

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**“ANÁLISIS DEL VOLUMEN DE MATERIAL APILADO
OBTENIDO DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
CON DRONE COMPARADO CON EL VOLUMEN
OBTENIDO DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
CON ESTACION TOTAL”**

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. Alexander Vásquez Castañeda

ASESOR:

Ing. William P. Quiroz Gonzales

Cajamarca – Perú

2021

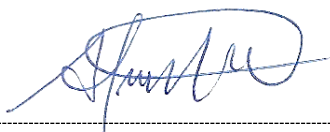
Copyright © 2021 by
Alexander Vásquez Castañeda
Todos los derechos reservados.

AUTORÍA

Yo, Alexander Vásquez Castañeda, identificado con D.N.I. N° 26728714, declaro que la presente tesis que lleva por nombre **“ANÁLISIS DEL VOLUMEN DE MATERIAL APILADO OBTENIDO DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRONE COMPARADO CON EL VOLUMEN OBTENIDO DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL”**, es de mi autoría y responsabilidad, y se han respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos a través de cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Así mismo asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión de la información y documentos aportados.



ALEXANDER VASQUEZ CASTAÑEDA

D.N.I. N° 26728714

Dedico esta investigación a mis padres Santos y Esperanza, a mi esposa Noemi, a mis Hijas Allison y Helen, a mis hermanos Elmer, Rosmery, Verónica y Teddy.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, gracias a Dios por permitirme seguir luchando por mis sueños. No alcanzaría el tiempo para agradecer a mis padres por tanto cariño y por enseñarme los valores fundamentales que hoy rigen mi vida, a mi padre Santos Vásquez y mi madre Esperanza Castañeda les debo la enseñanza de que todo se puede lograr con esfuerzo, dedicación y disciplina, por el amor cotidiano brindado, la preocupación y bondad otorgada en cada momento de mi vida, ambos son mi guía y voluntad.

A mi esposa Noemi por su amor, su comprensión, por ser mi fuente de apoyo, inspiración y confianza, a mis hijas Allison y Helen por el cariño infinito y por ser la motivación más grande que puedo tener para afrontar los desafíos del porvenir, a mis hermanos, a Elmer por su nobleza, a Rosmery por su sencillez, a Verónica por su bondad y a Teddy por su carisma que alegra a toda la familia, además a todos ellos por la ayuda brindada en cualquier circunstancia y por los momentos compartidos a su lado, los llevo grabados en mi mente y mi corazón.

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, a la Facultad de Ingeniería y a la Universidad Nacional de Cajamarca por todas las enseñanzas impartidas durante los años de mi formación profesional.

A mi asesor el Ing. William P. Quiroz Gonzales, por su amistad, por sus consejos, orientación y sus conocimientos compartidos para el desarrollo de la presente tesis.

Finalmente, a todos aquellos allegados míos, amigos y demás familiares, que de una u otra manera me apoyaron para que pueda cumplir esta meta, gracias por su valiosa colaboración.

Alexander.

CONTENIDO

CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	2
1.1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.4. HIPOTESIS	4
1.4.1. Hipótesis general	4
1.4.2. Hipótesis específicas	4
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.6. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.7. OBJETIVOS.....	5
1.7.1. Objetivo general	5
1.7.2. Objetivos específicos	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. ANTECEDENTES	8
2.1.1. Antecedentes internacionales	8
2.1.2. Antecedentes Nacionales	8
2.1.3. Antecedentes Locales	9
2.2. LA TOPOGRAFÍA	9
2.2.1. Historia de la topografía	10
2.2.2. Importancia de la topografía.....	13
2.2.3. División básica de la topografía	14
2.2.4. Levantamientos topográficos.....	15
2.2.5. Tipos Levantamientos	16
2.3. TAQUIMETRÍA	17
2.4. LA ESTACIÓN TOTAL	17
2.4.1. Características.....	18
2.5. DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES (CUBICACIONES).....	18
2.5.1. Volúmenes de solidos elementales	19
2.5.2. Volumen entre secciones transversales	21

