad en la que se expresa la resolución es ppp (píxeles por pulgada).

En el caso de imágenes aéreas, la resolución se denomina espacial y tiene correspondencia directa con el tamaño del pixel en el terreno GSD.

B.2. DIMENSIÓN

La dimensión de la imagen indica el ancho y el alto de la imagen. Se suele expresar en mm, pulgadas o píxeles.

B.3. PROFUNDIDAD DE COLOR

La profundidad de color corresponde con el número de bits utilizados para describir el color de cada pixel.

Tal y como se aprecia en la (ver figura 24), cuanto mayor sea la profundidad, más colores habrá en la imagen. La relación entre el número de colores y la profundidad se expresa en la siguiente tabla.

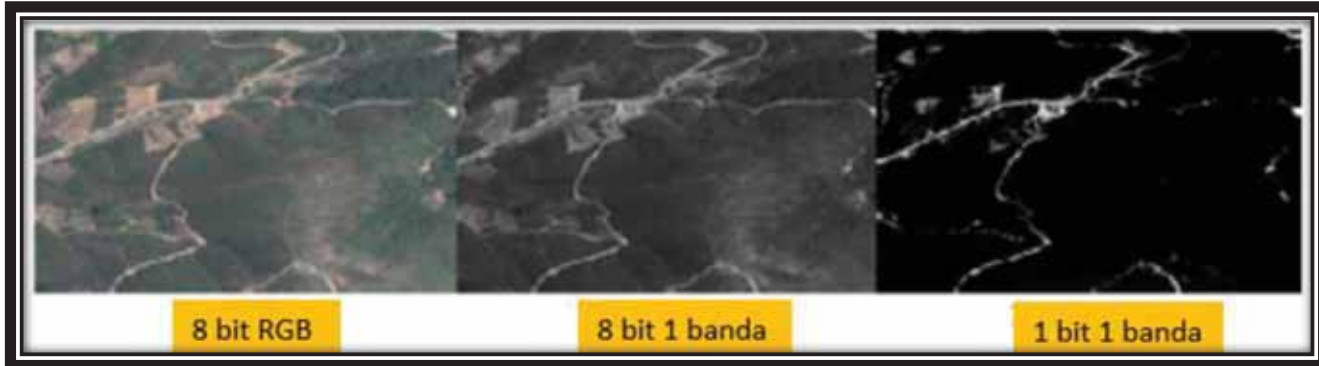


Figura 24. Profundidad de color (Fuente; Quiróz E, 2014)

B.4. TAMAÑO DEL ARCHIVO

El tamaño del archivo es la cantidad de memoria necesaria para almacenar la información de la imagen.

El número de bits que se necesitan para almacenarla está en función de la resolución de su largo y ancho y la profundidad de color.

$$\text{Tamaño} = R^2 * L * A * P$$

Donde:

R = Resolución (ppp)

L y A = Largo y Ancho (pulg)

P = Profundidad de color

El tamaño de la imagen, además, se multiplicará por tres, si se almacena en color.

Uno de los inconvenientes de las imágenes digitales está relacionado con la necesidad de disponer de un elevado volumen de almacenamiento, debido a la gran cantidad de información con la que se trabaja. Hay que tener muy en cuenta que un proyecto fotogramétrico de dimensiones no muy elevadas, está compuesto por numerosas imágenes.

B.5. COMPRESIÓN DE IMÁGENES

Para salvar el inconveniente del gran volumen de información que una imagen digital necesita para ser almacenada, existe la técnica de la compresión de imágenes, que reduce el espacio de almacenamiento.

Hay que ser muy cuidadosos con la compresión de imágenes, especialmente en fotogrametría, ya que algunos algoritmos de compresión producen pérdidas de información irreparables que reducen la calidad de la imagen.

Comprimir una imagen es reducir la cantidad de datos necesarios para representar la imagen digital. La técnica se basa en la eliminación de todos los datos redundantes que existen en la imagen. Cuanta más redundancia exista en la imagen, más compresión puede sufrir.

Un concepto que conviene enunciar es la ratio de compresión, que es la relación que existe entre la imagen original y la comprimida. Por ejemplo, una ratio de compresión de 1.5:1, significa que la imagen original ocupa 1.5 veces más espacio que la comprimida.

La mayor diferencia que existe entre los algoritmos de compresión es que algunos, sacrifican la información para reducir aún más el tamaño del archivo. Son los denominados algoritmos con pérdida. Estos algoritmos, al descomprimir una imagen comprimida para mostrarla en pantalla, no son capaces de reproducirla exactamente como la imagen original, sufriendo, por tanto, una pérdida de información.

Esta pérdida es mínima y el ojo humano no puede apreciarla. En los casos en los que la métrica de la imagen es la principal utilización de la misma, hace imposible la utilización de este tipo de algoritmos de compresión.

En el caso de la fotogrametría los únicos algoritmos que se deben utilizar son los *algoritmos*

sin pérdida, de manera que, aunque no reducen en exceso el tamaño de las imágenes, conservan la integridad de la misma algo fundamental para conservar también sus propiedades métricas.

- Transformación discreta de cosenos (TDC)

Es el método de compresión que utiliza el formato JPG, y es un algoritmo de compresión con pérdida.

La TDC consigue concentrar la mayor parte de la información en unos pocos coeficientes transformados. De este modo, solo hay que codificar esos pocos coeficientes para obtener una buena representación de todo el bloque de la imagen.

El objetivo de la TDC es traducir las variaciones de intensidad a componentes de frecuencia con el objetivo final de poder eliminar las altas frecuencias (el ojo humano es poco sensible a ellas) pero conservando las bajas frecuencias:

- Componente de alta frecuencia: cambios de brillo grandes en áreas pequeñas.
- Componente de baja frecuencia: cambios de brillo pequeños en áreas grandes.

Como se divide la imagen en bloques de 8x8 píxeles y se aplica la TDC sobre bloques y no sobre la imagen global, se pueden independizar los bloques entre sí realizando varias compresiones sucesivas, se observaría la separación que existe entre ellos tal y como se muestra en la figura 22.

- Lempel Ziv Welch (LZW)

Es un algoritmo de compresión sin pérdida que se utiliza en formatos como GIF o TIFF que consiste en lo siguiente (ver figura 25):

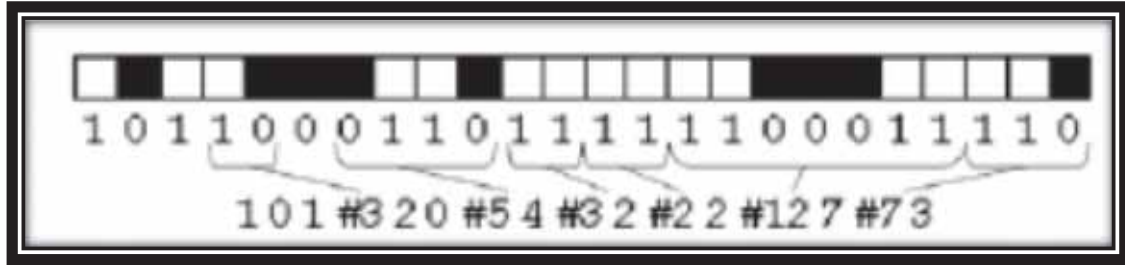


Figura 25. Compresión LWZ (Fuente; Quiróz E, 2014)

Cuando se produce una secuencia de pixeles similar a otra anterior, se sustituye dicha secuencia por una clave de dos valores: Los correspondientes a cuantos pasos se repiten y cuantos datos se repiten.

- Transformación discreta wavelet (TDW)

Se emplea en el formato ECW patentado por la casa comercial ERViewer.

Este algoritmo representa la imagen según el concepto de multirresolución (ver figura 26).

Descompone la imagen original de manera iterativa generando series de imágenes (2x2 sus imágenes) con la mitad de resolución en cada nivel.

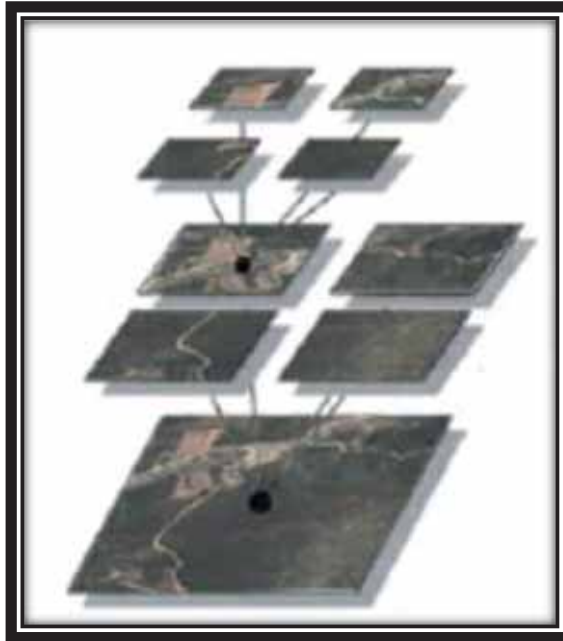


Figura 26. Compresión TDW (Fuente: Quiróz E, 2014)

El nivel de descomposición de la imagen la indica el usuario y se codificará el nivel máximo, que tendrá un código más reducido que el de la imagen original.

El algoritmo podrá reproducir la imagen original al descomprimirla, solo hasta un cierto nivel de descomposición de la imagen. De este modo, es un algoritmo sin pérdidas hasta una ratio de compresión de 2:1 o 3:1, para compresiones mayores, sí que tendría pérdidas.

Pirámide de imágenes

Una pirámide de imágenes es una herramienta que utilizan la gran mayoría de las restituidoras digitales, que ahorra en gran medida el proceso de cálculo en muchas de sus fases.

La pirámide de imágenes no es una técnica de compresión, pero sí que es un método de reducción de los procesos de cálculo y, por consiguiente, del volumen de información con la que los restituidores trabajan.

La pirámide se basa en la multiresolución. La base de la pirámide será la imagen a resolución original y posteriormente se van almacenando en memoria imágenes a resoluciones más bajas consecutivamente.

Los procesos de búsqueda en una imagen piramidal, tal y como se muestra en la figura 27, se realizan desde las resoluciones más bajas hasta las más altas. Sin necesidad de explorar la totalidad de la imagen.

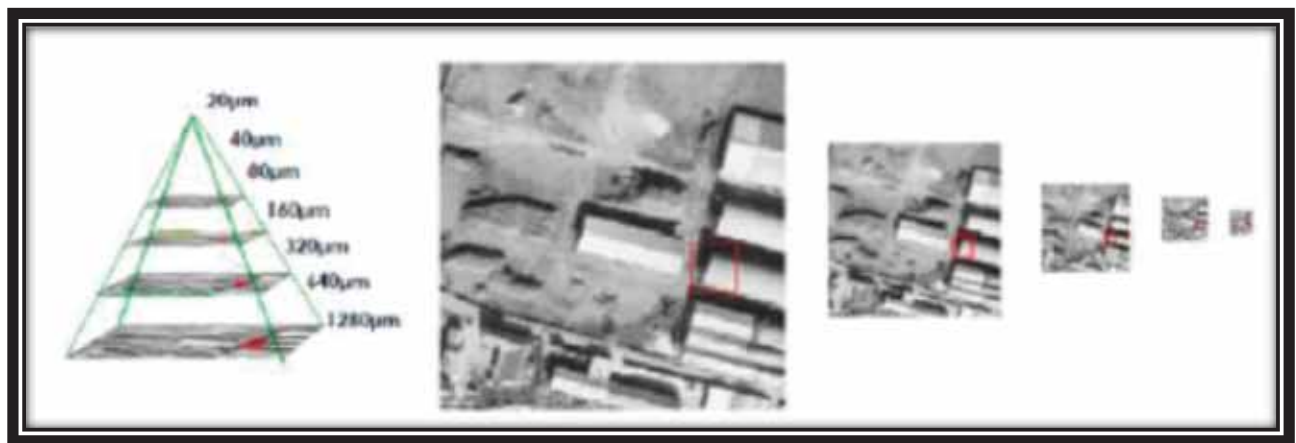


Figura 27. Búsqueda progresiva en una pirámide de imagen (Fuente; Quiróz E, 2014)

Formatos gráficos de las imágenes

Se define formato como el método estandarizado para la organización y almacenamiento de los datos de la imagen.

No todos los formatos estándar de imágenes se utilizan en fotogrametría, y al contrario, algunos formatos fotogramétricos no se utilizan en otros campos.

Los formatos más utilizados en fotogrametría son:

TIFF: comprimido o sin comprimir es el formato más implantado en fotogrametría.

ECW: con ratio de compresión pequeño, se utiliza sobre todo en la generación de ortofoto.

2.3.7 APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA

En términos generales existen seis grandes grupos de actuaciones en ingeniería, donde se utilizan la fotogrametría:

- a. Vías de comunicación. Para el estudio de establecimiento de trazados.
- b. Planificación territorial. En el planeamiento urbanístico y ordenación del territorio.
- c. Hidrografía. Estudio de cuencas, deformaciones de presas, etc.
- d. Ejecución de movimiento de tierras. Medición de volúmenes removidos.
- e. Medicina. Odontología, medicina forense, etc.
- f. Minería. Prospección, exploración, explotación, beneficio.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO DE LA FOTOGRAMETRÍA

En el ítem 2.2. Marco contextual del Capítulo II, Marco teórico, se ha consignado mayores detalles del ámbito de estudio mencionando, el lugar donde se realizó la presente tesis y la institución a la que pertenece.

3.2 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA

Por su profundidad es una investigación tecnológica, el cual demuestra su aplicación práctica de ciertas técnicas de la fotogrametría de objeto cercano, aplicado a infraestructura mina, dentro de la unidad minera Las Bambas; por el nivel de investigación es descriptiva.

3.3 ADQUISICIÓN DE DATOS

Un sistema de adquisición de datos en fotogrametría de objeto cercano consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para la generación de datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otro dispositivo electrónico (sistema digital).

3.3.1 VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV/RPA)

UAV (Unmanned Aerial Vehicles) son las iniciales del inglés que significa vehículo aéreo no tripulado, y RPA (Remotely Piloted Aircraft) aeronave controlada de forma remota. Estos dos términos se usan indistintamente para definir un vehículo aéreo no tripulado, al agregarle la palabra

sistema se refiere a la aeronave más el sistema de control de tierra, por ejemplo, RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) sistema aéreo tripulado de forma remota.

UAV suelen ser denominaciones para aparatos militares, y RPA para uso civil, pero por desconocimiento o costumbre se extendió el uso de las iniciales UAV para denominar a los vehículos aéreos no tripulados de uso civil.

3.3.2 BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LOS UAV:

Los Vehículos Aéreos no tripulados (UAV) no son algo que se haya descubierto en las últimas décadas, ya que desde el siglo XIX se utilizaban con fines militares vehículos de este tipo. Por ejemplo, el 22 de agosto de 1849 se utilizó un UAV consistente en un globo no tripulado para enviar 2 bombas desde Austria a Venecia.

Posteriormente llegaron los misiles crucero, controlados por un sistema de giroscopios durante la Primera Guerra Mundial y aviones radios controlados utilizados para entrenar a los tiradores británicos antiaéreos durante la Segunda Guerra Mundial. En las guerras de Corea y Vietnam, el ejército de los Estados Unidos encontró en los UAVs una forma de desviar los ataques enemigos de sus bombarderos y cazas tripulados y se desarrollaron también los primeros UAVs de reconocimiento. (Ver figura 25) podemos ver algunas imágenes de vehículos UAV:



Figura 28. Derecha tipo a, medio UAV comercial, Derecha UAV militar (Fuente;Mora R, 2010)

En el campo del uso civil es donde los UAV están despuntando en estos momentos, y es donde se encuadrar nuestro proyecto. No es un elemento tan extendido como la fotogrametría aérea pero se espera que dentro de poco tenga gran aceptación por el público. (Mora R, 2010, págs. 6-8)

3.3.3 CONCEPTO

UAS/RPA es una aeronave sin tripulación a bordo, con unas características técnicas excepcionales para realizar vuelos, controlada remotamente por un piloto mediante un sistema de control. Estos tienen dos segmentos claramente definidos:

- _ Segmento de Vuelo: Formado por el Vehículo Aéreo.
- _ Segmento de Tierra: Formado por la Estación de Control (está en tierra y, recibe la información enviada por los drones y a su vez les dan órdenes) (Díaz J, 2015, págs. 10-15)

3.3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS UAV:

Las aeronaves se pueden clasificar según diferentes criterios, es frecuente utilizar una clasificación ateniendo a la forma en la que las aeronaves consiguen su sustentación en la atmosfera.

3.3.4.1 ALA ROTATORIA O MULTIROTORES:

Los aparatos con ala rotatoria son aquellos en los cuales, las fuerzas de sustentación se logran mediante el giro de las hélices en el aire, siendo estos aparatos también conocidos como multirrotores, pueden tener cuatro (cuadricópteros), seis (hexacópteros) u ocho rotores (octocópteros) las características más importantes de estos son:

- _ Despegue y aterrizaje vertical, reduciendo las necesidades de espacio para las maniobras de aterrizaje y despegue.

- _ Posibilidad de volar a puntos fijos Vuelo estacionario, muy útil para aplicaciones de inspección.

- _ Mayor maniobrabilidad y precisión de vuelo, ya que los sistemas de ala fija siguen trayectorias curvilíneas, con radios de giro relativamente grandes y velocidades de ascenso y descenso bastantes estrictas, sin embargo, los multirrotores pueden volar siguiendo cualquier trayectoria en las tres dimensiones.



Figura 29. RPA de ala rotatoria con cuatro hélices (Fuente; empresa GEOTOPCAR)

3.3.4.2 APARATOS CON ALA FIJA:

Los aparatos de ala fija, son los considerados como aviones, y sus principales características son:

- _ Son más eficientes que los multirrotores, ya que, a igualdad de tamaño, tienen mayor autonomía.
- _ Vuelan a mayor velocidad, por lo que al tener además mayor autonomía recubren más superficie, siendo más útiles en tareas de cartografía o teledetección.
- _ Tienen menor huella sonora, siendo más indicados para operaciones de vigilancia.
- _ Tienen mayor rango meteorológico, en términos de temperatura, viento y lluvia.



Figura 30. RPA de ala fija (Fuente; empresa GEOTOPCAR)

3.3.5 DISEÑO O PLAN DE VUELO

La planificación de un proyecto fotogramétrico incluye la descripción de la tarea de medición, el concepto para una solución y la presentación de resultados. Debe llevarse a cabo en estrecha colaboración con el cliente para garantizar que los requisitos se entiendan claramente.

La planificación de la configuración de imágenes es un aspecto del plan de proyecto completo que debe incluir, además de los problemas de metrología, aspectos económicos como el personal y la gestión del tiempo, el uso de instrumentos, la gestión de costes, etc.

El plan inicial del proyecto debe especificar las siguientes características de la tarea de medición:

3.3.6 DATOS DE LA CÁMARA

El método más eficiente de obtener datos internos de la cámara es viendo las propiedades de la imagen tomada por esta, mediante la pre calibración de la misma usando cualquier software fotogramétrico, estos valores son constantes para los cálculos posteriores de altura de vuelo y GSD, etc.

Para el presente proyecto, estas son las características internas de nuestra cámara, para obtener estos datos usamos el ContextCapture que es un software fotogramétrico de Bentley figura 31.

DJI FC6310 8.8mm 5472x3648
 Nombre: DJI FC6310
 Tamaño de imagen: 5472x3648
 Tamaño de sensor: 13.2mm
 DJI FC6310 8.8mm 5472x3648
 Nombre: DJI FC6310
 Tamaño de imagen: 5472x3648
 Tamaño de sensor: 13.2mm

	Focal Length	Focal Length Equivalent 35 mm	Principal Point X [pixels]	Principal Point Y [pixels]	K1	K2	K3	P1	P2
	[mm]	[mm]							
Previous Values	8.80	24.00	2735.33	1828.24	0.0024	-0.0066	0.0066	0	0
Optimized Values	8.80	24.00	2736.85	1830.15	0.0023	-0.0068	0.0071	0.0006	0
Difference Previous / Optimized	0.00	0.00	1.52	1.91	-0.0001	-0.0002	0.0005	0.0006	0

Figura 31. Datos de pre calibración software ContextCapture (Fuente; elaboración propia)

Se pueden obtener estos mismos datos con el programa Photoscan de la empresa Argisoft.

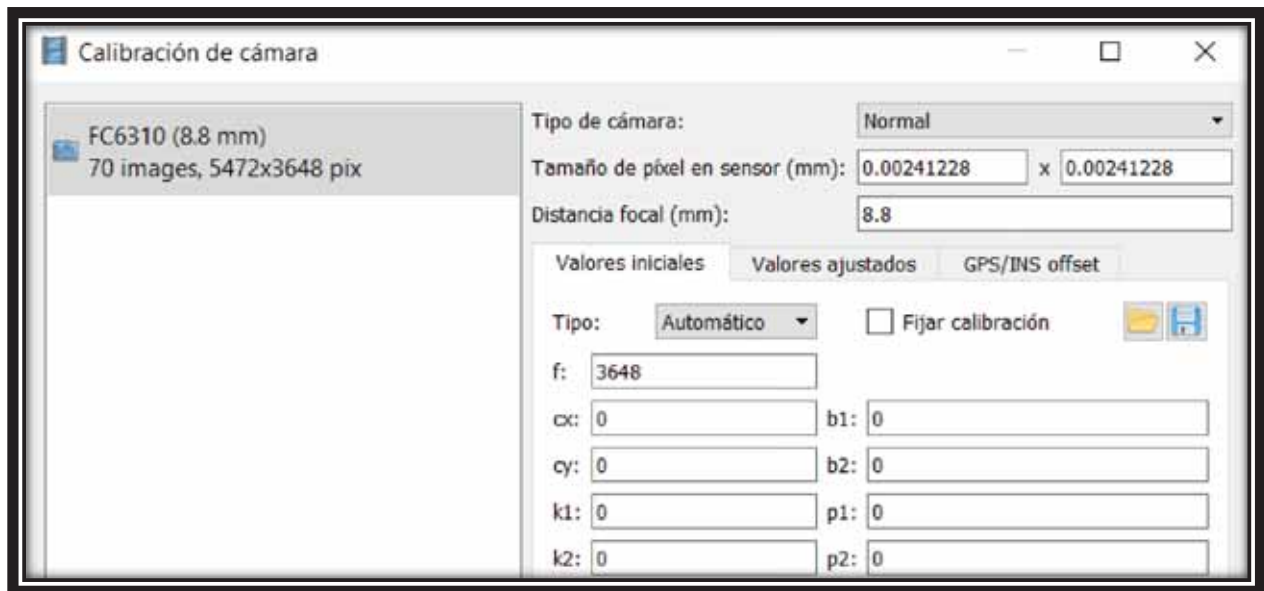


Figura 32. Datos de pre calibración software Photoscan (Fuente; elaboración propia)

También se puede saber todos estos datos viendo las características técnicas del equipo RPA, específicamente de la cámara en el manual de instrucciones, cabe destacar que para el proceso fotogramétrico todo el resultado final parte de las especificaciones técnicas de una cámara digital, específicamente de la distancia focal de la lente y el tamaño de sensor de la misma.

A continuación veremos que significa y para qué sirve cada uno de estos datos que se muestran en las figuras 31 y 32.

3.3.6.1 DISTANCIA FOCAL (f)

La distancia focal es la distancia expresada en milímetros desde el plano focal, donde se proyecta la imagen y en el cual se encuentra el negativo, hasta el foco del objetivo. Es un elemento determinante en la toma de fotografías. Su elección estará supeditada a la altura de vuelo y a la escala de las fotografías a obtener. Según los datos de la cámara usada en el presente proyecto se tiene una distancia focal de 8.8mm y su representación se muestra en la figura 33.

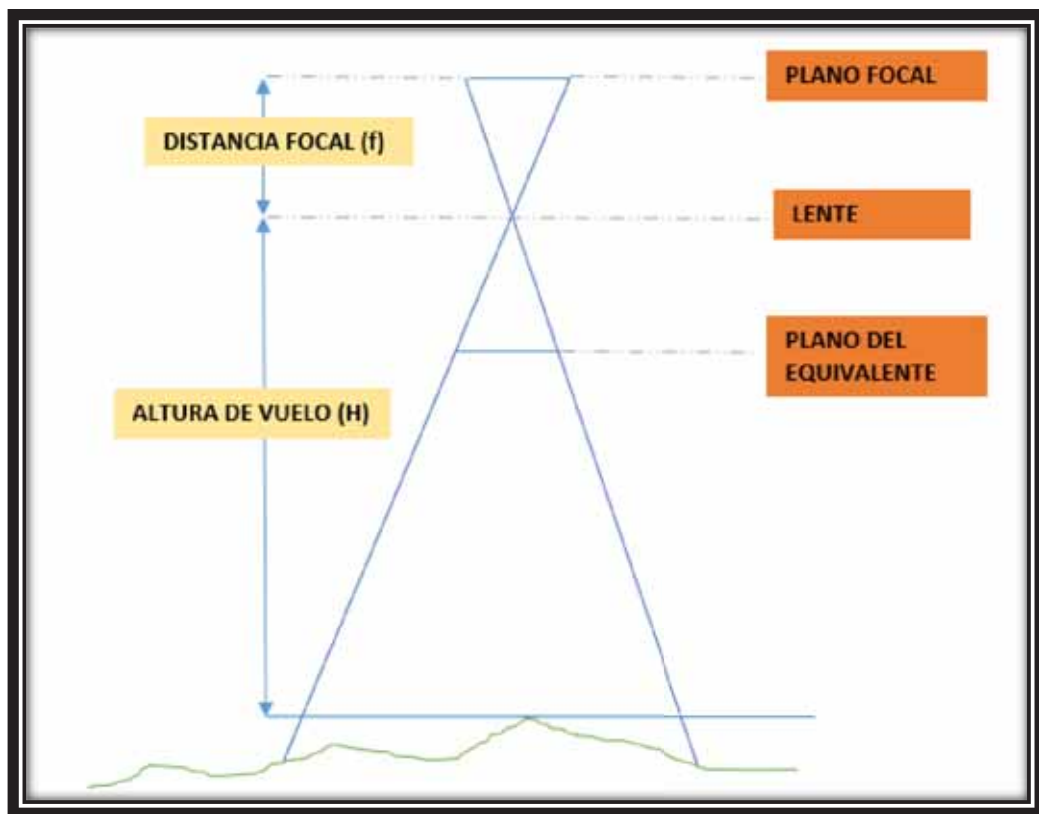


Figura 33. Elementos de una toma fotográfica (Fuente; elaboración propia)

3.3.6.2 EL SENSOR

El sensor es uno de los componentes más importantes de la cámara. Su función es transformar la imagen óptica creada por el objetivo en una serie de señales eléctricas que darán lugar a la imagen digital (ver figura 34).

El tamaño y la resolución del sensor van a determinar la calidad de imagen y la capacidad de ampliación de las fotografías que obtengamos con la cámara.

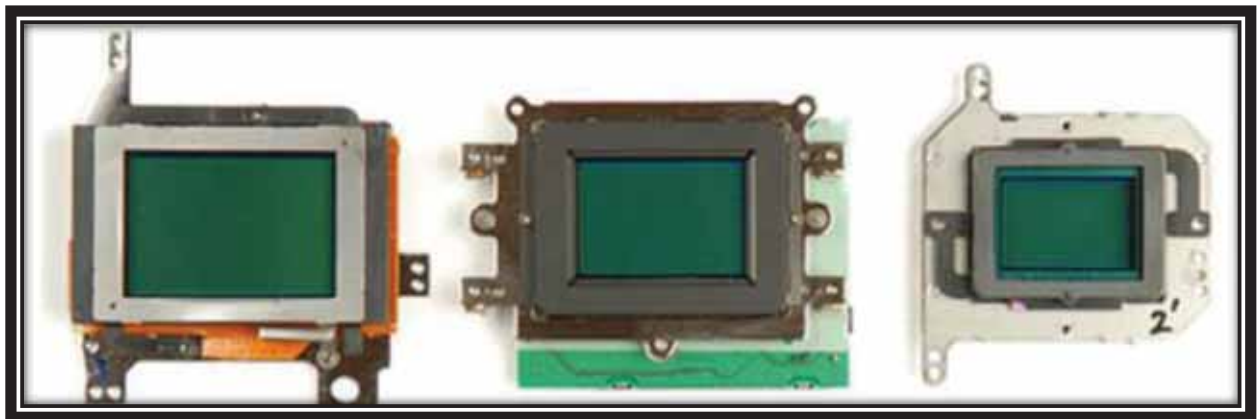


Figura 34. Izquierda Full Frame, Medio ASP-H, derecha ASP-C

A.-PROPORCIONES DEL SENSOR

Las proporciones del sensor nos indican la relación que hay entre su anchura y su altura. Como es lógico, las proporciones del sensor determinan las proporciones de las fotografías.

La mayoría de los sensores tienen uno de estos dos formatos:

3:2. Son las proporciones que tienen los sensores de la mayoría de las cámaras réflex. Se corresponden con el formato que tiene el fotograma del negativo de 35mm. Estas proporciones tienen la cámara del Phantom 4 pro utilizada en el presente proyecto.

4:3. Son las proporciones que utilizan la mayoría de las cámaras compactas y las de medio formato.

B.-TAMAÑO DEL SENSOR (Ls)

Hablamos del tamaño del sensor para referirnos a sus dimensiones físicas, es decir, a su superficie. Frente a unos pocos tamaños estandarizados que existían en el negativo tradicional el más popular era el negativo de 35mm que usaban tanto las cámaras réflex como las compactas, con la llegada de la fotografía digital el tamaño del sensor se ha diversificado.

No existe una forma normalizada de indicar las dimensiones del sensor, por lo que se utilizan diferentes expresiones en función del tipo de cámara. Por lo general se da como valor del tamaño del sensor el largo del mismo, por ejemplo 13.2mm para el presente proyecto. Para calcular el ancho usamos la proporción 3:2 entonces dividiendo 13.2mm entre 3 dando nos da como resultado 4.3999999999999995 luego multiplico este valor por 2 teniendo el ancho del sensor 8.79mm, este valor no debemos confundir con la distancia focal.

C.-TAMAÑO DE IMAGEN (L)

Una imagen digital es el resultado de una matriz de píxeles que se reparten en filas y columnas, la suma de todos los píxeles repartidos en las filas y columnas es su tamaño en píxeles.

Por ejemplo, si tomamos una fotografía digital y nuestro computador nos indica que su tamaño es de 5472x3648, significa que está compuesta por 5472 columnas y 3648 filas de píxeles. O lo que es lo mismo, que su tamaño es de $5472 \times 3648 = 19961856$ píxeles (ver figura 35).

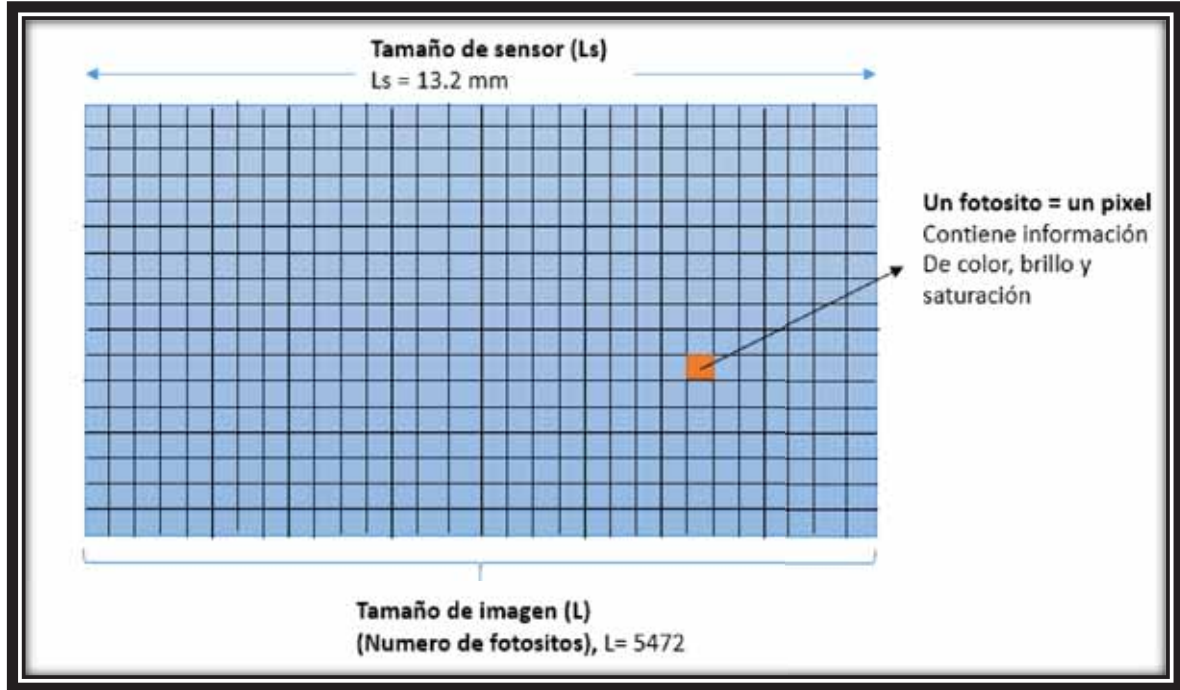


Figura 35. Tamaño de sensor y número de fotositos que contiene el sensor (Fuente; elaboración propia)

D.-RESOLUCIÓN DEL SENSOR (Rs)

La resolución del sensor nos indica cuál va a ser el tamaño de las imágenes que obtendremos con nuestra cámara. Se expresa en megapíxeles (un megapíxel equivale a un millón de píxeles).

La resolución está determinada por el número de fotositos del sensor cada pixel de la imagen final se corresponde con un fotosito. Habitualmente hay una pequeña diferencia entre el número de píxeles reales del sensor y el número de píxeles efectivos de las imágenes. Esto es debido a que en los bordes del sensor hay celdas que se utilizan únicamente para que la rutina de mosaico pueda calcular el color de los píxeles situados en el borde de la imagen.

$$Rs = 5472pix \times 3648pix = 19961856pix^2 \times \frac{1Megapixel}{1000^2 pix^2} \quad Rs = 19.96 Megapixel$$

3.4 ESCALA DE IMAGEN, ALTURA DE VUELO Y GSD

3.4.1 GROUND SAMPLE DISTANCE (GSD)

La metodología usada para alcanzar el objetivo específico n° 1 es haciendo el cálculo del valor GSD, definiendo las Alturas de vuelo y verificando el correcto traslape longitudinal y transversal que se verá en los ítems a, b y c.

Definición: El GSD (Ground Sampling Distance) es la distancia entre dos centros de píxeles consecutivos medidos en el suelo. Cuanto mayor sea el valor de GSD de la imagen, menor será la resolución espacial de la imagen y los detalles menos visibles. Fuente: <https://support.pix4d.com>.

Del tema, resolución del sensor sabemos que, la resolución, es directamente proporcional al número de píxeles que posee cada fotografía. Por ejemplo, si la cámara es de 20 mega píxeles, quiere decir que tiene 20 millones de píxeles por cada imagen. Si el valor GSD es de 2 cm/pix, quiere decir que cada píxel de esta imagen representa 2 centímetros del terreno a medir, para entender mejor el tema planteamos el siguiente ejemplo donde se muestra el cálculo de GSD.

Ejemplo: Teniendo un tamaño de sensor de 13.2mm con un tamaño de imagen de 5472pix, esta cámara tiene una focal de 8.8mm deseando volar a 80m de altura ¿Calcular el GSD y precisión espacial en los vértices del modelo 3d?

Datos:

$$L_s = 13.2mm$$

$$H = 80m$$

$$f = 8.8mm = 0.0088m$$

$$L = 5472 px$$

Solución:

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{H} = \frac{Ls}{L * GSD}$$

Donde:

E: Escala

f: Distancia focal (m)

H: Altura (m)

- **calculamos el tamaño de pixel**

$$\text{Si } Ls = 13.2\text{mm} \text{ -----} > L = 5472 \text{ pixel}$$

$$x \text{ -----} > 1 \text{ pixel}$$

$$\frac{Ls}{L} = \frac{13.2 \text{ mm}}{5472 \text{ pix}}$$

$\frac{Ls}{L} = 0.00241228 \frac{\text{mm}}{\text{pix}}$, que son las dimensiones de un fotosito, este es un valor constante

- **Calculamos el GSD (cm/pix)**

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{H} = \frac{Ls}{L * GSD}$$

$$GSD = \left(\frac{Ls}{L}\right) * \frac{H}{f}$$

$$GSD = \left(\frac{13.2}{5472}\right) * \frac{80}{8.8} = 0.0002741 * 80$$

$$GSD = 0.0219298 \frac{\text{m}}{\text{pix}} \quad GSD = 2 \frac{\text{cm}}{\text{pix}}$$

La precisión espacial en los vértices del modelo será:

$$P = 3 * 0.0219298$$

$$P = 0.0657895$$

Que escala de imagen obtendríamos si deseamos un GSD de $5 \frac{cm}{pix}$ con la misma cámara.

$$\frac{1}{E} = \frac{Ls}{L * GSD}$$

$$E = \frac{L * GSD}{Ls}$$

$$E = \frac{1}{0.00241228} * 50$$

$$E = \frac{50}{0.00241228}$$

$$E = 20727.3$$

$$\text{Para } GSD = 21.9298 \text{ mm/pix } E = \frac{21.9298}{0.00241228}$$

$$E = 9090.901$$

Entonces tendríamos que volar a:

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{H} = \frac{Ls}{L * GSD}$$

$$\frac{f}{H} = \frac{Ls}{L * GSD}$$

$$H = \frac{L * GSD * f}{Ls}$$

$$H = E * f = 2072.73 * 0.0088$$

$$H = 182.4m$$

$$H = 9090.901 * 0.0088$$

$$H = 79.99 m$$

3.4.2 ESCALA DE IMAGEN

La escala de la imagen está influenciada por la distancia del objeto, la distancia focal de la lente (distancia principal) y el formato de imagen utilizable (ver Figura 30). Un formato de imagen más grande permite distancias de objeto más cortas para la misma área de objeto de imagen. No solo conduce a una mayor escala (y mayor precisión) sino también a un menor número de imágenes (beneficios económicos en el procesamiento y almacenamiento de datos reducidos). Debe recordarse que para estructuras de objetos complejos e imágenes altamente convergentes, la escala

de la imagen puede variar significativamente dentro de una imagen o de una imagen a otra y que esta situación se verá agravada por distancias cortas entre la cámara y el objeto. (Luhmann T, 2011, pág. 441).

Una propiedad fundamental de la fotogrametría es la escala de la imagen que viene a ser la relación entre la distancia focal y la altura de vuelo expresada mediante la siguiente expresión.

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{H}$$

Donde:

E: Escala

f: Distancia focal (m)

H: Altura de vuelo (m)

Por lo general la escala es una variable preliminar que depende de la precisión requerida en un vuelo fotogramétrico y la variable a calcular es la altura de vuelo que también depende de la distancia focal de la cámara.

Ejemplo: Teniendo una cámara con una distancia focal de 8.8mm necesitamos calcular la altura de vuelo para obtener una escala de 1/10,000.

Solución:

$$E = 10000m$$

$$f = 0.0088m$$

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{H}$$

$$H = E * f$$

$$H = 10000 * 0.0088$$

$$H = 88m$$

3.4.3 ESPACIAMIENTO ENTRE LÍNEAS DE VUELO

Para saber el traslape longitudinal y transversal necesaria para formar pares fotogramétricos, primero calculamos la huella que deja la imagen sobre el terreno, haciendo uso del tamaño de imagen y GSD (ver figura 36).

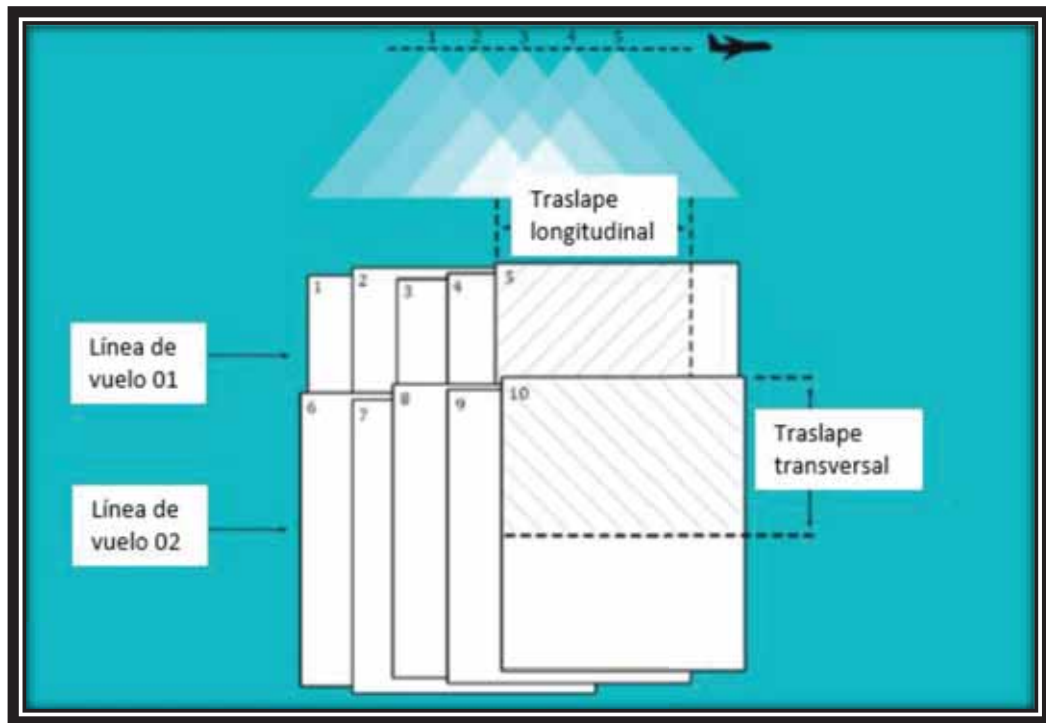


Figura 36. Espaciamiento entre líneas de vuelo (Fuente; manual de usuario ContextCapture)

Ejemplo: Teniendo una cámara con tamaño de imagen de 5472x3648 con una distancia de muestreo en tierra o GSD de 2 cm/pix ¿Calcular el traslape longitudinal y transversal entre las imágenes?

-Calculamos la huella que forma cada imagen en el terreno.

$$m = L * GSD$$

Donde:

$L =$ Tamaño de imagen

$GSD =$ Ground sample distance

$$m = 5472pix * 0.02 \frac{m}{pix}$$

$$m = 109.44m$$

$$n = L * GSD$$

$$n = 3648pix * 0.02 \frac{m}{pix}$$

$$n = 72.96m$$

-Traslado longitudinal 75% (con respecto a la dirección de vuelo)

$$Dl = m(1 - \%)$$

$$Dl = 109.44(1 - 0.75)$$

$$Dl = 27.36 m$$

-Traslado transversal 60% (Entre las pistas de vuelo)

$$Dt = n(1 - \%)$$

$$Dt = 72.96(1 - 0.60)$$

$$Dt = 29.18 m$$

Otro método de cálculo es utilizando la escala y el tamaño de sensor, esta forma de cálculo es la que se ve mucho en la bibliografía.

Ejemplo: Teniendo una escala de 9090 y un tamaño de sensor de 13.2mm ¿Calcular la huella de la imagen en el terreno, así como el traslape entre imágenes en una misma línea de vuelo?

$$\frac{1}{E} = \frac{Ls}{m}$$

Determinación del ancho y alto de la huella en el terreno

El ancho de la imagen en el terreno viene dado por:

$$m = E * Ls$$

$$m = 9090.901 * \frac{13.2}{1000}$$

$$m = 119.999$$

El alto de la imagen en el terreno viene dado por:

$$n = E * La$$

$$n = 9090.901 * \frac{8.79}{1000}$$

$$n = 79.909$$

En fotogrametría aérea RPAs la longitud de traslape longitudinal y transversal es la siguiente:

-Traslape longitudinal 75% (con respecto a la dirección de vuelo)

-Traslape transversal 60% (Entre las pistas de vuelo)

Determinación de la separación entre líneas de vuelo y base en el aire

La distancia entre dos imágenes consecutivas en la misma línea de vuelo viene dada por:

$$DL = m * 25\%$$

$$DL = 119.999 * \frac{25}{100}$$

$$DL = 29.99m$$

La distancia entre imágenes entre dos líneas de vuelo viene dada por:

$$DT = n * 40\%$$

$$DT = 79.909 * 40/100$$

$$DT = 31.96m$$

Las líneas de vuelo 3D del planeamiento de vuelo se muestra en la figura 37.



Figura 37. Planeamiento de vuelo, líneas de vuelo en 3D (Fuente; elaboración propia)

3.5 PUNTOS DE APOYO TERRESTRE O GROUND CONTROL POINT (GCP)

La metodología para alcanzar el objetivo específico n° 2 se estudia en este apartado. Los puntos de apoyo son puntos del terreno claramente identificados en la fotografía, de los que se conocen sus coordenadas, estos puntos de apoyo son necesarias para obtener la orientación absoluta del modelo y tienen que estar distribuidos de forma regular.

La metodología para la toma de los puntos de apoyo es saber el área que cubrirá el vuelo, así calculamos el número de puntos de apoyo necesarios para dicha área, estos puntos de apoyo se usan siempre y cuando nuestro dron no cuente con RTK incorporado el cual solo requiere un punto de apoyo para comprobación.

3.5.1 RED BASE

La estación base GPS tiene un ajuste local cuyos parámetros de proyección son:

Tipo: UTM (Mercator transversal universal)

Zona: 18

Hemisferio: Sur

Semieje mayor: 6378137.00m

Achatamiento: 298.2572235630

La estación base GPS mina se denomina: APU6015 que se encuentra en la parte más alta de la mina, cuyas coordenadas no se publicara en la presente tesis, porque no la consideramos indispensable realizarlo.

3.5.2 PUNTOS DE APOYO GCP

El número de puntos de apoyo, lo calculamos con una fórmula empírica que fue desarrollada específicamente para la presente tesis y su distribución se muestra en la figura 38.

$$Npa = \frac{S}{e^2} + \frac{P}{2e}, \text{ Si no contamos con el perímetro podemos aproximar el mismo } P \cong 4 * \sqrt{S}$$

Donde:

Npa = Numero de puntos de apoyo

S = Superficie o area a volar

P = Perimetro

e = Espaciamiento maximo entre puntos de apoyo

–Para obtener alta presicion vertical se usa como minimo e = 120m o 160 como maximo

–Para obtener presicion mimima horizontal se usa como minimo e = 300m o 4 GCP como mimimo

$$Npa = \frac{97499}{200^2} + \frac{1315}{2 * 200}$$

$$Npa = 5.72$$

$$Npa = 6 \text{ Puntos}$$

Un cálculo aproximado y eficiente es poner 0.6 puntos por hectárea y usar siempre 4 puntos cuando el área a medir sean menores a 10 hectáreas.

Así las coordenadas del GCP se midieron utilizando un GPS diferencial Trimble R6, en el modo cinemático en tiempo real (RTK), cuyos datos proporcionados por topografía de campo son:

CODIGO	ESTE	NORTE	COTA
geo1	792861.298	8440319.92	3915.359
geo2	792744.716	8440359.04	3923.543
placa6	792721.04	8440444.51	3960.156
placa9	792695.264	8440273.32	3872.853
placa10	792824.142	8440234.75	3871.212
placa7	792835.915	8440464.56	3957.761

Tabla 1. Puntos de apoyo GCP terrestre (Fuente, elaboración propia)



Figura 38. Ubicación de puntos de apoyo en google Earth (Fuente; elaboración propia).

3.6 EL VUELO FOTOGRAMÉTRICO

Teniendo los datos del plan de vuelo, se procede a cargar el diseño de vuelo al segmento tierra que está constituido por una Tablet o un celular con sistemas operativos iOS, android o Windows, este segmento tierra cuenta con un software como Litchi, Map Pilot, DH Plus u otros similares que están provistos de aplicaciones para desarrollar planes de vuelo de forma automática simplemente conociendo el área a volar o se pueden cargar archivos al aplicativo como superficies o líneas de vuelo en formatos kml, tif, asc y otros formatos.

Con el plan de vuelo en la aplicación se despegan la aeronave, este hace el recorrido establecido tomando fotografías, a continuación se muestra los parámetros usados en un plan de vuelo cuyos datos fueron utilizados en el desarrollo de la presente tesis:

- Área a volar: 9.7 ha.
- Número de imágenes: 72
- Tiempo de vuelo: 5min
- Traslape longitudinal: 75%
- Traslape lateral: 60%
- Dirección de toma fotográfica: 90°
- Velocidad de vuelo: 12 km/hr. o 3.3 m/s.

Se consideran 70 imágenes del vuelo en estudio para su posterior procesamiento.

3.7 PROCESAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

Una vez que tenemos las fotografías tomadas con el RPAs, lo que hemos de hacer, es procesar las imágenes para obtener los MDT y las ortofoto, realizando antes pasos que se indican a continuación.

3.7.1 CONFIGURACIÓN INICIAL

Dependiendo del software a utilizar se requieren realizar configuraciones previas como el sistema de coordenadas, su proyección en la zona de trabajo y el modelo de geoide a utilizar.

3.7.2 CARGAR LAS IMÁGENES

Toma como entrada un conjunto de fotografías digitales tomadas desde diferentes puntos de vista, paso previo se deberá filtrar las imágenes porque están borrosas, no corresponden a su altura, u otros factores a tener en cuenta. También se puede importar fotogramas desde archivos de video y formatos de archivo de nube de puntos.

3.7.3 ENLAZAR PUNTOS DE APOYO O CONTROL

Importar los puntos de apoyo GCP que se muestran en la tabla 1, posterior a ello se enlaza los puntos de apoyo con las imágenes que contienen las marcas que se pusieron en tierra. Por lo general se selecciona la imagen que contiene la marca, se ubica el centro de la marca y damos un clic al mismo.

3.7.4 AEROTRIANGULACIÓN ORIENTACIÓN INTERNA Y EXTERNA

Este proceso es automático, el software de procesamiento fotogramétrico aplica algoritmos bien optimizados para este propósito.

3.7.5 PRODUCTOS OBTENIDOS DEL PROCESAMIENTO

FOTOGRAMETRICO

Los productos obtenidos posteriores al procesamiento fotogramétrico se describen a continuación.

3.7.5.1 ORTOFOTO.

Es una imagen orto rectificadas que por lo general el resultado se obtiene en formato TIF,

esta imagen para ser manejable se convierte a formato ECW (ver figura 39).



Figura 39. Ortofoto acceso 3960 mina las bambas (Fuente; elaboración propia)

Las aplicaciones prácticas de una ortofoto son múltiples entre las más usadas en el Proyecto Minero las Bambas se tiene:

- Generación de planimetría de infraestructura existente en el área de estudio.
- Uso de imagen para fondo de planos.
- Medición de distancias horizontales entre dos puntos.
- Texturizar modelos digitales de superficies y generar una superficie realista.

(Ver figura 40 y 41)



Figura 40. Planimetria e imagen de fondo en plano, diseño acceso 3960 (Fuente, elaboracion propia)

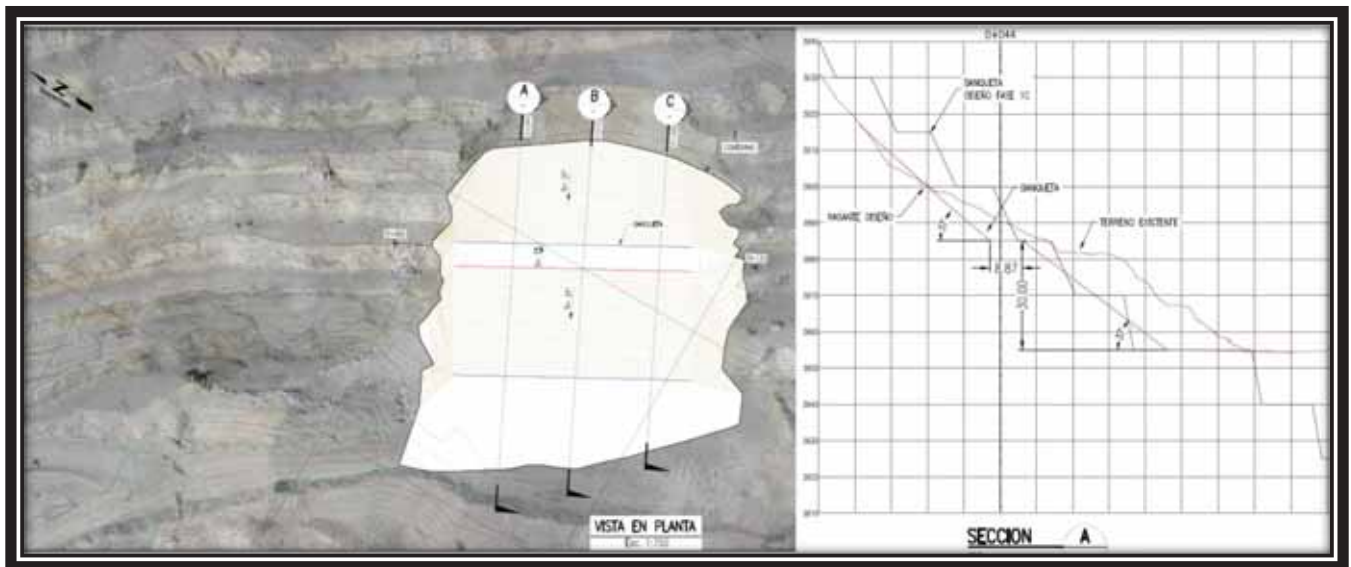


Figura 41. Planta sección para remediación por deslizamiento de banquetas, tajo Ferrobamba (Fuente, elaboración propia.)

3.7.5.2 DSM (DIGITAL SURFACE MODEL).

Digital Surface Model, modelo digital de superficie, es la superficie topográfica incluidos estructuras existentes, también está en formato TIF (ver figura 40).

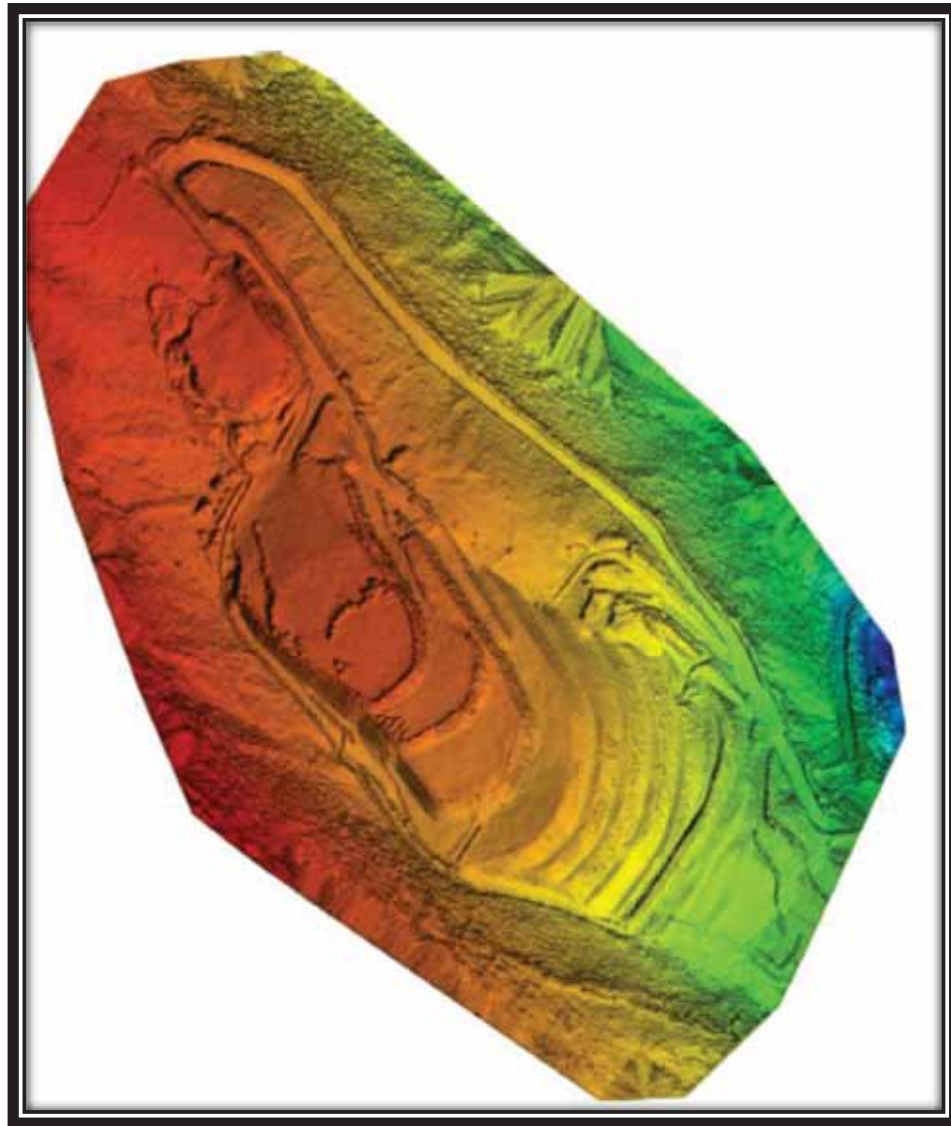


Figura 42. Modelo digital de superficie DSM Botadero (Fuente, elaboración propia)

3.7.5.3 MODELO 3D.

Es un modelo tridimensional dentro del cual se pueden hacer mediciones de distancia, área y volúmenes como se pueden apreciar en las figuras 43 y 44.



Figura 43. Modelo 3d con extensión .3mx con detalle en poza (Fuente; elaboración propia).



Figura 44. Modelo 3d en Acute3D Viewer haciendo algunas mediciones (Fuente; elaboración propia).

3.7.5.4 SUPERFICIE TOPOGRAFICA.

La superficie TIN está compuesto por triángulos irregulares, esta se puede obtener de varias formas en función a sus necesidades por ejemplo obtendríamos de un modelo 3d que este formato .3mx de un DSM que está en formato TIF o de una nube de puntos densa. (Ver figura 45 y 46).

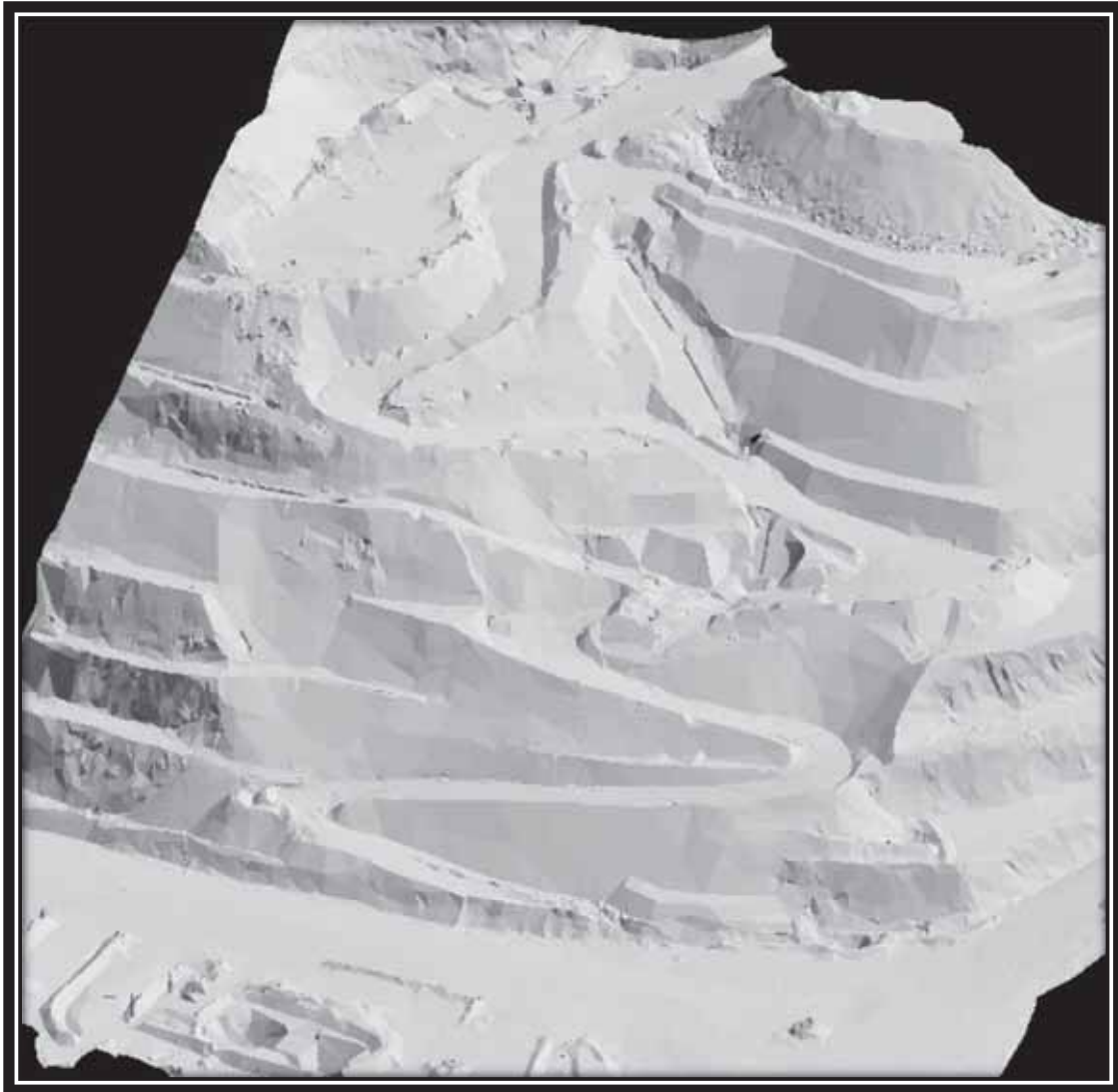


Figura 45. Malla TIN del área de estudio acceso 3960 en proceso constructivo (Fuente; elaboración propia)

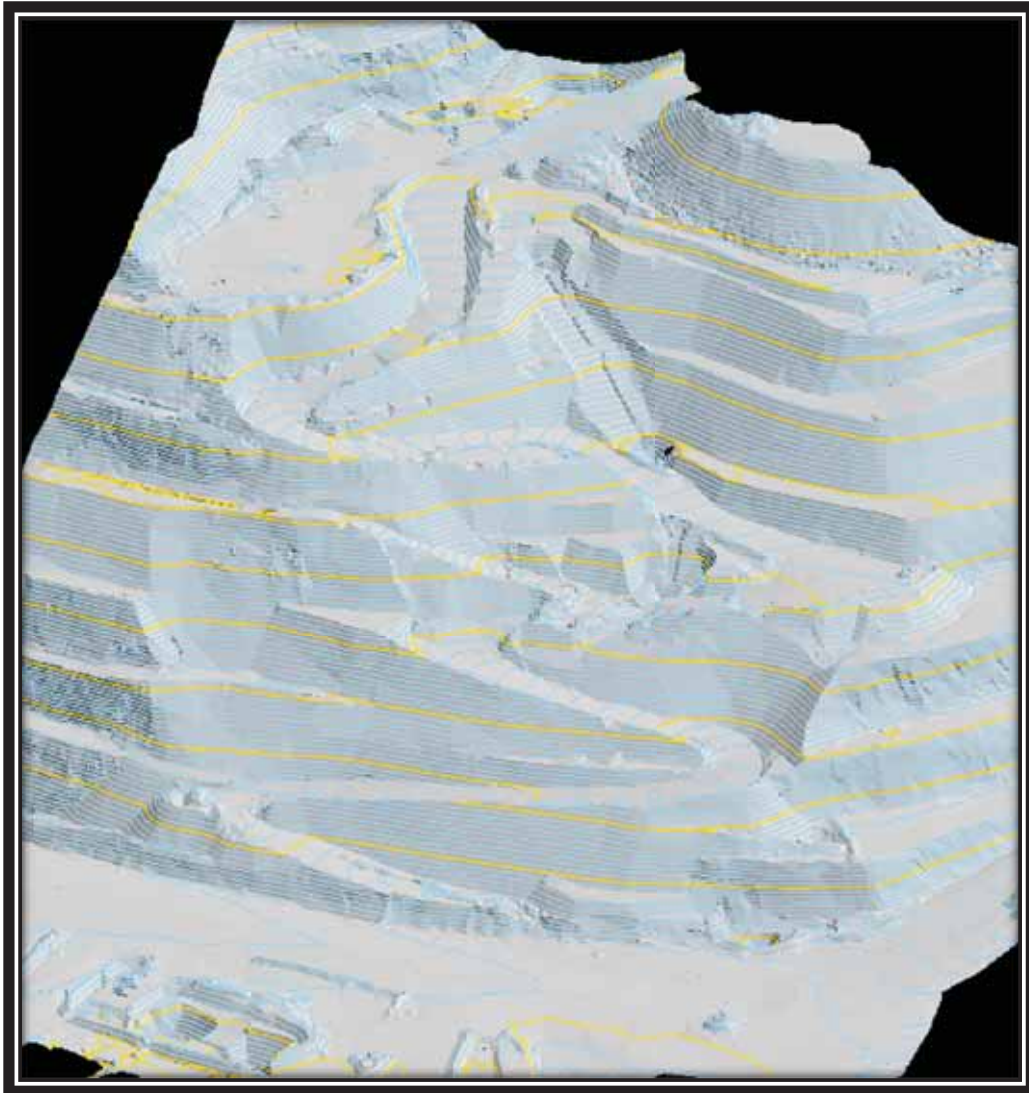


Figura 46. Superficie en curvas de nivel a 1 m acceso 3960 (Fuente; elaboración propia)

3.7.6 ANÁLISIS DEL RESULTADOS FOTOGRAMETRICO

3.4.7.1 CONTROL DE CALIDAD POSICIONAL DEL PROCESO

FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL

Enfoques de evaluación comunes para evaluar la precisión y la calidad de los MDE globales y locales se puede dividir en dos grupos generales, como los métodos estadísticos y visuales. Aquí se explican los conceptos de cada método.

A. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Las medidas de precisión para la valoración de las diferencias de altura entre un DEM y una referencia (otro DEM o GCP individuales) se pueden realizar según lo habitual (error medio cuadrático, desviación estándar) y robusto (mediana, desviación absoluta mediana normalizada, Muestra de cuantiles) descriptores.

RMSE, o Root Mean Square Error, es la distancia entre la ubicación de entrada (fuente) de un punto de control de tierra (GCP) y la ubicación re transformada para el mismo GCP. Es una medida de ajuste, o qué tan cerca la ubicación re transformada coincide con la ubicación de salida deseada de un punto, el RMSE se puede utilizar como una medida estándar de la precisión de los datos y está dado por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h_i^2}$$

Esta medida de precisión será inexactas y poco confiables si los valores atípicos se presentan en los datos.

B. MÉTODOS VISUALES

Las diferencias de altura de un DEM a partir de una referencia es usar un histograma normalizado de los errores muestreados, donde se representa el número de errores dentro de ciertos intervalos predefinidos.

Una mejor inspección visual para verificar una desviación de la distribución normal (debido a la existencia de valores atípicos) es:

Gráfico de cuantil-quantile (Q_Q). Esta gráfica Q-Q compara una muestra de datos en el eje vertical con una población estadística en el eje horizontal. Si la distribución real es normal, la gráfica Q_Q debe mostrar una línea recta.

3.8 REGULACION AEREA EN EL PERU

En lo que respecta al marco legal vigente aplicable a la operación RPA en el Perú, existen tres de carácter nacional y dos de ellas de carácter internacional.

1. Ley de Aeronáutica Civil del Perú y su Reglamento
2. Norma Técnica Complementaria 001-2015
3. Ley 30740
4. Circular Oaci 328-AN/190
5. Documento 10019AN/507 de la OACI “Manual on Remotely Piloted Aircraft System (RPAS)

3.8.1 Ley 30740

Artículo 1. Objeto de la ley

La presente ley desarrolla el artículo 8 del convenio sobre Aviación Civil Internacional, conocido como Convenio de Chicago, y regula el uso y operaciones de las aeronaves sin piloto o aeronaves pilotadas a distancia (RPAs), con el objeto de garantizar la seguridad operacional de todos los demás usuarios del espacio aéreo, así como la seguridad de las personas y bienes en la superficie terrestre y acuático.

Haciendo un resumen de los artículos siguientes nos dice que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), es el encargado de otorgar licencias para el uso de aeronaves pilotadas a distancia. El Ministerio de Cultura puede restringir el uso de estas aeronaves en lugares que se considere Patrimonio Cultural.

Otro punto a considerar son los reglamentos internos de cada empresa respecto a estos temas, teniendo que considerar horarios de aterrizaje de helicópteros en áreas a volar, etc.

Sin embargo el Piloto al Mando tiene la última palabra de conducir el vuelo.

Viendo que haciendo levantamientos topográficos mediante fotogrametría no arriesgamos la integridad de nuestros colaboradores y le brindamos toda la seguridad que es uno del objetivo específico del presente estudio puntualmente el objetivo específico n° 5.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS OBTENIDOS

OBJETIVO ESPECIFICO 1: OBTENER MEJORES RESULTADOS EN CUANTO A PRECISIÓN HACIENDO ESTUDIOS DE VUELOS A DISTINTAS ALTURAS DE VUELO.

El presente trabajo involucro el estudio de vuelos fotogramétricos a distintas alturas y con el mismo traslape longitudinal y transversal, la variable de estudio será la altura de vuelo y su precisión. Teóricamente mediante el uso del GSD (Ground simple distance) a menor altura de vuelo se obtendría mayor precisión, el cual se demostrará con datos reales.

Para el análisis de datos y que el enfoque no este sesgado, se procesó las imágenes con tres softwares distinto ContexCapture de Bentley, Photoscan de Argisof y Pix4D, así se hizo el cálculo de los errores cometidos mediante los siguientes puntos de vista.

1. Se hizo un levantamiento topográfico aleatorio con GPS diferencial entre tres puntos de apoyo y se comparó con los DSM generados por los tres softwares fotogramétricos líderes en el mercado contra el levantamiento con GPS diferencial (ver tabla 2).

El proceso realizado es el siguiente:

- De los puntos del levantamiento topográfico mediante GPS diferencial tabla 2 se toman las

coordenadas X,Y para luego elevar dichos puntos a los DSM que están en formato .tif mencionado en el ítem 3.4.5 de la presente tesis y obtener las cotas del modelo 3D.

- Restamos la cota de levantamiento topográfico con GPS diferencial menos la cota obtenida mediante el DSM punto por punto en las mismas ubicaciones X, Y (ver tabla 3 columnas 2 y 4).
- Calculamos estadísticas como son la mediana, desviación media, varianza y RMEs (error medio cuadrático) haciendo uso de una hoja de cálculo (ver tabla 3 filas entre el 21 y 25).

N°	NORTE	ESTE	COTA	DESC.
1	8443295.8	789200.426	4290.083	TN
2	8443293.39	789195.87	4290.15	TN
3	8443291.02	789193.113	4290.258	TN
4	8443282.51	789196.947	4290.045	TN
5	8443283.74	789200.729	4289.658	TN
6	8443286.38	789205.383	4289.297	TN
7	8443276.88	789209.502	4289.228	TN
8	8443274.19	789207.423	4289.394	TN
9	8443271.97	789203.668	4289.546	TN
10	8443261.34	789211.064	4289.34	TN
11	8443261.5	789213.311	4289.099	TN
12	8443262.8	789216.083	4288.993	TN
13	8443263.62	789217.363	4288.845	TN
14	8443249.58	789227.066	4288.379	TN
15	8443247.52	789225.001	4288.333	TN
16	8443244.94	789222.274	4288.318	TN
17	8443230.95	789238.89	4287.59	TN
18	8443229.05	789237.041	4287.494	TN
19	8443227.2	789233.435	4287.685	TN

Tabla 2. Levantamiento topográfico de puntos dentro del área de estudio (Fuente, Elaboración propia)

CCM		PHOTOSCAN		PIX4D	
4290.155	0.072	4290.113	0.03	4290.148	0.065
4290.283	0.133	4290.383	0.233	4290.269	0.119
4290.345	0.087	4290.346	0.088	4290.309	0.051
4290.124	0.079	4290.355	0.31	4290.091	0.046
4289.592	-0.066	4289.64	-0.018	4289.574	-0.084
4289.412	0.115	4289.464	0.167	4289.47	0.173
4289.283	0.055	4289.315	0.087	4289.329	0.101
4289.349	-0.045	4289.358	-0.036	4289.395	0.001
4289.593	0.047	4289.607	0.061	4289.577	0.031
4289.286	-0.054	4289.37	0.03	4289.372	0.032
4289.091	-0.008	4289.163	0.064	4289.16	0.061
4288.928	-0.065	4289.026	0.033	4289.037	0.044
4288.882	0.037	4288.919	0.074	4288.924	0.079
4288.158	-0.221	4288.315	-0.064	4288.337	-0.042
4288.196	-0.137	4288.334	0.001	4288.345	0.012
4288.255	-0.063	4288.289	-0.029	4288.278	-0.04
4287.405	-0.185	4287.435	-0.155	4287.633	0.043
4287.328	-0.166	4287.422	-0.072	4287.507	0.013
4287.527	-0.158	4287.732	0.047	4287.69	0.005

Mediana	-0.045	Mediana	0.033	Mediana	0.043
desv.M	0.109	desv.M	0.108	desv.M	0.059
desv2	0.213	desv2	0.210	desv2	0.063
var	0.012	var	0.012	var	0.004
RMEs	0.110	RMEs	0.114	RMEs	0.069

Tabla 3. Cálculo del error medio cuadrático de puntos aleatorios dentro del área de estudio (Fuente, Elaboración propia)

Haciendo un análisis se observa que el error medio cuadrático para los tres casos de estudio es similar, por tanto se afirma que los valores del GSD varían en función a la altura de vuelo y está relacionado directamente a precisión esperada (ver tabla 3).

OBJETIVO ESPECIFICO 2: CONSECUENCIAS QUE TENDRÁ EL RESULTADO FINAL VARIANDO LA CANTIDAD DE PUNTOS DE APOYO EN TIERRA.

Para saber cuántos GCP se requieren para obtener resultados precisos, se utilizó la fórmula empírica de la página 67, colocándose 6 puntos de control en tierra en toda el área de vuelo distribuidos simétricamente (ver figura 38).

Estos se eliminaron gradualmente en el paso de procesamiento y pasaron de ser puntos de apoyo a puntos de control.

Como se puede esperar, el componente vertical es el más sensible al cambio y será el tema central de esta discusión.

El RMS vertical es aproximadamente 3 veces el horizontal, observa que con 4 puntos de apoyo las precisiones en x, y es constante hasta un espaciamiento máximo de 300 m entre puntos, para obtener una buena precisión vertical se usa un tercio del espaciamiento máximo horizontal siendo este de 100m.

Para puntos de apoyo inferiores a 4, se obtiene errores exponenciales en la horizontal y vertical, no siendo recomendable su uso.

El objetivo planteado acerca de los puntos de apoyo en tierra, se alcanzó al proponer un valor empírico como constante de 0.6, el cual se multiplica por el número de hectáreas a volar, obteniéndose la cantidad de puntos de apoyo en tierra necesaria, este valor se obtuvo de la experiencia con una cantidad considerable de vuelos procesados.

OBJETIVO ESPECIFICO 3: REDUCIR COSTOS Y TIEMPO DE OBTENCIÓN DE IMÁGENES Y SU POSTERIOR PROCESAMIENTO MEDIANTE EL USO DE LA FOTOGRAMETRÍA Y COMPARARLOS CON LEVANTAMIENTOS TRADICIONALES.

Mediante levantamiento fotogramétrico aproximadamente se emplea 0.012 horas de vuelo por hectárea, más procesamiento en gabinete, que dependiendo de las características del procesador se hace unos 0.05 h/ha. Haciendo levantamiento topográfico tradicional se tiene un promedio de 1 h/ha.

El estudio se hizo con un levantamiento fotogramétrico de 140 ha, los resultados obtenidos mediante fotogrametría fue: $140\text{ha} \times 0.012\text{h/ha} + 140\text{ha} \times 0.05\text{hr/ha}$. Que es igual a 8 horas efectivas.

Con topografía tradicional esta misma área sería: $140\text{ha} \times 1\text{h/ha}$. 140 horas que trabajando 8 horas al día se terminaría de hacer el levantamiento topográfico en 17 días laborables.

Por lo tanto, se afirma con total confianza que mediante la técnica de la fotogrametría, se reduce notablemente el tiempo en los trabajos de campo y gabinete, así mismo los costos asociados a este.

OBJETIVO ESPECIFICO 4: CONSECUENCIAS DE LA APLICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRÍA EN CUANTO A LA SEGURIDAD DE NUESTROS COLABORADORES CON LA APLICACIÓN DE LA FOTOGRAMETRIA.

Siendo prioridad la seguridad de nuestros colaboradores se afirma que mediante el uso de la técnica de la fotogrametría, se evitan incidentes y accidentes por lo que es una técnica no invasiva, quiere decir que no se está en contacto con equipos y maquinarias en movimiento presentes en mina.

Es inevitable descartar el factor climático que siempre está presente en la operación que sería uno de los riesgos más cercanos en la aplicación de esta técnica, por lo que se deben tomar las previsiones necesarias para evitar un algún incidente.

También no descarta del todo el factor humano, que siempre está presente y como práctica recurrente se empodera a los colaboradores para hacer las cosas bien.

CONCLUSIONES

Los campos de aplicación de la fotogrametría de objeto cercano en la unidad minera Las Bambas son diversos dentro de estas tenemos:

Remediación y estabilidad de taludes entre bancos.- Cuando se genera algún deslizamiento y falla la roca se requiere tener la superficie y volumen del material suelto y posteriormente hacer la remediación del talud.

Diseño y ejecución Haul Road.- La aplicación de esta técnica entra en todas las etapas de la construcción del camino minero para camiones de gran tonelaje y accesos para equipo liviano.

Drenaje de mina.- El drenaje superficial lleva muchos otros componentes como ejecutar canales, alcantarillas y pozos de bombeo, de acuerdo a un diseño pre establecido.

Presa de relaves.-Se aplica la fotogrametría de objeto cercano desde la fundación, drenaje y relleno por capas, también en la estimación de volumen de materiales.

En todos estos campos es con el terreno natural que se inicia cualquier trabajo de ingeniería por tanto teniendo una topografía confiable y actualizada se procede con diseño y posterior ejecución también se está aplicando en las áreas de mecánica de Rocas y voladura de rocas..

En cuanto a la precisión de los productos obtenidos mediante fotogrametría de objeto cercano, se puede afirmar que volando a una altura constante de 80m, se obtiene precisiones de 2cm en x e y, pero en z este valor se triplica alcanzando a precisiones de 6cm y los mejores traslapes obtenidos longitudinal y transversalmente para el área de estudio es de 75% y 60% respectivamente.

Los puntos de apoyo para un vuelo fotogramétrico según nuestro estudio son indispensables, y la fórmula empírica propuesta demuestra su efectividad.

Con un levantamiento tradicional en promedio levantaría un terreno ondulado con GPS diferencial a un estándar de 8 ha por día, haciendo el levantamiento fotogramétrico de la misma área se vuela en unos 4 minutos, se descarga y procesa en 20 a 30 minutos, por tanto, en cuanto a tiempo y costo la fotogrametría se lleva por encuentro a la topografía tradicional, siempre y cuando se lleve a cabo cumpliendo los requisitos que exige este campo.

Respecto a la calidad de los productos obtenidos mediante fotogrametría de objeto cercano se afirma que comparando con un levantamiento tradicional existe grandes diferencias, tenemos por ejemplo una ortofoto en el cual se pueden hacer mediciones horizontales precisas. Trabajar sobre un modelo 3D es prácticamente estar trabajando sobre el terreno real directamente sin ir al campo, es algo contradictorio, pero ya estamos en este punto gracias al avance de la tecnología.

Un tema importante es la seguridad de nuestros colaboradores por lo que con el uso de la fotogrametría de objeto cercano se proyecta llegar a cero accidentes, haciendo levantamientos topográficos mediante fotogrametría de grandes áreas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre J. (2016). *Calibración geométrica de cámaras no métricas. Estudio de metodologías y.* Madrid.
- Alicja M. (2016). *Use of 3D models obtained with photogrammetric methods in an industrial mineral mine.* Trondheim.
- Díaz J. (2015). *Estudio de Índice de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAV/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión.* (U. C. Madrid, Ed.) Madrid.
- Espinosa L. (2017). *Recomendaciones para el proceso de aerotriangulación.* Bogotá D.C.
- Gottfrid K. (2011). *Geof ormation Remote Sensing, Photogrammetry, and Geographic Information Systems.* Boca Raton London New York: CRC Press Taylor Francis Group.
- Linder W. (2016). *Digital photogrammetry a practical course* (4ta ed.). Dusseldorf Germany: Springer.
- Luhmann T, R. S. (2011). *Close range photogrammetry.* Scotland, UK: Whittles Publishing.
- Martínez P. (2016). *Photogrammetric techniques from unmanned.* Almería: Universidad de Almería.
- Mora R. (2010). *Producción de productos cartográficos: MDT y ortofoto a partir de imágenes capturadas por un vehículo UAV.*
- Muñoz C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis.* México: Pearson.
- Otero I, E. A. (2012). *Fotogrametría.* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Quiróz E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicada a la Ingeniería Civil.*

Cáceres: Universidad de Extremadura.


Riaño R. (2018). *Metodología para el diseño de un vuelo fotogramétrico usando UAV'S*. Bogotá
D.C.

ANEXO 1

REPORTE DE CALIDAD DE
LEVANTAMIENTO
FOTOGRAMETRICO CON EL
SOFTWARE CONTEXT CAPTURE
MASTER

Contents

- [Project Summary](#)
- [Camera Calibration](#)
- [Photo Positions](#)
- [Photo Matching](#)
- [Surveys](#)
- [Control Points](#)

For more information, please see our online manual:
<https://www.acute3d.com/QualityReportManual/en/v2.0/index.html> 

Project Summary

Project:	PROCESO
Number of photos:	166
Ground coverage:	352898 square meters
Average ground resolution:	20.8555 mm/pixel
Scale:	1 : 63
Camera model(s):	DJI FC6310
Processing date:	21/06/2019 4:28 p. m.
Processing time:	6min 17s

Quality Overview

Dataset:	166 of 166 photos calibrated (100%)
Keypoints:	Median of 47745 keypoints per image
Tie points:	67265 points, with a median of 1549 points per photo.
Reprojection error (RMS):	0.66 pixels
Positioning / scaling:	Georeferenced using control points

Camera Calibration

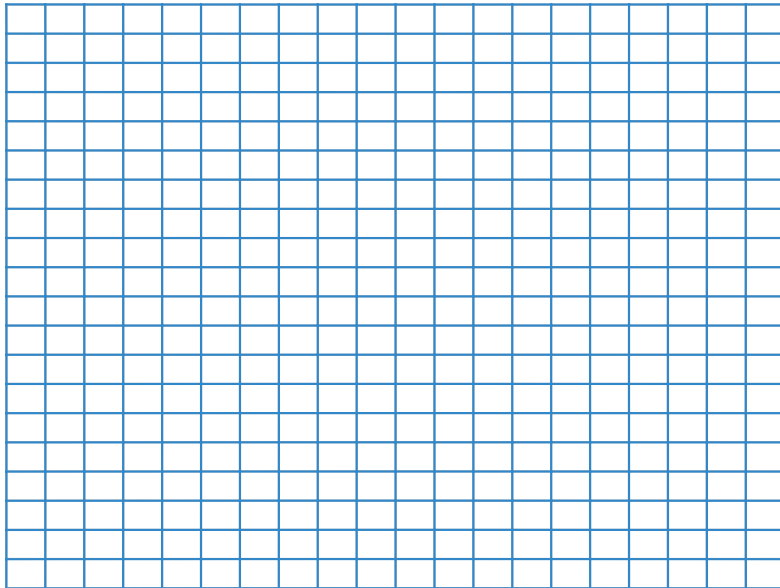
DJI FC6310 8.8mm 4864x3648

Name:	DJI FC6310
Model type:	Perspective
Image dimensions:	4864x3648 pixels
Sensor size:	13.2 mm
Number of photos:	166

Calibration Results

	Focal Length [mm]	Focal Length Equivalent 35 mm [mm]	Principal Point X [pixels]	Principal Point Y [pixels]	K1	K2	K3	P1	P2
Previous Values	8.80	24.00							
Optimized Values	8.82	24.04	2433.10	1830.43	0.0042	-0.0083	0.0066	0	0
Difference Previous / Optimized	0.02	0.04							

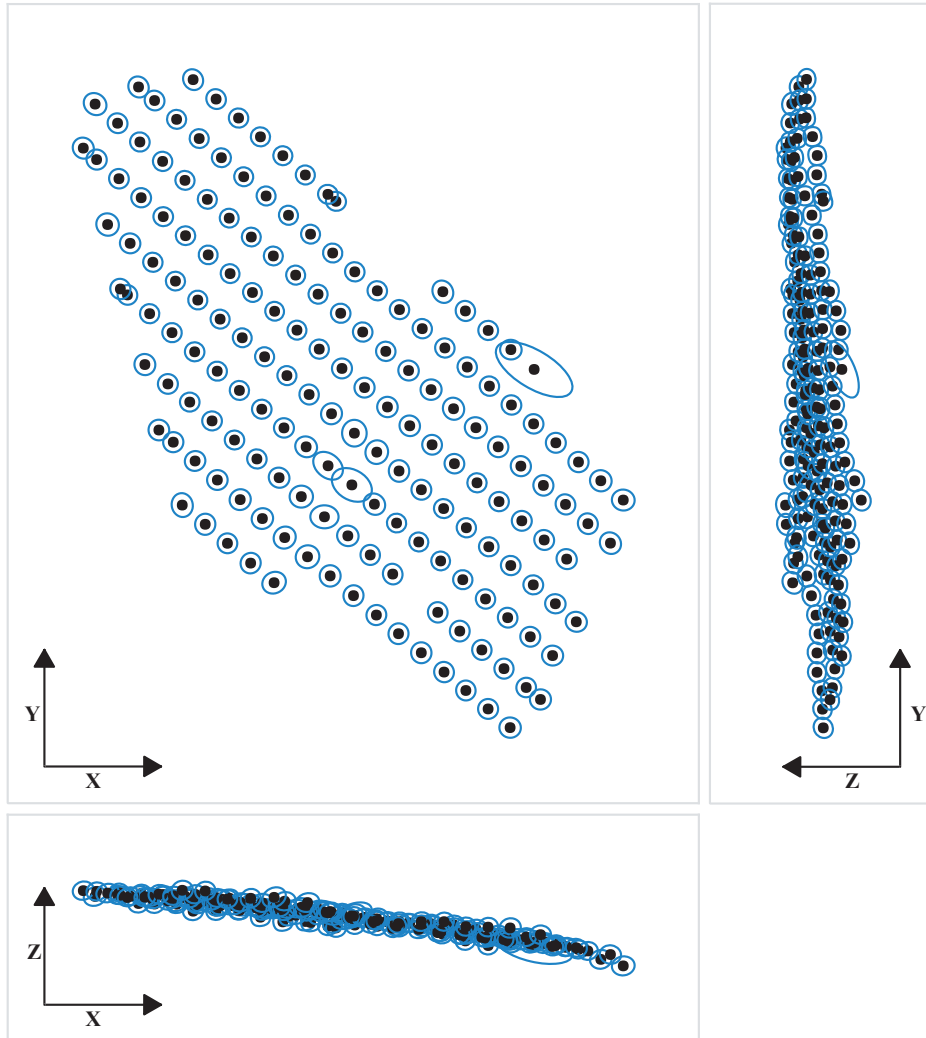
Distortion Grid



Camera Lens Distortion: *Gray lines represent the zero distortion grid, and blue lines represent the real camera values.*

Photo Positions

Photo Position Uncertainties

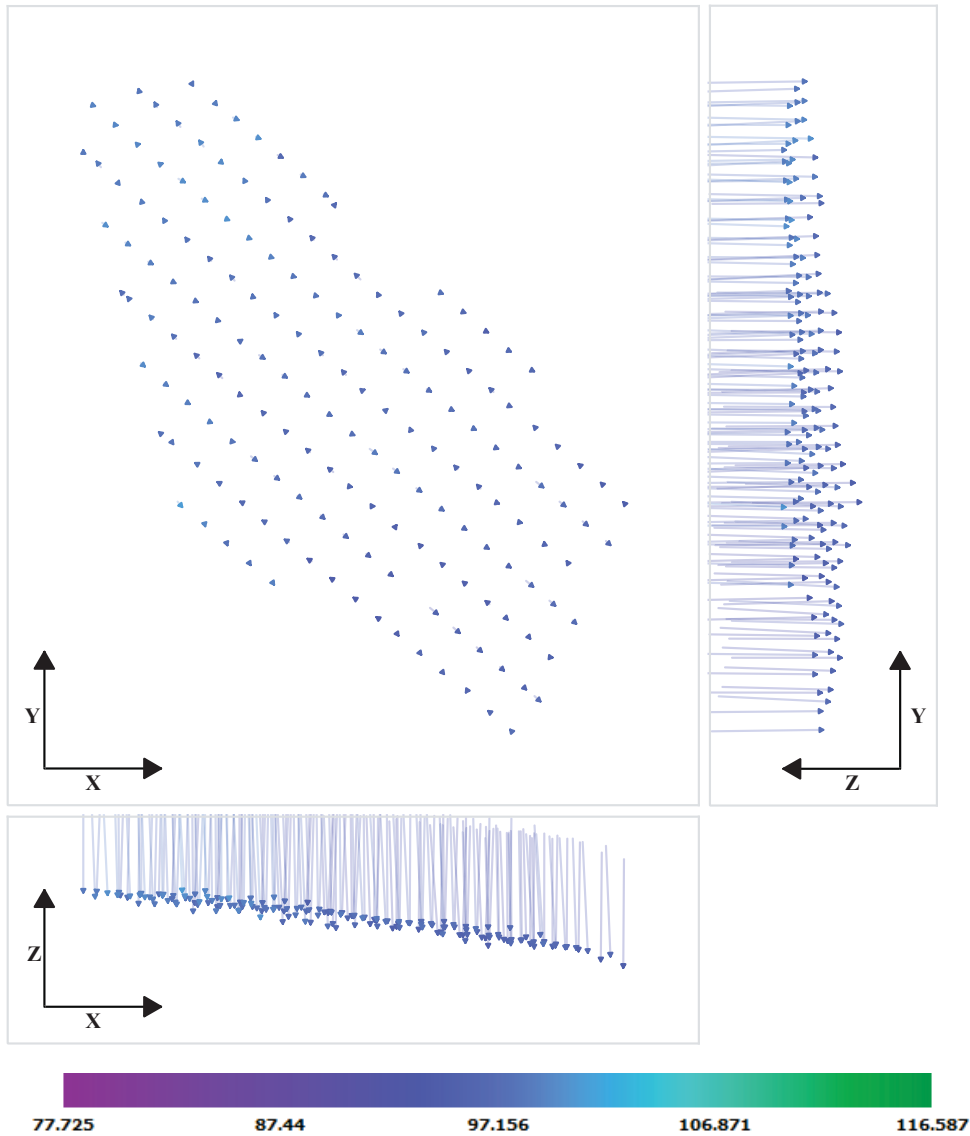


Position Uncertainties: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) of computed photo positions (black dots). Blue ellipses indicate the position uncertainty, scaled for readability. The minimum and maximum values, as well as the average value, can be found in the table below.

Position Uncertainties			
	X [meters]	Y [meters]	Z [meters]
Minimum	0.0024	0.0022	0.0008
Mean	0.0044	0.0041	0.0017
Maximum	0.068	0.0452	0.022

For more information on individual photos, please refer to the [Photos Report](#).

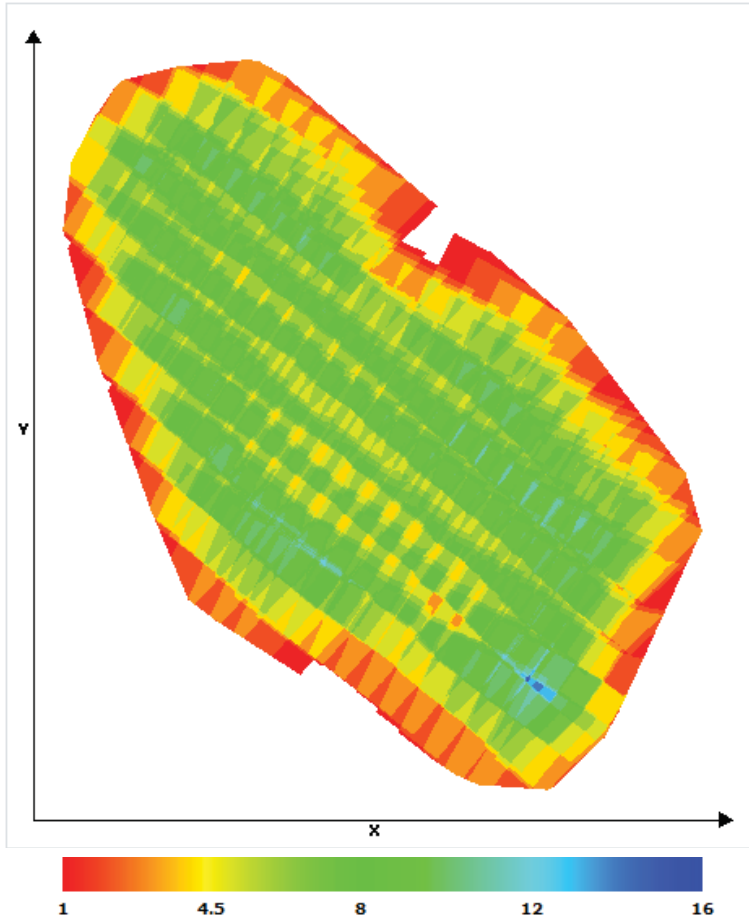
Distance to Input Positions



Position Distance to Metadata: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane), with arrows indicating the offset between the metadata positions and the computed photo positions; all arrows start from the metadata positions and point toward the computed positions. Gray points • indicate uncalibrated photos that have metadata. Pink points • indicate calibrated photos that have no metadata.

The values are in meters, with a minimum distance of **94.3682 meters** and a maximum of **100.8783 meters**. The median position distance equals **97.1558 meters**.

Scene Coverage



Number of photos seeing the scene: Top view (XY plane) display of the scene, with colors indicating the *number of photos* that potentially see each area.

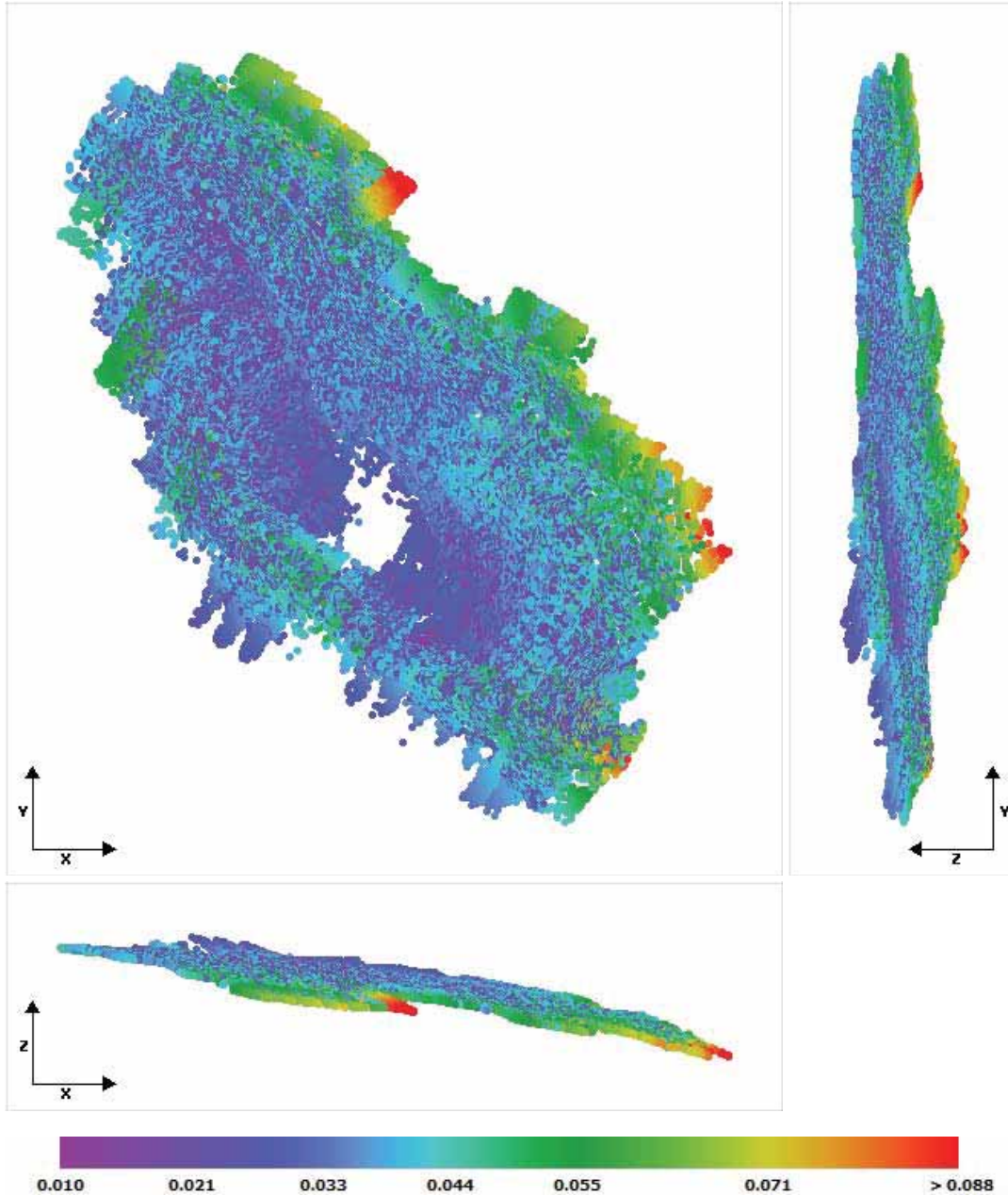
Photo Matching

Quality Measures on Tie Points

Generated Tie Points					
Number of Points	Median Number of Photos per Point	Median Number of Points per Photo	Median Reprojection Error [pixels]	RMS of Reprojection Error [pixels]	RMS of Distances to Rays [meters]
67265	3	1549	0.49	0.66	0.0133

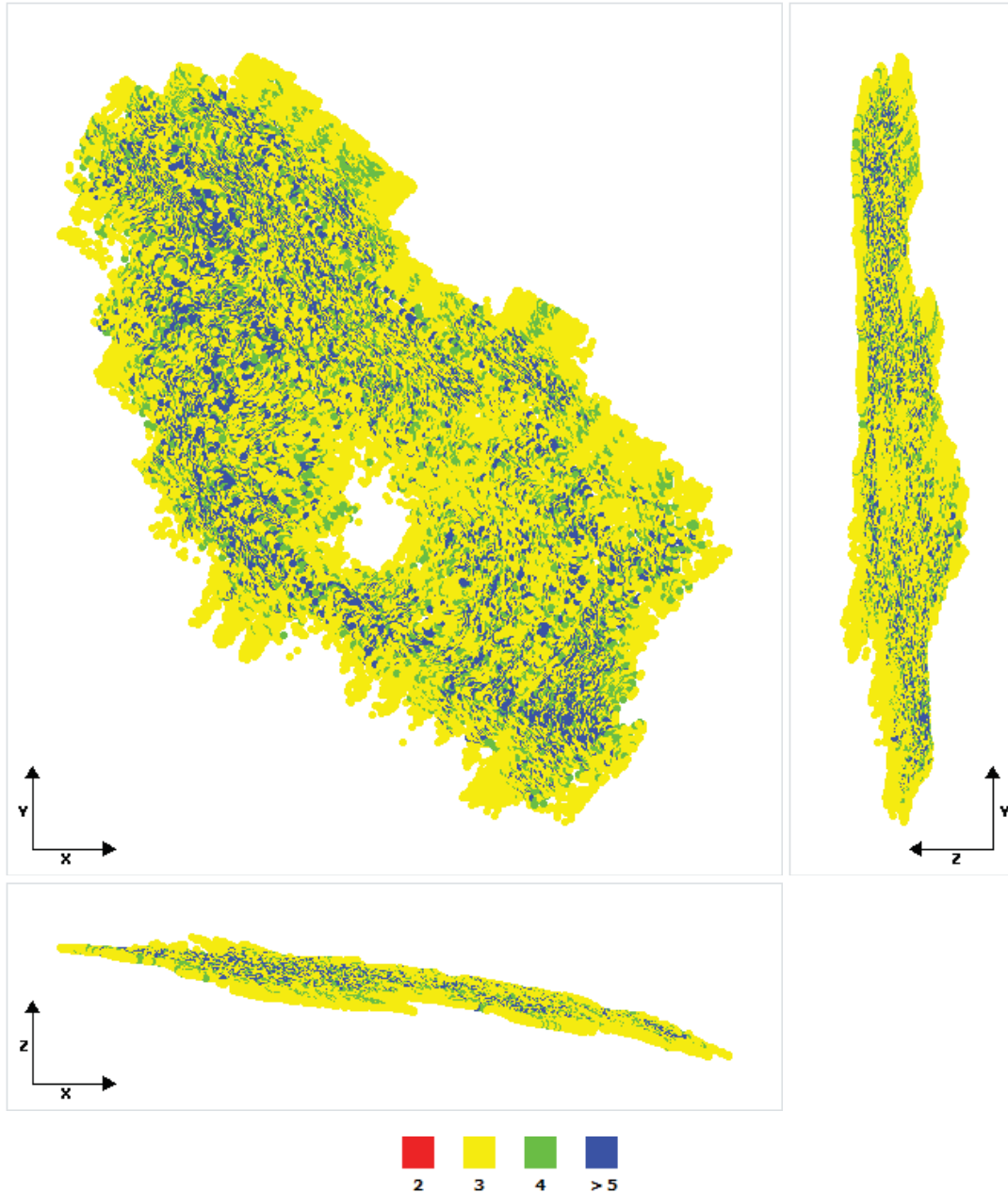
For more information on individual photos, please refer to the [Photos Report](#).

Tie Point Position Uncertainties



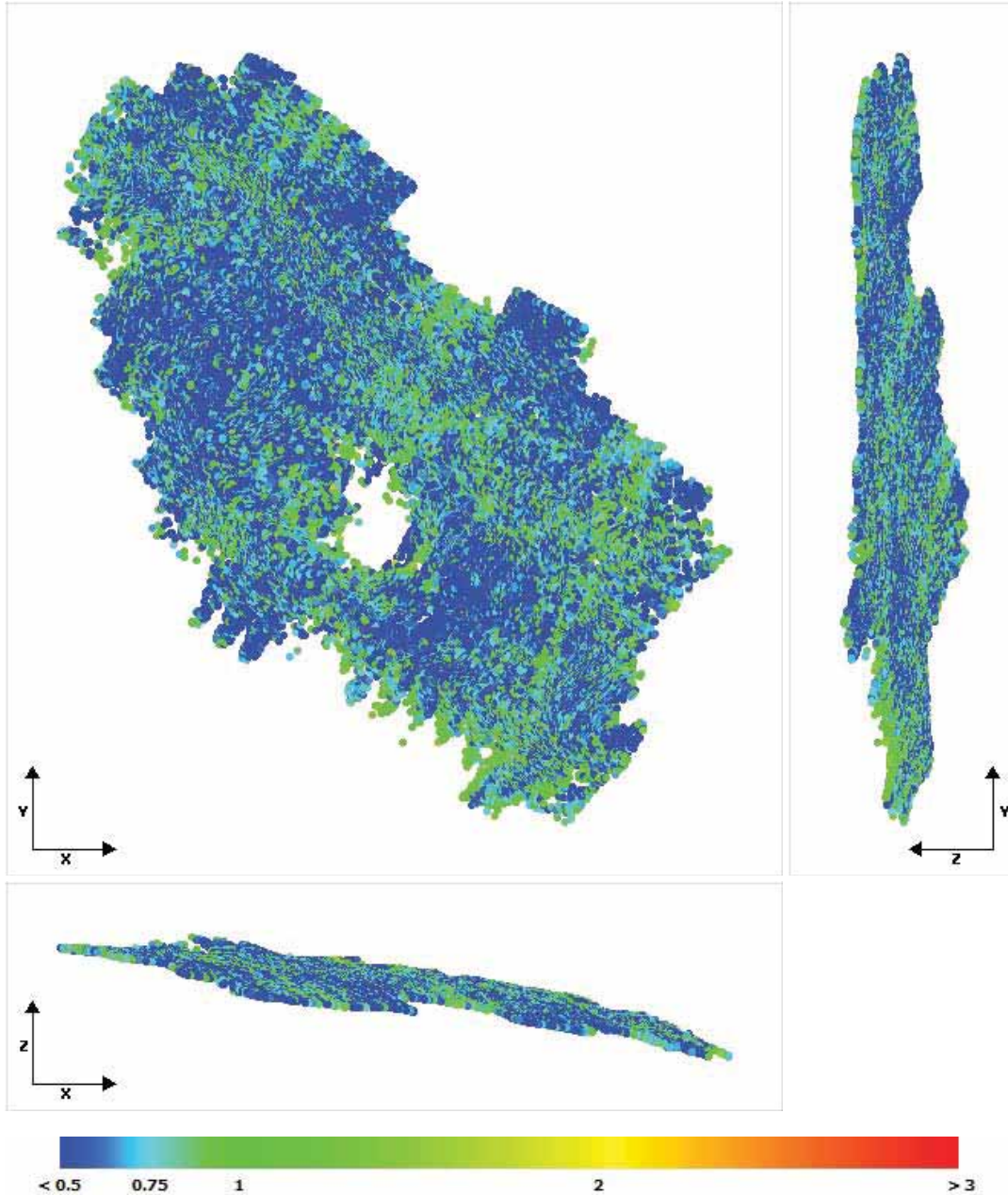
Position Uncertainties: Top view (*XY plane*), side view (*ZY plane*) and front view (*XZ plane*) displays of all tie points, with colors representing uncertainty in the individual point position. The values are in meters, with a minimum uncertainty of **0.0099 meters** and a maximum of **0.0959 meters**. The median position uncertainty equals **0.0327 meters**.

Number of Photos Observing the Tie Points



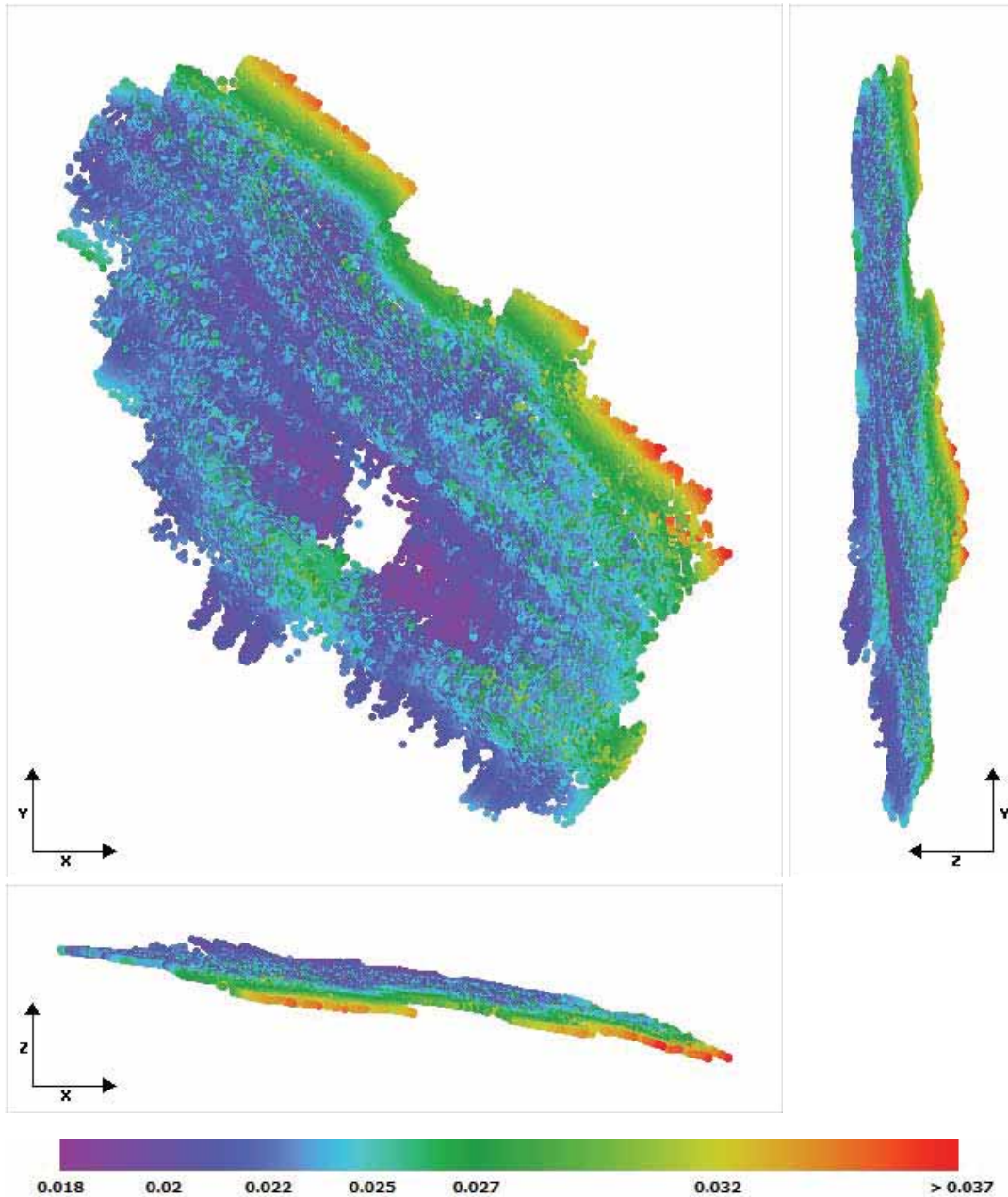
Number of Observations per Tie Point: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing the number of photos that have been used to define each point. The minimum number of photos per tie point is 3 and the maximum is 13. The average number of photos observing a tie point is 4.

Reprojection Error



Reprojection Errors per Tie Point: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing the reprojection error in pixels. The minimum reprojection error is **0.02 pixels** and the maximum is **1.80 pixels**. The average reprojection error is **0.60 pixels**.

Tie Point Resolution



Resolution: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing resolution in the individual point position. The values are in meters/voxel, with a minimum resolution of 0.018 meters/voxel and a maximum of 0.0372 meters/voxel. The median resolution equals 0.0224 meters/voxel.

Surveys

Number of control points: 8. No control point is used as check point.

Number of user tie points: 0

Number of positioning constraints: 0

Control Points

Control Points Errors									
Name	Category	Accuracy [meters]	Number of Photos	RMS of Reprojection Error [pixels]	RMS of Distances to Rays [meters]	3D Error [meters]	Horizontal Error [meters]	Vertical Error [meters]	
A	3D	Horizontal: 0; Vertical: 0	5	0.01	0.0002	0.0002	0.0001	-0.0002	✓
B	3D	Horizontal: 0; Vertical: 0	7	0.01	0.0003	0.0001	0.0001	0	✓
C	3D	Horizontal: 0; Vertical: 0	8	0.01	0.0003	0.0002	0	0.0001	✓
D	3D	Horizontal: 0; Vertical: 0	6	0	0.0002	0	0	0	✓
E	3D	Horizontal: 0; Vertical: 0	6	0	0.0002	0	0	0	✓
F	3D	Horizontal: 0; Vertical: 0	6	0.01	0.0002	0	0	0	✓
L	3D	Horizontal: 0; Vertical: 0	5	0	0.0002	0.0002	0	0.0001	✓
cono	3D	Horizontal: 0; Vertical: 0	5	0	0.0001	0	0	0	✓
Global RMS				0.01	0.0002	0.0001	0	0.0001	
Median				0.01	0.0002	0.0001	0	0	

Horizontal and vertical errors are given according to each control point respective spatial reference system

ANEXO 2

REPORTE DE CALIDAD DE
LEVANTAMIENTO
FOTOGRAMETRICO CON EL
SOFTWARE PHOTOSCAN

Agisoft PhotoScan

Processing Report
22 June 2019



Survey Data

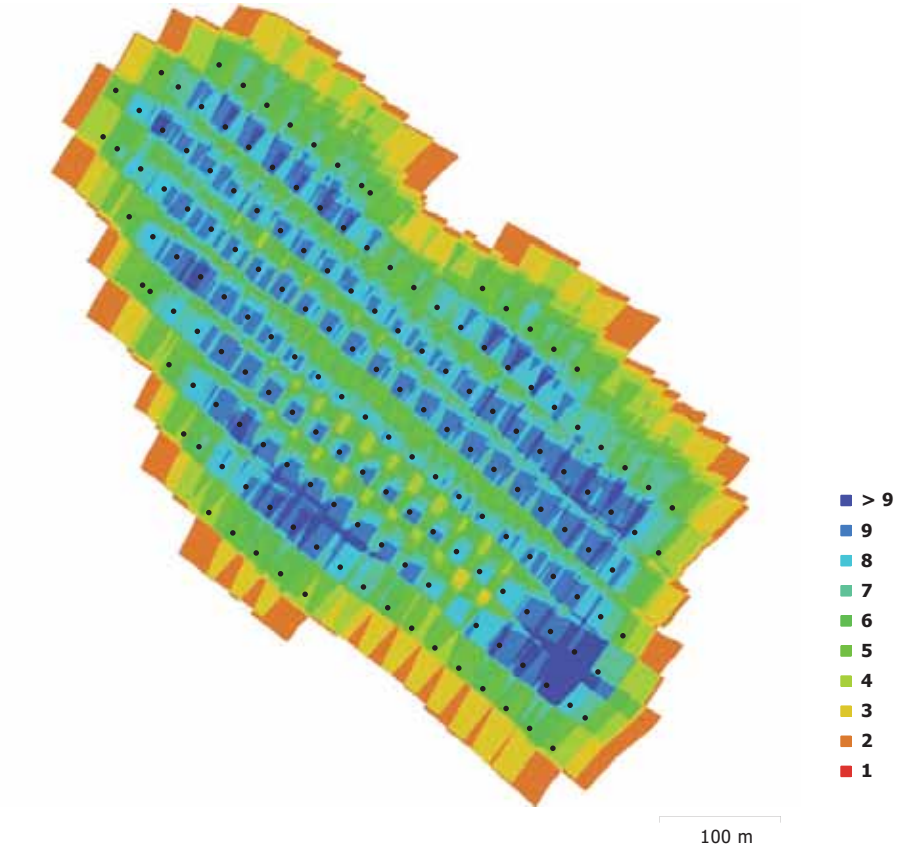


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	166	Camera stations:	166
Flying altitude:	81.8 m	Tie points:	165,510
Ground resolution:	2.04 cm/pix	Projections:	650,906
Coverage area:	0.208 km ²	Reprojection error:	0.772 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8 mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 μm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

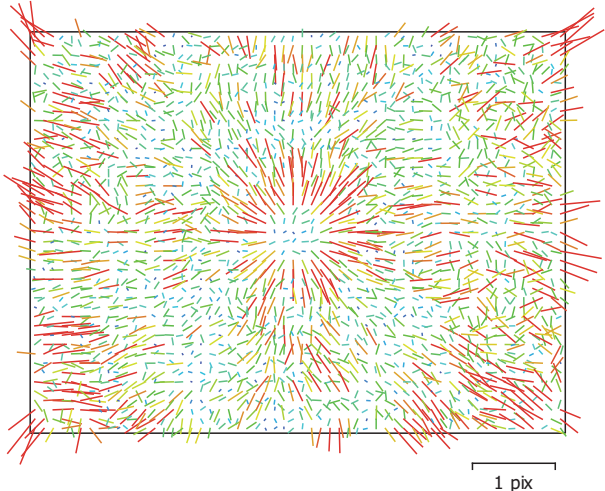


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8 mm).

FC6310 (8.8 mm)

166 images

Type **Frame** Resolution **4864 x 3648** Focal Length **8.8 mm** Pixel Size **2.61 x 2.61 μm**

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
B2	-0.0751517									
F	3719.53	0.61	1.00	-0.14	-0.06	-0.01	-0.08	0.13	0.05	0.06
Cx	2.8679	0.039		1.00	0.00	-0.01	0.02	-0.03	0.58	-0.07
Cy	13.833	0.035			1.00	0.00	0.00	-0.01	-0.00	0.63
K1	0.00731199	5.2e-05				1.00	-0.96	0.91	0.01	0.01
K2	-0.0249518	0.00019					1.00	-0.99	-0.01	-0.02
K3	0.0270185	0.00021						1.00	0.02	0.02
P1	0.000888476	3.2e-06							1.00	-0.06
P2	0.000551697	3.2e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

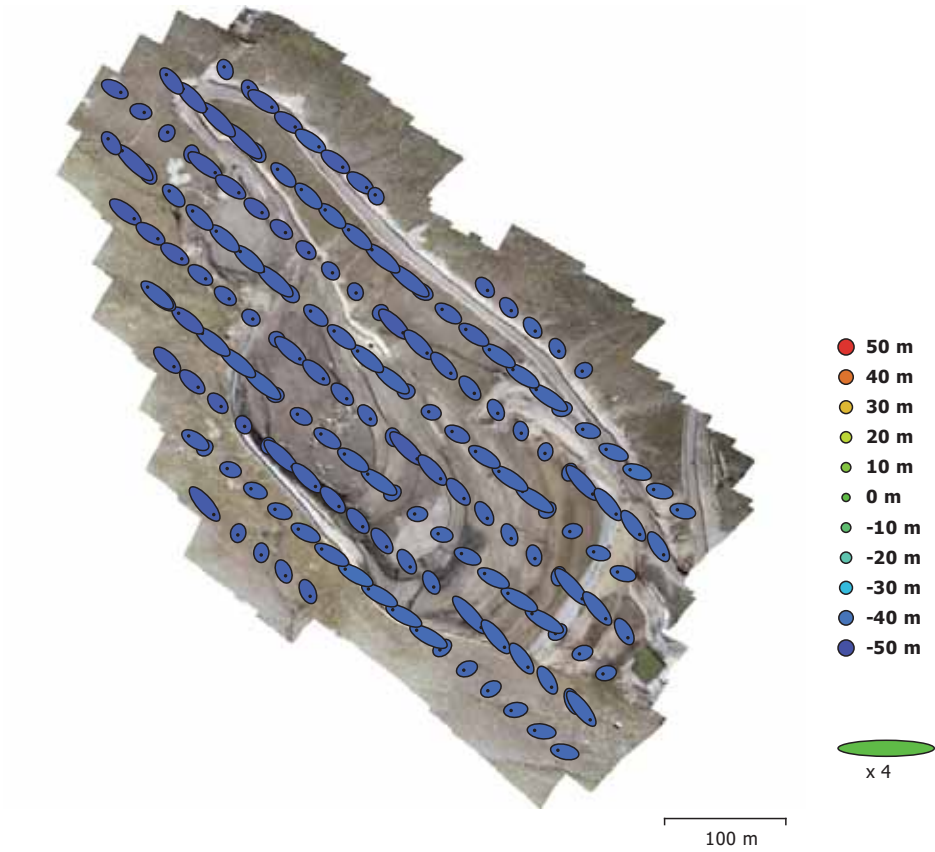


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.80498	2.38013	43.7683	3.67871	43.9226

Table 3. Average camera location error.
 X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Ground Control Points



Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
8	1.93454	2.09784	1.68142	2.85366	3.31218

Table 4. Control points RMSE.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
A	0.824808	4.59253	-1.17721	4.81222	0.054 (2)
B	-3.47651	-0.6735	0.509797	3.57765	0.364 (6)
C	3.50363	-0.570677	-4.04405	5.38103	0.141 (2)
D	-0.0354911	0.723727	-0.340531	0.800626	0.080 (4)
E	0.859314	-1.08099	-0.613883	1.51123	0.103 (4)
F	0.776551	-1.80432	0.279911	1.98417	0.111 (5)
L	0.984813	1.57138	-0.673266	1.97291	0.136 (3)
cono	-1.60785	-2.43302	1.89551	3.47817	0.157 (4)
Total	1.93454	2.09784	1.68142	3.31218	0.194

Table 5. Control points.
X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

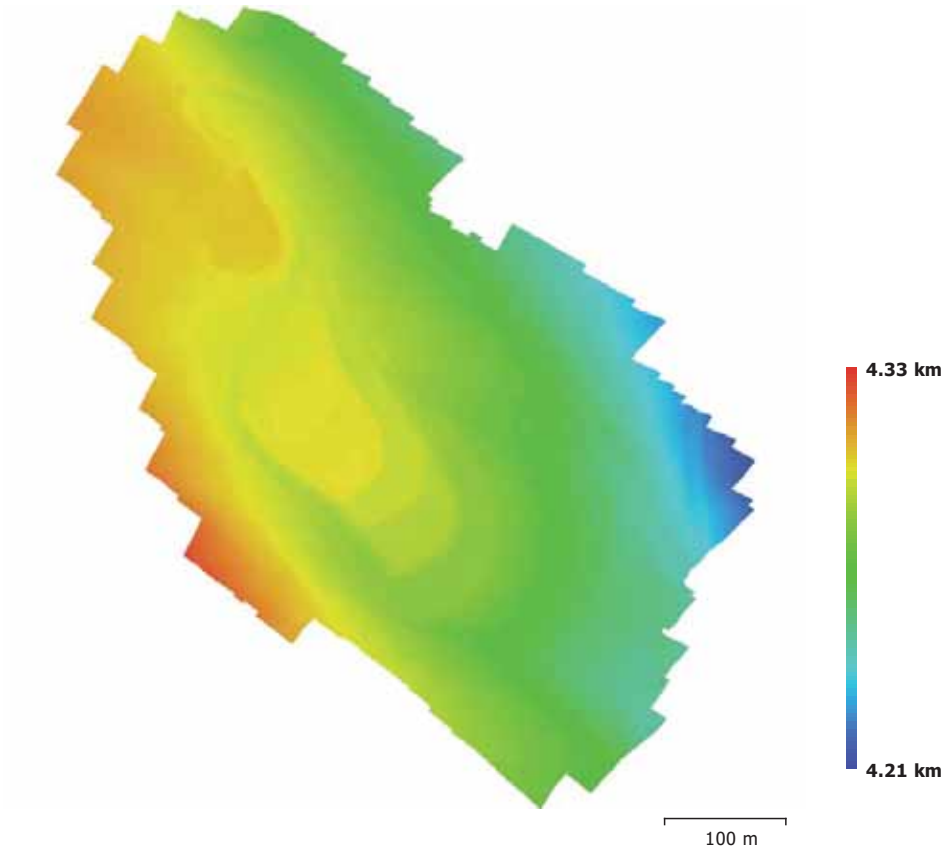


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 8.17 cm/pix
Point density: 150 points/m²

Processing Parameters

General

Cameras	166
Aligned cameras	166
Markers	8
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	165,510 of 174,092
RMS reprojection error	0.134959 (0.772237 pix)
Max reprojection error	0.752302 (27.0215 pix)
Mean key point size	5.36187 pix
Effective overlap	4.01045

Alignment parameters

Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	6 minutes 38 seconds
Alignment time	38 seconds

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Fit rolling shutter	No
Optimization time	3 seconds

Dense Point Cloud

Points	36,498,761
--------	------------

Reconstruction parameters

Quality	Medium
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	42 minutes 28 seconds
Dense cloud generation time	3 minutes 12 seconds

DEM

Size	10,984 x 11,800
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)

Reconstruction parameters

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	53 seconds

Orthomosaic

Size	28,204 x 32,428
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Channels	3, uint8

Reconstruction parameters

Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable color correction	No
Enable hole filling	Yes
Processing time	6 minutes 1 seconds

Software

Version	1.3.2 build 4164
Platform	Windows 64

ANEXO 3

REPORTE DE CALIDAD DE
LEVANTAMIENTO
FOTOGRAMETRICO CON EL
SOFTWARE PIX4D

Quality Report



Generated with Pix4Dmapper Pro version 2.0.104

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

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

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

Summary i

Project	190621jm_boladero chuspiri
Processed	2019-06-23 14:12:27
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.09 cm / 0.82 in
Area Covered	0.2072 km ² / 20.7151 ha / 0.08 sq. mi. / 51.2147 acres

Quality Check i

? Images	median of 77588 keypoints per image	✓
? Dataset	166 out of 166 images calibrated (100%), all images enabled	✓
? Camera Optimization	10.44% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	⚠
? Matching	median of 34149.9 matches per calibrated image	✓
? Georeferencing	yes, 6 GCPs (6 3D), mean RMS error = 0.02 m	✓

? Preview i

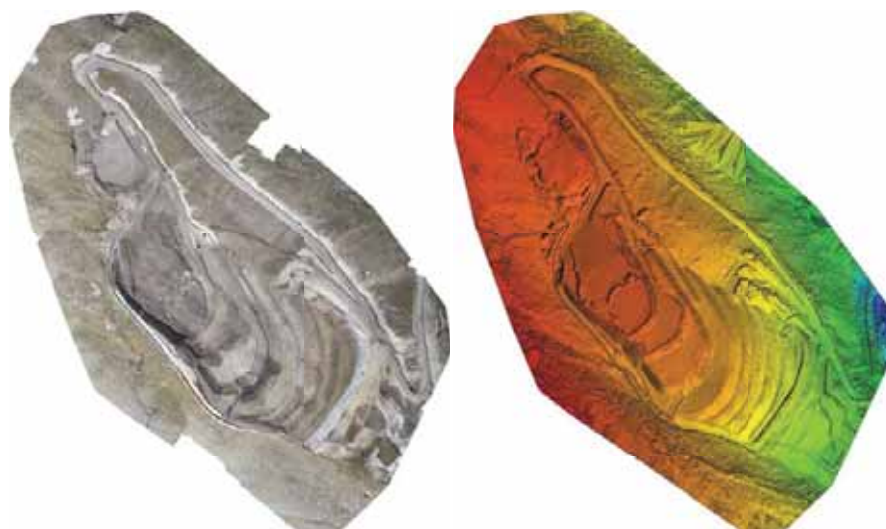


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details i

Number of Calibrated Images	166 out of 166
Number of Geolocated Images	166 out of 166

2 Initial Image Positions

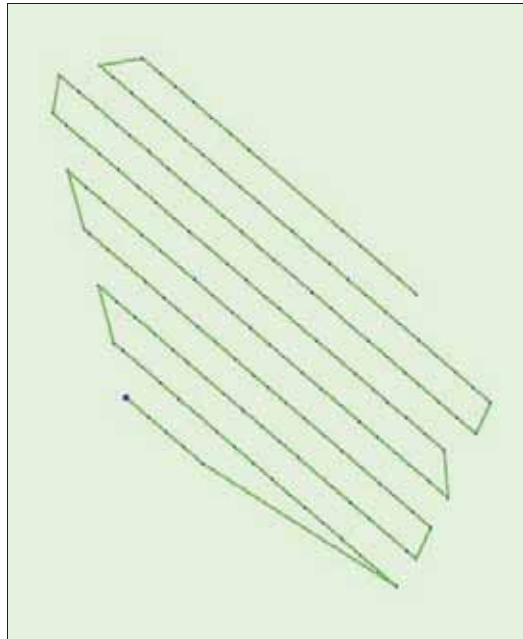
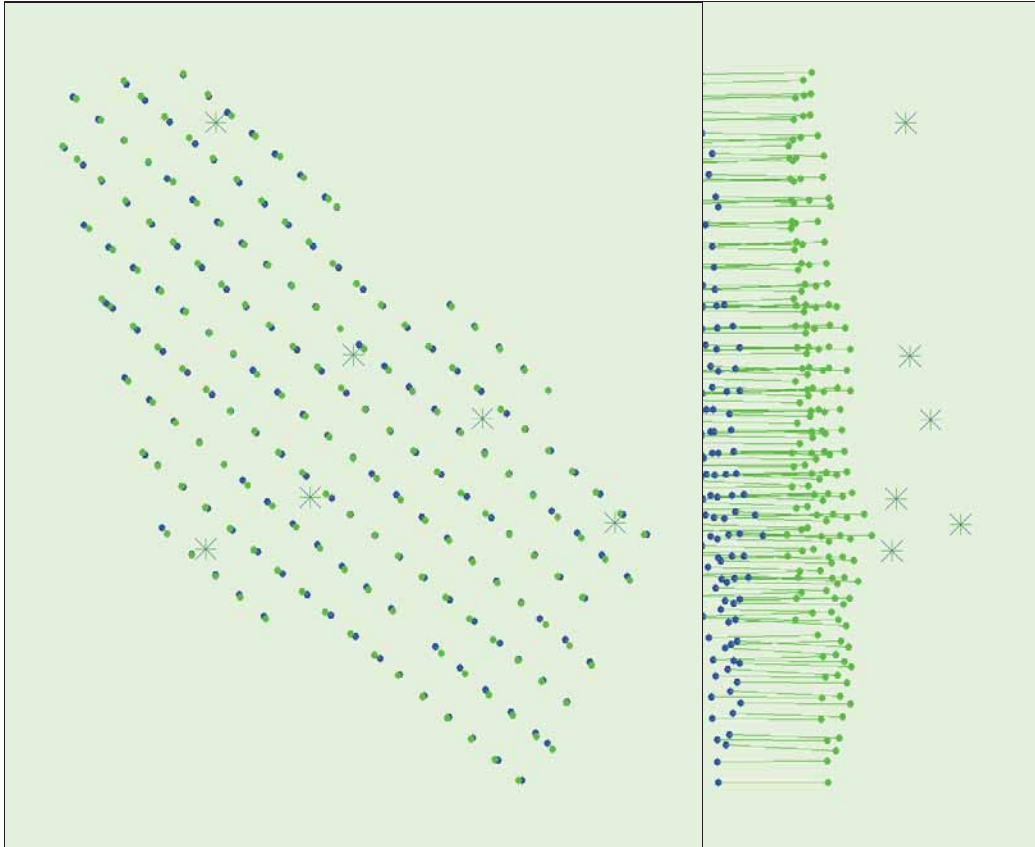


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

2 Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



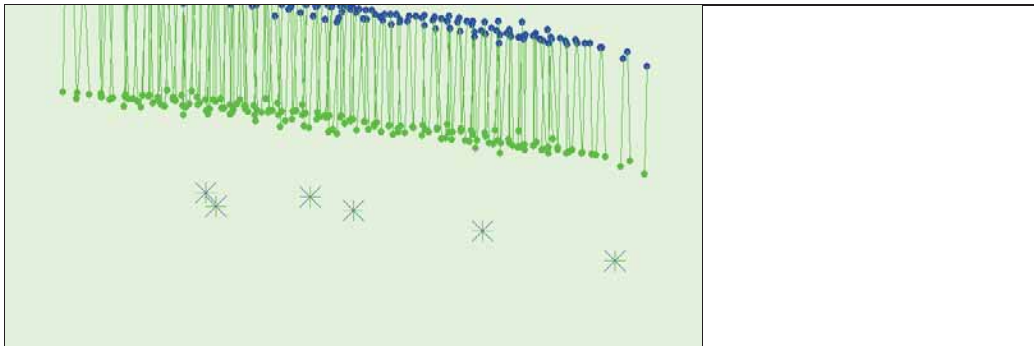


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane).

Overlap

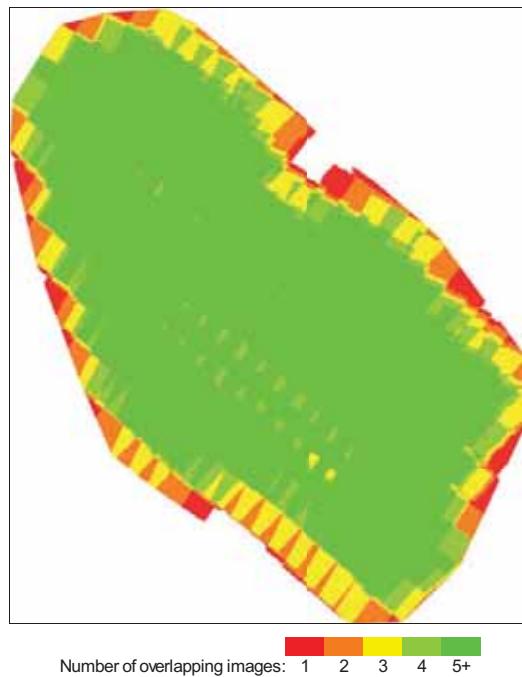


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint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

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	5631773
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	2242878
Mean Reprojection Error [pixels]	0.135477

Internal Camera Parameters

FC6310_8.8_4864x3648(70a4f28ed8cf4a3ada432f08929fc281) (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 9.625 [mm]



EXIF ID: FC6310_8.8_4864x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3335.314 [pixel] 8.800 [mm]	2432.000 [pixel] 6.417 [mm]	1824.000 [pixel] 4.812 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized Values	3683.788 [pixel] 9.719 [mm]	2434.233 [pixel] 6.423 [mm]	1837.804 [pixel] 4.849 [mm]	0.007	-0.021	0.022	0.001	0.001

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

2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	77588	34150
Mn	43067	1808
Max	84195	44244
Mean	77352	33926

3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1585668
In 3 Images	394098
In 4 Images	137314
In 5 Images	66478
In 6 Images	34423
In 7 Images	14159
In 8 Images	7033
In 9 Images	2860
In 10 Images	617
In 11 Images	119
In 12 Images	66
In 13 Images	31
In 14 Images	12

2D Keypoint Matches



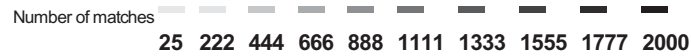
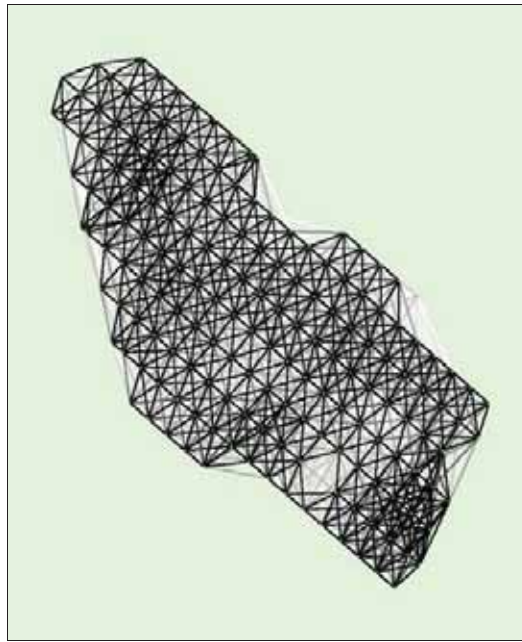


Figure 5: Top view of the image computed positions with a link between matching images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
0 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	-0.049	0.025	0.468	6 / 6
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.043	0.012	0.021	0.273	7 / 7
2 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	0.001	-0.004	0.343	5 / 5
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.003	0.014	0.611	6 / 6
6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.003	0.001	0.606	7 / 7
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	0.029	-0.028	0.208	5 / 5
Mean [m]		0.001417	-0.000140	0.004958		
Sigma [m]		0.018734	0.023946	0.017941		
RMS Error [m]		0.018787	0.023947	0.018614		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance

0 out of 166 geolocated and calibrated images have been labeled as inaccurate.

Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	18.67	12.65	0.60
-3.00	0.00	30.12	34.34	46.99

0.00	3.00	33.73	41.57	51.81
3.00	6.00	17.47	11.45	0.60
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.405870	0.106131	88.686870
Sigma [m]		2.726050	2.417994	1.209466
RMS Error [m]		2.756098	2.420322	88.695116

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.405870	0.106131	88.686870

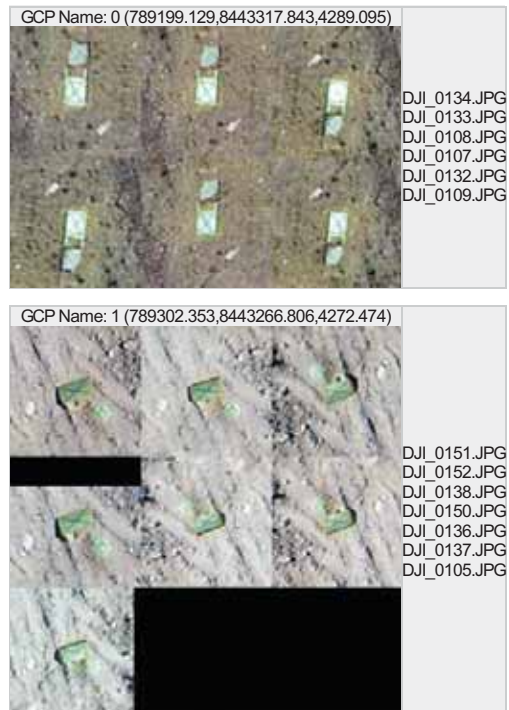
Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	98.80	98.19	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Georeference Verification



GCP Name: 2 (789408.093,8443182.947,4249.138)

DJI_0146.JPG
 DJI_0145.JPG
 DJI_0143.JPG
 DJI_0147.JPG
 DJI_0142.JPG

GCP 2 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.

DJI_0100.JPG
 DJI_0141.JPG
 DJI_0144.JPG

GCP Name: 4 (789080.806,8443161.956,4303.378)

DJI_0032.JPG
 DJI_0017.JPG
 DJI_0031.JPG
 DJI_0015.JPG
 DJI_0016.JPG
 DJI_0033.JPG

GCP Name: 6 (789088.776,8443504.331,4292.664)

DJI_0170.JPG
 DJI_0169.JPG
 DJI_0164.JPG
 DJI_0163.JPG
 DJI_0162.JPG
 DJI_0171.JPG
 DJI_0165.JPG

GCP 6 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.

DJI_0124.JPG

GCP Name: 7 (789164.471,8443203.261,4299.946)

DJI_0065.JPG
 DJI_0066.JPG
 DJI_0044.JPG
 DJI_0043.JPG
 DJI_0045.JPG

Figure 7: Images in which GCPs have been marked (yellow circle) and in which their computed 3D points have been projected (green circle). A green circle outside of the yellow circle indicates either an accuracy issue or a GCP issue.

Processing Options



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40GHz RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce GTX 750 Ti (Driver: 21.21.13.6909)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit
Camera Model Name	FC6310_8.8_4864x3648(70a4f28ed8cf4a3ada432f08929fc281) (RGB)
Image Coordinate System	WGS84 (egm96)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS84 / UTMzone 18S
Output Coordinate System	WGS84 / UTMzone 18S
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard, Internal Parameters Optimization: All, External Parameters Optimization: All, Rematch: yes

ANEXO 4

PROCEDIMIENTO PARA EL
PROCESO DE IMÁGENES CON EL
SOFTWARE AGISOF

**PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO
DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF**

Rev. B

Revisión	Hecho Por	Descripción	Fecha	Revisado	Aprobado
A	A. Paucar	Emisión para comentarios	28-10-18		
B	A. Paucar	Emisión para comentarios	28-08-19		
COMENTARIOS					

Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 1 de 20
-------------	---	-------------------------------------

INDICE

1.	OBJETIVOS	2
2.	ALCANCE	2
3.	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	2
4.	CONCEPTOS.....	2
5.	CONFIGURACIÓN INICIAL	5
6.	FLUJO DE TRABAJO	6
6.1.	IMPORTARCIÓN DE FOTOS	6
6.2.	ALINEACIÓN DE FOTOS	6
6.3.	IMPORTAR PUNTOS DE CONTROL (GCP).....	8
6.4.	REPORTE DE PROCESO	10
6.5.	PROCESO DE IMÁGENES PASO A PASO	12
7.	CREAR CURVAS DE NIVEL.....	13
8.	CONFIGURACIÓN DE DATUM HORIZOTAL Y VERTICAL.....	14
9.	RECORTE DE IMAGEN CON GLOBAL MAPPER	16

Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 2 de 20
-------------	---	-------------------------------------

1. OBJETIVOS

Generar a partir de imágenes obtenidas en vuelo con Dron los siguientes productos: Nube de puntos, DEM, y Ortofotos

2. ALCANCE

Este procedimiento es aplicable para todos los trabajos de topografía, en la que el terreno se encuentre libre de vegetación, permitirá obtener información topográfica basada las imágenes registradas con la cámara del Dron y controlada con puntos fotogramétricos en campo. Es importante levantar aleatoriamente puntos de terreno dentro del área requerida y extremos de la misma, para realizar el control de calidad del producto que se obtendrá a partir del proceso de imágenes.

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

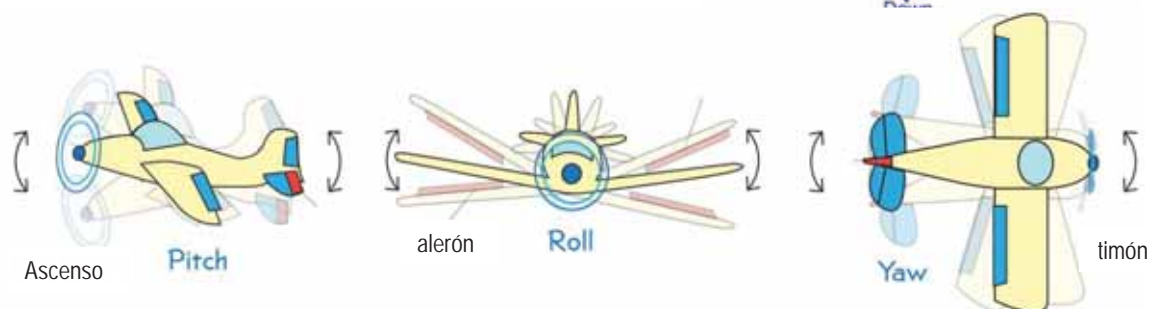
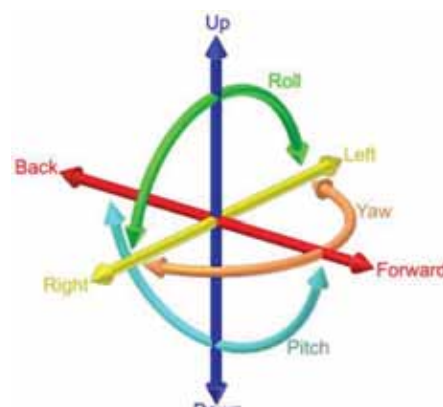
- http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf

4. CONCEPTOS

- **FOTOGRAMETRIA** Técnica para obtener mapas y planos de grandes extensiones de terreno por medio de la fotografía aérea.
- **PUNTOS DE CONTROL (GCP)** Los puntos de control (GCP Geodetic Control Point) son distribuidos en terreno adecuadamente y se establecen con marcas o vértices fotos identificables.
- **SOFTWARE AGISOFT PHOTOSCAN PROFESSIONAL** Agisoft PhotoScan Professional permite generar nubes de puntos densas georreferenciadas, modelos digitales de elevación y orto mosaicos de un conjunto de imágenes superpuestas con el correspondiente referenciando y ajuste bajo puntos de control.
- **ORTOFOTOGRAFÍA** es una presentación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones. Combina las características de detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano.
- **PITCH** (eje X), **ROLL** (eje Y), **YAW** (eje Z) Imagine tres líneas que atraviesan un avión y se cruzan en ángulo recto en el centro de gravedad del avión.

- La rotación alrededor del eje de adelante hacia atrás se llama balanceo (eje X)
- La rotación alrededor del eje de lado a lado se llama tono (eje Y)
- La rotación alrededor del eje vertical se llama guiñada (eje Z)

Ángulos de orientación (pitch, roll, yaw) referidos al sistema cartesiano (x, y, z)



Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 3 de 20
-------------	---	-------------------------------------

- **NADIR** En astronomía se denomina nadir a la intersección entre la vertical del observador y la esfera celeste. En el contexto de los sensores remotos, el término nadir se refiere a la disposición de los instrumentos de observación orientados de manera perpendicular a la superficie terrestre. Por extensión, nadir también se usa para referirse al punto más bajo o al momento de mayor adversidad de un proceso.
- **PIXEL** (acrónimo del inglés picture element, 'elemento de imagen'), es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital. Un megapíxel o megapixel (Mpx) equivale a 1 millón de píxeles, a diferencia de otras medidas usadas en la computación en donde se suele utilizar la base de 1024 para los prefijos, en lugar de 1000, debido a su conveniencia respecto del uso del sistema binario. Para saber el número total de píxeles de una cámara, basta multiplicar el ancho de la imagen máxima que puede generar por el alto de la misma —desactivando previamente el zoom digital—; también es posible dividir el número de píxeles de ancho entre el número correspondiente al alto, y conocer la proporción de la imagen obtenida.

Formato	<u>Resolución de pantalla</u>	<u>Relación de aspecto</u>	Megapíxeles
480i	720 × 480	1.333:1 (4:3)	0.3
576i	720 × 576	1.333:1 (4:3)	0.4
SVGA	800 × 600	1.333:1 (4:3)	0.5
XGA	1024 × 768	1.333:1 (4:3)	0.8
720p	1280 × 720	1.78:1 (<u>16:9</u>)	0.9
HD+	1600 × 900	1.78:1 (<u>16:9</u>)	1.4
1080p	1920 × 1080	1.78:1 (<u>16:9</u>)	2.1
WQHD	2560 × 1440	1.78:1 (<u>16:9</u>)	3.7
2160p (4K UHD)	3840 × 2160	1.78:1 (<u>16:9</u>)	8.3
4320p (8K UHD)	7680 × 4320	1.78:1 (<u>16:9</u>)	33.2

- **GSD *ground sample distance***. Es la distancia en el suelo que separa los centros de dos píxeles adyacentes de una fotografía aérea tomada con disposición nadir. Da información sobre la resolución de una ortofotografía.

Cálculo de los errores máximos: Es imprescindible saber cuál es el error máximo que se puede cometer al orientar los modelos, tanto en la orientación relativa como en la absoluta. Por ello, uno de los pasos previos a la toma de los puntos es la realización del cálculo de los errores máximos. Para

Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 4 de 20
-------------	---	-------------------------------------

saber cuáles son los errores permitidos en la orientación es necesario saber la relación existente entre el GSD y la escala de restitución que corresponde a cada uno de ellos:

Tamaño de pixel (cm)	Escala de restitución
50	1/10,000
25	1/5,000
10	1/1,000
7	1/500

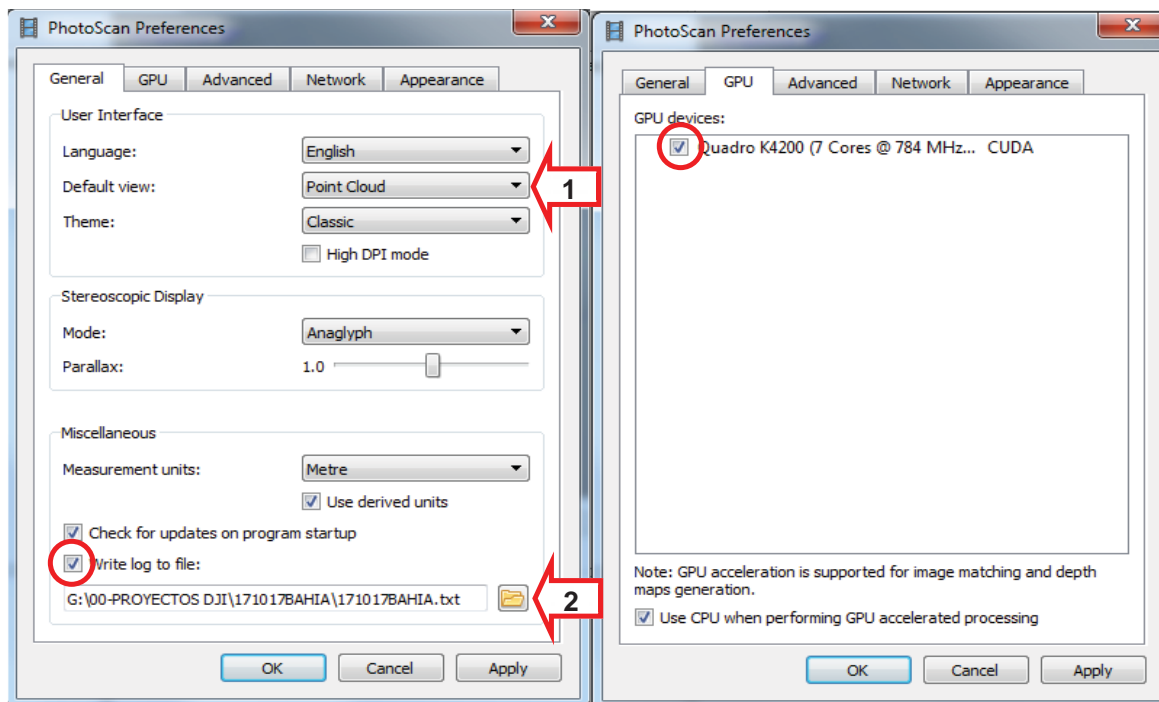
Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 5 de 20
-------------	---	-------------------------------------

5. CONFIGURACIÓN INICIAL

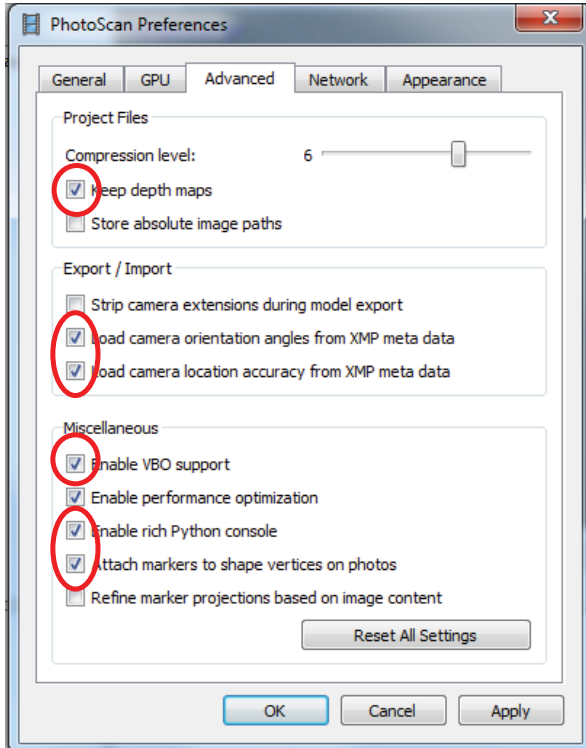
Para la versión 1.3.2 que revisaremos se requieren realizar configuraciones previas. Primero se descargará el modelo geoidal EGM2008 1x1 (archivo egm2008-1) de la página <http://www.agisoft.com/downloads/geoids/> este archivo se guardara en la ruta *C:\Program Files\Agisoft\PhotoScan Pro\geoids*.

Para la configuración del Geoid ver el punto 8.

Abrir el cuadro de Preferences ubicado Tools de la barra de menú



Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 6 de 20
-------------	---	-------------------------------------



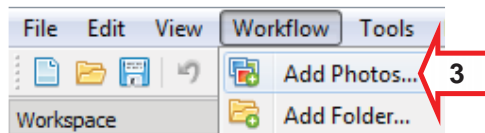
✓ En la Pestaña **General** se define lo siguiente:

- **1:** Definir presentación como nube de puntos
- **2:** Ubicar dentro del proyecto el archivo de reportes del programa para ello se requiere que este activo la opción *Write log to file*.

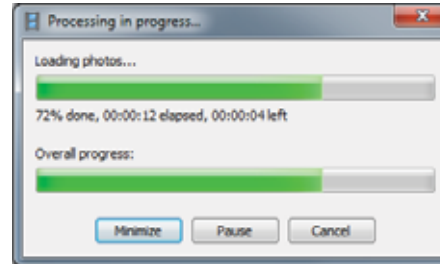
✓ En la pestaña **GPU** activar la opción de la tarjeta de video

✓ En la pestaña **Advanced** activar las opciones indicadas

6.1. IMPORTARCIÓN DE FOTOS



- ✓ **3:** La opción abrirá la ventana para ubicar la carpeta de fotos, seleccionar e importar

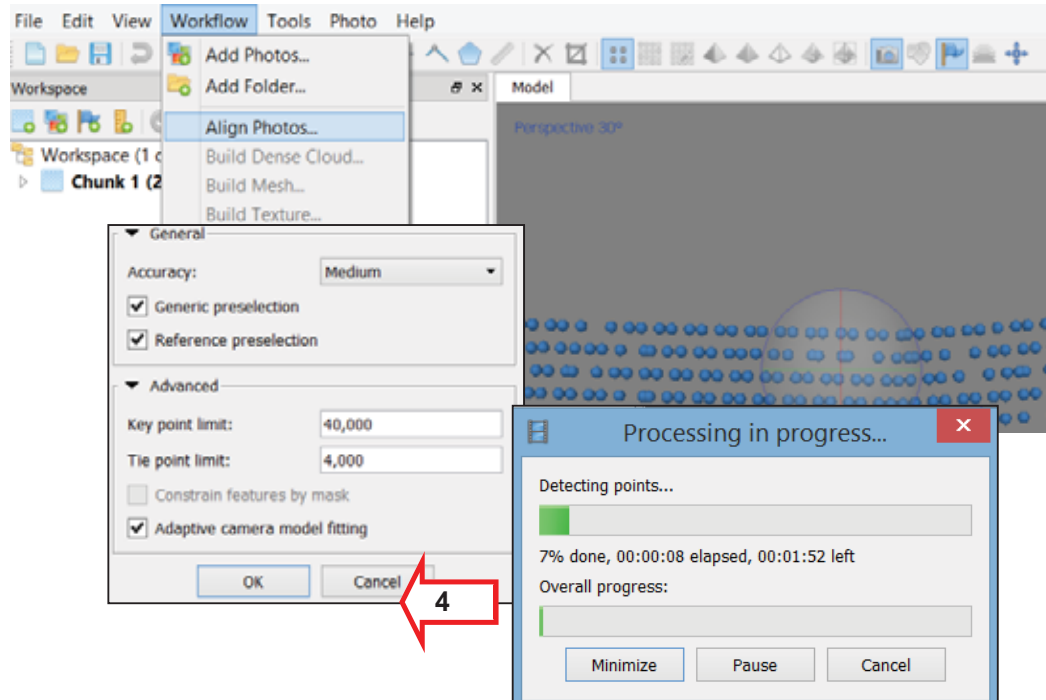


6. FLUJO DE TRABAJO

6.2. ALINEACIÓN DE FOTOS

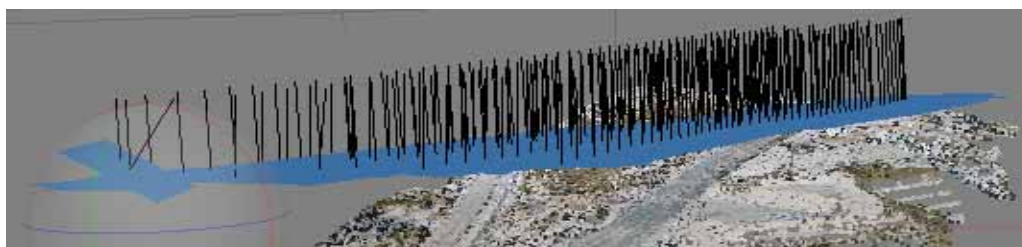
En la barra de menú **Workflow / Align Photos**. En esta etapa, PhotoScan calculara una orientación interna y una nube 3D de los puntos con correspondencia entre imagenes superpuestas, calcula la cámara posición para cada foto y construye el modelo de nube de puntos dispersos. Establezca los parámetros de configuración recomendados para la ventana *Align Photos*.

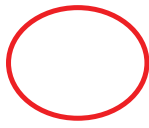
Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 7 de 20
-------------	--	-------------------------------------



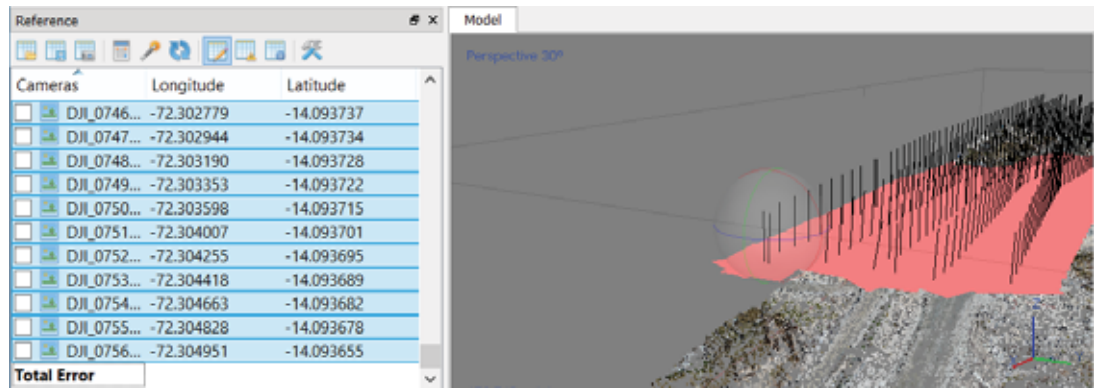
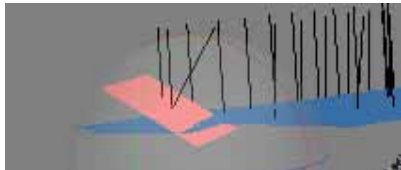
5

- ✓ 4: La opción alinea las fotos según posición registrada para el caso del modelo DJI, la imagen importada contiene toda la información de posición y parámetros Yaw (Guinada), Pitch (Cabeceo) y Roll (Alabeo).
- ✓ 5: La ventana de alineamiento u orientación de fotos, para nuestro caso debe estar configurada como Accuracy (precisión): Media para que el proceso no se extienda en tiempo.





- ✓ Al término del proceso se debe verificar la correcta orientación de las imágenes de encontrarse alguna imagen con desviación se debe eliminar para no tener problemas en la información que se va a procesar. Click derecho sobre la imagen a eliminar, opción eliminar cámaras.
- ✓ Luego se requiere desmarcar las fotos en la pestaña *Reference*



6.3. IMPORTAR PUNTOS DE CONTROL (GCP)

6 (points to the Import CSV button)

VER CONFIGURACIÓN DE DATUM (points to the Coordinate System dropdown)

7 (points to the 'Yes' button in the 'Can't find match for 'T1-1' entry. Create new marker?' dialog)

6: Abrirá la ventana para ubicar la carpeta puntos de control, seleccionar e importar.

7: Desactivar la opción de rotación.

7: Verificar que las celdas correspondan a la ubicación de cada coordenada.

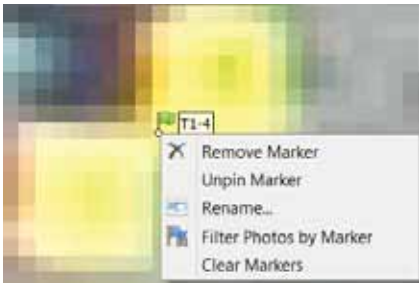
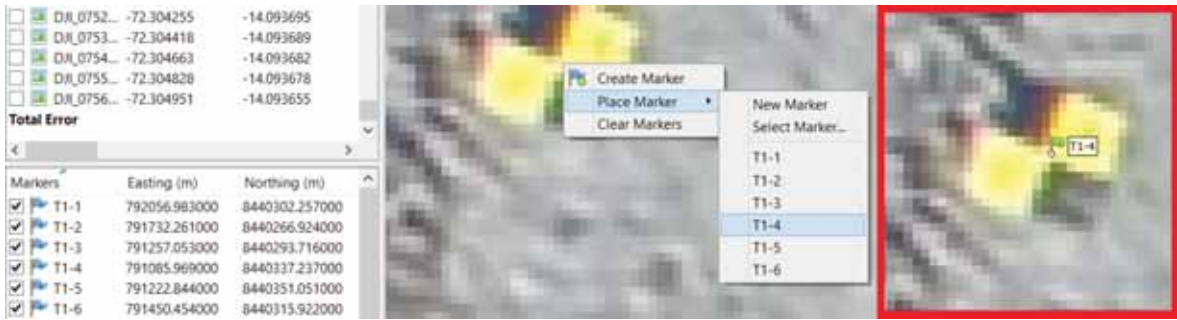
7: Importación de los GCP

Start import at row:	1
Northing	8440351.051
Easting	791222.844
Altitude	3916.813
Label	T1-5
1	8440302.257
2	792056.983
3	3849.067
3	8440266.924
4	791732.261
5	3870.389
6	8440266.924
7	791732.261
8	3870.389

Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 9 de 20
-------------	--	-------------------------------------

Luego de importar la información de debe también importarla en Civil3D o AutoCAD para tener una referencia de la posición de los puntos (marcas), esto facilitara la ubicación de los puntos en el programa.

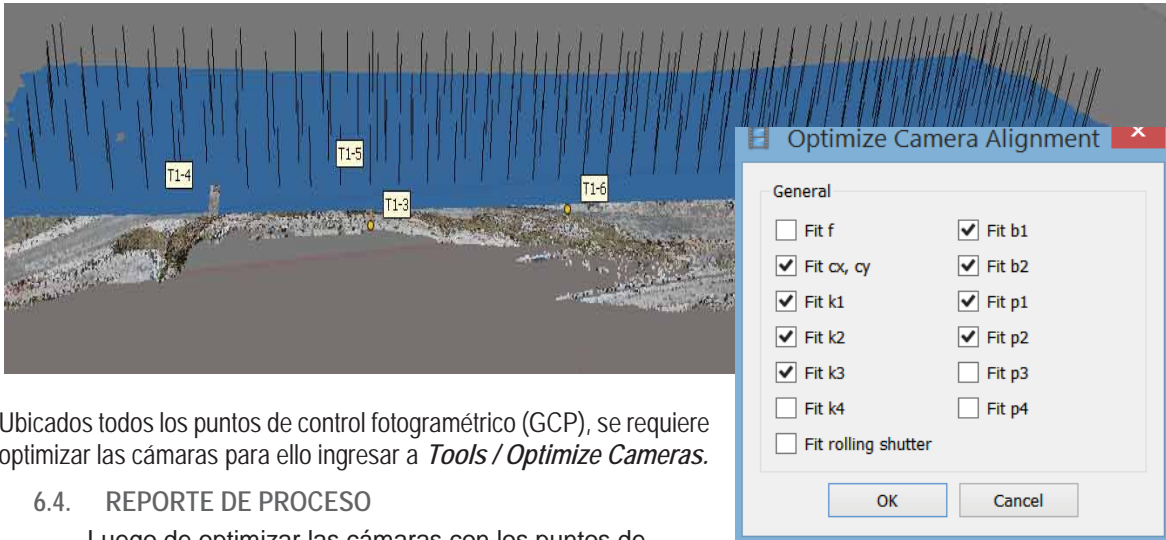
Importados los puntos se deben ir ubicando en las fotos las marcas y asignar las coordenadas correspondientes, click botón derecho y como se indica en la imagen se asigna la coordenada según descripción asignada.



Después de ubicar la segunda marca se podrá filtrar todas las fotos que tengan la misma marca, opción *Filter Photos by Marker*

Aquí en cada foto se debe afinar la ubicación de la marca. Posteriormente luego de que se definieron estas marcas se retira el filtro





Ubicados todos los puntos de control fotogramétrico (GCP), se requiere optimizar las cámaras para ello ingresar a *Tools / Optimize Cameras*.

6.4. REPORTE DE PROCESO

Luego de optimizar las cámaras con los puntos de control establecidos se debe emitir el reporte de proceso para verificar las precisiones obtenidas.

Barra de Menu *File / Generate Report*

Nos mostrara las configuraciones usadas y las precisiones con la que hemos picado los puntos en la imagen como se muestra en la figura.

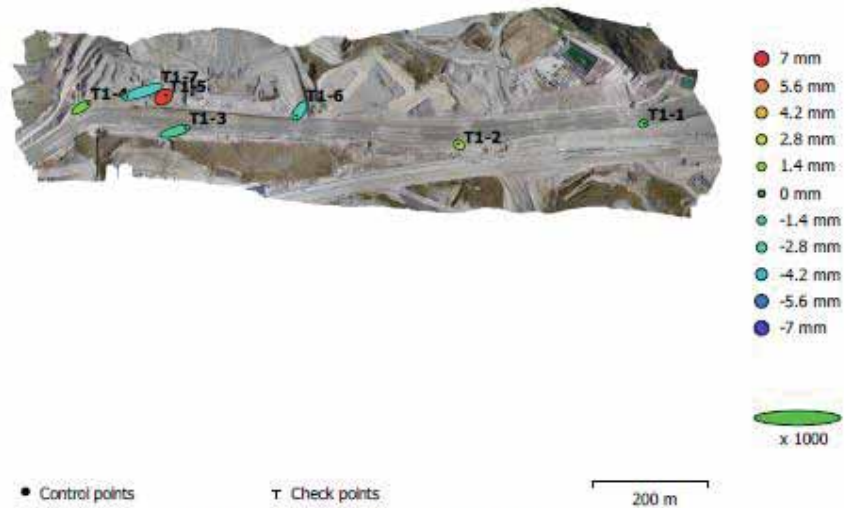


Fig. 3. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
7	2.59402	1.11689	0.327921	2.82425	2.84322

Table 3. Control points RMSE.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 11 de 20
-------------	---	--------------------------------------

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
T1-1	0.359499	0.0891728	-0.0412412	0.372682	0.249 (23)
T1-2	-0.382264	0.341953	0.189547	0.546796	0.343 (21)
T1-3	3.53425	1.01261	-0.218565	3.68295	0.225 (16)
T1-4	2.06226	1.33539	0.11932	2.45976	0.258 (11)
T1-5	0.803283	0.523126	0.671499	1.1704	0.397 (10)
T1-6	-1.10287	-1.66119	-0.306672	2.01741	0.373 (17)
T1-7	-5.31241	-1.66294	-0.328828	5.57631	0.253 (9)
Total	2.59402	1.11689	0.327921	2.84322	0.305

Table 4. Control points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

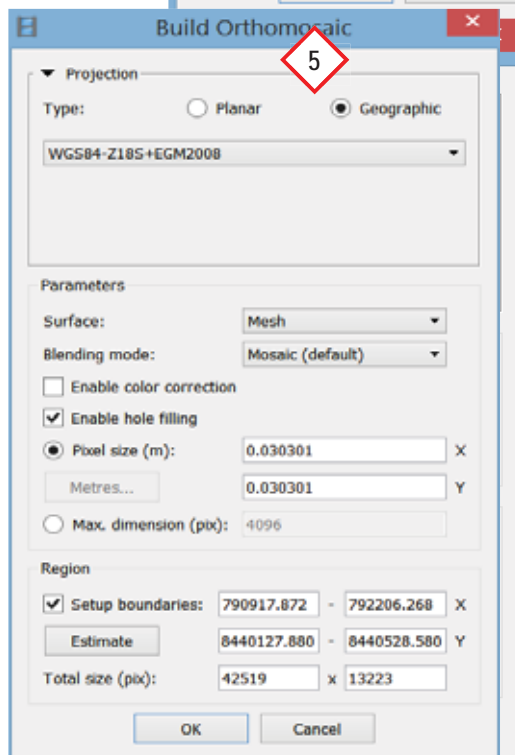
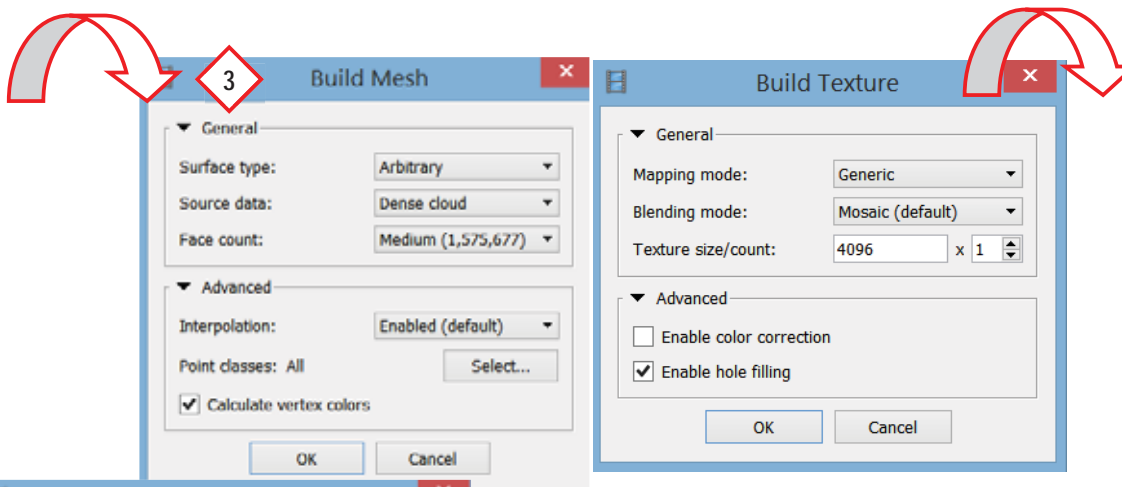
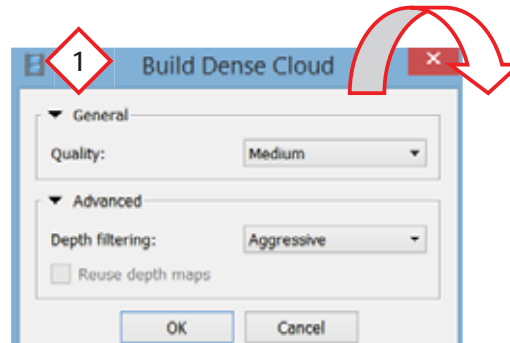
De encontrarse valores elevados en esta tabla se debe verificar los puntos de control desestimar los valores altos. La ubicación, fijación de las marcas, registro del GCP y la picada del punto en la imagen se ve reflejado en este reporte.

Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 12 de 20
-------------	--	--------------------------------------

6.5. PROCESO DE IMÁGENES PASO A PASO

Verificada las precisiones obtenidos se seguira el flujo de trabajo ir a *Workflow* efectuar según lo indicado:

- ✓ 1. **Build Dense Cloud:** Crea una nube de puntos densa
- ✓ 2. **Build Mesh:** Crea una malla basada en la nube
- ✓ 3. **Build Texture:** Crea textura de la malla calculada con resoluciones óptimas y con corrección de color este último es opcional
- ✓ 4. **Build DEM:** Crea un modelo digital de elevaciones o un MDT si se realiza una clasificación de los puntos pertenecientes a la nube densa.
- ✓ 5. **Build Orthomosaic:** Crea ortomosaic (ortofoto) en coordenadas proyectadas



Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 13 de 20
-------------	---	--------------------------------------

Para exportar los productos ingresar por la barra de menú.

File / Export Point Exporta la nube de puntos en formato LAS

Export DEM Exporta el DEM

Export Orthomosaic Exporta el Ortofoto

7. CREAR CURVAS DE NIVEL

Con el levantamiento ya procesados siguiendo los pasos del punto 6 iremos según se indica

✓ 1. *Generar curvas de nivel:* En herremientas (Tools) ir a la opción **Generate Contours**

Se mostrará un cuadro donde indicará la altura máxima y mínima y el intervalo de espaciamiento entre curvas a generar.

1

2

3

✓ 2. *Exportar curvas de nivel:* En herramienta (Tools) ir a **Export / Export Shapes** se mostrará una ventana que permite guardar el archivos en tres formatos *SHP*, *DXF* y *KML*, nombrar el archivo y escoger *DXF*, al salvar se mostrara la ventana donde se debe escoger en el punto 3 el sistema de coordenadas usado para el proceso de la información en Agisoft.

Coordinate System
WGS84-Z18S+EGM2008

Shift: 0 0 0

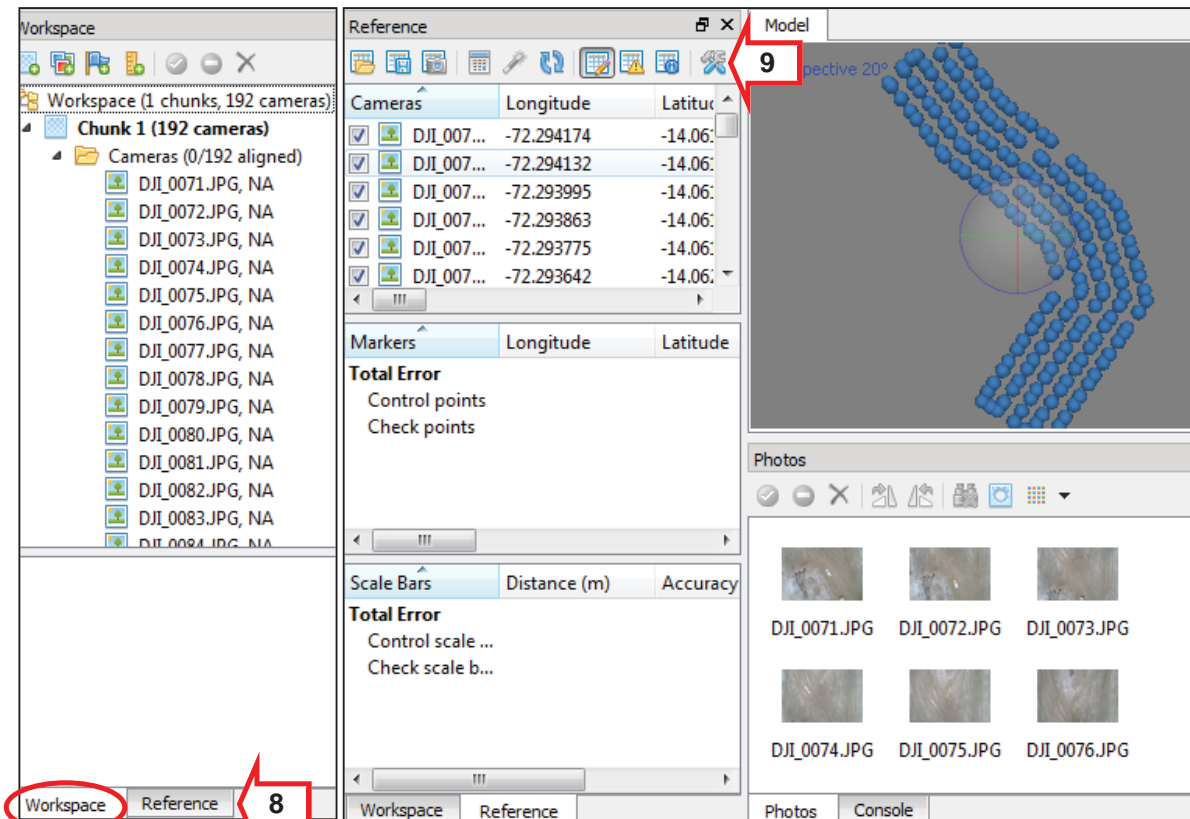
Layers

- No Layer
- Contours (289 polylines, 1,481 polygons)
- Contours (1,448 polylines, 7,382 polygons)


OK Cancel

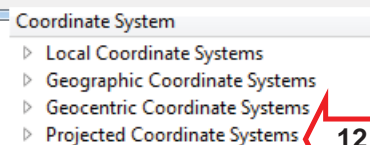
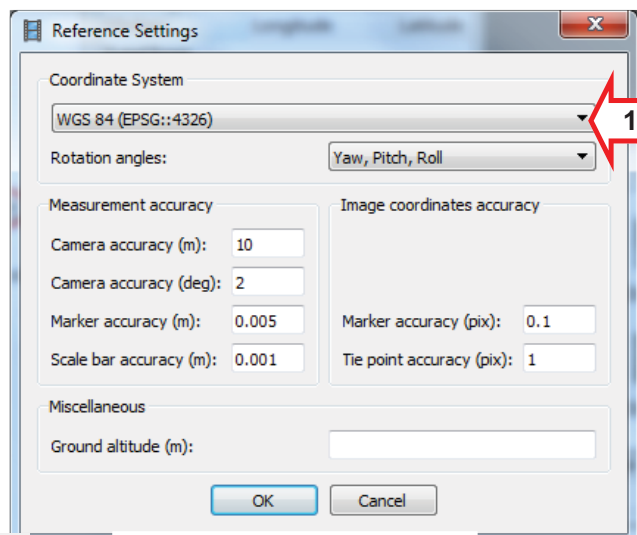
8. CONFIGURACIÓN DE DATUM HORIZONTAL Y VERTICAL

Aquí se configura el sistema de coordenadas su proyección en la zona de trabajo y el modelo geoidal que se usara.



En el espacio de trabajo (*Workspace*) será donde se ubicarán los GCP para georeferenciar la imagen.


- ✓ 8: *Reference* La opción abrirá la ventana configuración de Datum e importación de archivos
- ✓ 9: *Setting*  la ventana referencia de ajuste
- ✓ 10: Despliega las configuraciones del sistema de coordenadas a usar, Datum Horizontal y Datum Vertical seguir los pasos 11, 12, 13 y 14 para la configuración personalizada del Datum

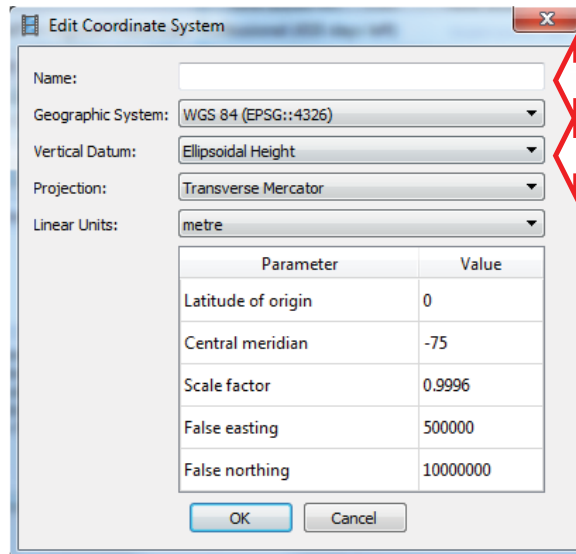


- ▷ WGS 72 Transit Broadcast Ephemeris
- ▷ World Geodetic System 1972
- ▷ World Geodetic System 1984
- ▷ Xian 1980

- ▷ WGS 84 / UTM zone 17N EPSG::32617
- ▷ WGS 84 / UTM zone 17S EPSG::32717
- ▷ WGS 84 / UTM zone 18N EPSG::32618
- ▷ WGS 84 / UTM zone 18S EPSG::32718
- ▷ WGS 84 / UTM zone 19N EPSG::32619

13

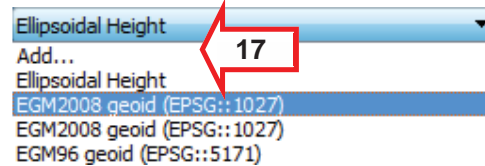
- ✓ En la proyección requerida para nuestro trabajo ir a la opción *Edit* de la  barra de menú de la ventana.



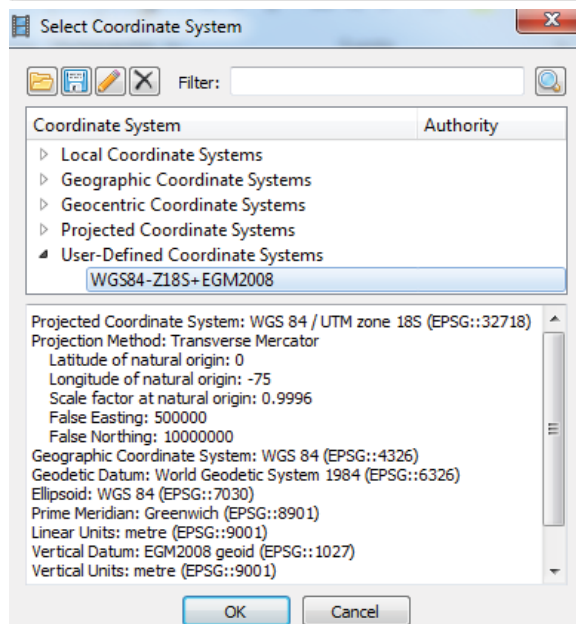
15: Se nombra la configuración ejemplo

WGS84-Z18S+EGM2008

16: Configuración del Datum Vertical



17: Ubicar el modelo y adicionarlo desde la carpeta *geoids*.



Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 16 de 20
-------------	--	--------------------------------------

9. RECORTE DE IMAGEN CON GLOBAL MAPPER

El software permitirá exportar la imagen a formatos que permitan un mejor manejo de la imagen en Autodesk Civil 3D, permite exportar a formatos georreferenciados en ECW, JPG, TIF, etc.

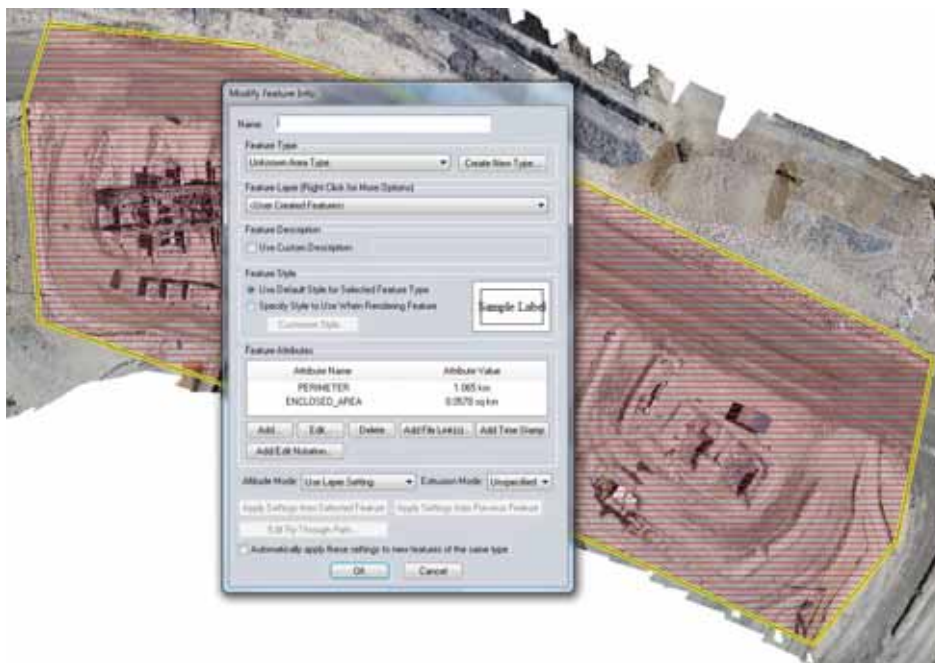
✓ Abrir la imagen *File / Open Data Files(s)... (Ctrl+O)*



✓ Activar la opción Digitizer *Tools / Digitizer... (Alt+D)*




✓ Crear el área con la opción Área Feature,  usar la opción *Create Area Feature*.



Revisión: B	PROCEDIMIENTO PARA EL PROCESO DE IMÁGENES CON EL SOFTWARE AGISOF	Fecha: 28/08/2019 Página 17 de 20
-------------	--	--------------------------------------

Crear el área con el polígono, cerrar (botón derecho de mouse) y guardarla con un nombre ([OK]).

- ✓ Desactivar la opción *Create Area Feature*.  o la usada para generar el perímetro
- ✓ Seleccionar el área marcada picando un borde del polígono

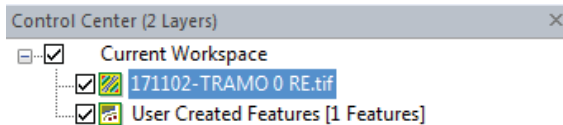


el recorte usar la opción Overlay Center Control

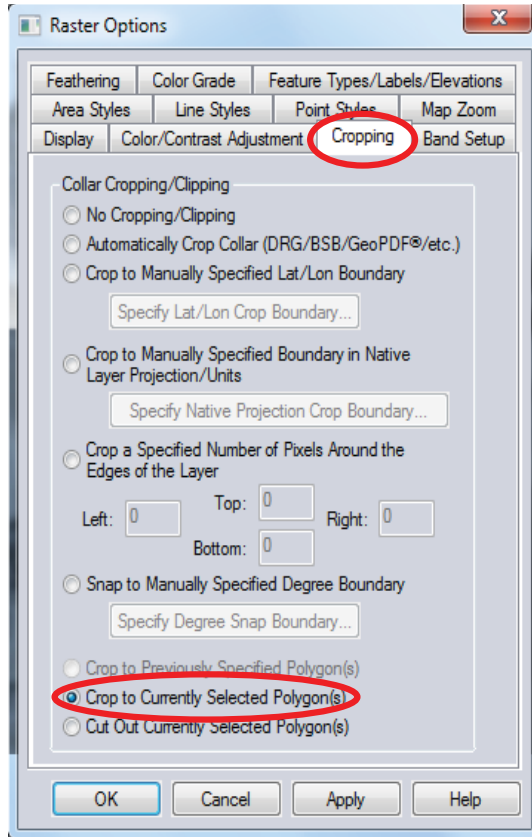
Tools /Center Control ... (Alt+C)

✓ Para definir

- ✓ En la ventana de menú Control Center posicionar el cursor sobre la imagen importada



Botón derecho *Options* o Doble Click sobre la selección marcada, se abre la ventana Raster Option, ir a la pestaña *Cropping* y activar *Crop to Currently Selected Polygon(s)* ([OK]).



- ✓ Exportar la imagen Raster, *File / Export / Export Imagen/Raster Format*. Se abre la ventana *Select Export Format*, se muestra los formatos a exportar. Formatos recomendados para trabajar en Autodesk Civil3D : ECW File, JPG, GeoTIFF. Escoger la opción para mayor resolución de requerirse
- ✓ Guardar e importar al Civil3D con el comando MAPIINSERT, con la opción Georreferenciada activa según sea el formato. Comparación con una misma resolución.

PLATAFORMA 6 Rev 0.ecw	ECW File	25,704 KB
PLATAFORMA 6 Rev 0.jpg	JPEG image	93,966 KB
PLATAFORMA 6 Rev 0.tif	TIFF image	249,285 KB