2.5.3. Método de las áreas medias	21
2.5.4. Método del prismoide	23
2.6. FOTOGRAMETRIA	25
2.6.1. Reseña histórica de la fotogrametría	25
2.6.2. Clasificación de la fotogrametría.....	27
2.6.3. Fotogrametría terrestre	27
2.6.4. Fotogrametría Aérea.....	28
2.6.5. Fotogrametría Espacial	28
2.6.6. Fotogrametría Analógica	28
2.6.7. Fotogrametría Analítica.....	29
2.6.8. Fotogrametría Digital	29
2.6.9. Aplicaciones de la fotogrametría en la ingeniería civil	30
2.7. PROCESO FOTOGRAMÉTRICO	30
2.7.1. Elementos de fotogrametría.....	31
2.7.2. Formas para determinar la Escala.....	34
2.8. CÁMARAS FOTOGRAMÉTRICAS	36
2.8.1. Cámaras fotogramétricas analógicas	36
2.8.2. Cámaras fotogramétricas digitales.....	36
2.8.3. Cámaras laser (Sensores Lidar)	37
2.9. IMAGEN DIGITAL	37
2.10. EL DRONE	39
2.10.1. Tipos de Drone	39
2.10.2. Componentes de un drone	41
2.11. NORMATIVIDAD VIGENTE	42
2.12. EL VUELO FOTOGRAMÉTRICO.....	44
2.12.1. Levantamiento topográfico con Drone o Levantamiento Fotogramétrico .	45
2.13. PLAN DE VUELO FOTOGRAMÉTRICO CON DRONE.....	46
2.13.1. Planificación de vuelo	46
2.13.2. Apoyo topográfico.....	48
2.13.3. Toma fotográfica	48
2.13.4. Procesado y cálculo	49
2.14. PRODUCTOS FOTOGRAMETRICOS	50
2.14.1. Modelos digitales 3D.....	50
2.14.2. Ortofotografías	51
2.14.3. Planos vectoriales	52
2.15. PRECISIÓN Y EXACTITUD.....	52
2.16. PROCESAMIENTO ELECTRÓNICO DE LA INFORMACIÓN	54

2.16.1. Software para Topografía	54
2.16.2. Software para Fotogrametría.....	56
2.17. TERMINOS RELACIONADOS CON LA TOPOGRAFÍA Y FOTOGRAMETRÍA	57
2.17.1. Agrimensura	57
2.17.2. Geofísica.....	58
2.17.3. Geodesia	58
2.17.4. La Forma de la Tierra	58
2.17.5. Superficie real de la Tierra.	58
2.17.6. Geoide.....	59
2.17.7. Elipsoide	59
2.17.8. Relación entre el Geoide y el Elipsoide.....	60
2.17.9. Sistema de Referencia	60
2.17.10. Marcos de referencia	60
2.17.11. Datum	62
2.17.12. Sistema de Coordenadas	62
2.17.13. Coordenadas Geográficas	62
2.17.14. Coordenadas Proyectadas	63
2.17.15. Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM)	64
2.17.16. Zonas UTM en Perú	65
CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODOS.....	67
3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA	67
3.2. MATERIALES	69
3.3. PROCEDIMIENTO.....	71
3.3.1. Reconocimiento de la zona de estudio	71
3.3.2. Georreferenciación	72
3.3.3. Levantamiento topográfico con estación total.....	74
3.3.4. Levantamiento topográfico con drone	76
3.3.5. Procesamiento de datos y cálculo de volumen	80
3.3.6. Cálculo de Tiempos y Costos	89
3.4. TRATAMIENTO ESTADISTICO, ANALISIS DE DATOS Y PRESENTACION DE RESULTADOS.....	92
3.4.1. Análisis de la variable Volumen.....	93
3.4.2. Análisis de la variable Tiempo	95
3.4.3. Análisis de la variable el Costo	96
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	99
4.1. PARA LA VARIABLE VOLUMEN.....	99

4.2. PARA LA VARIABLE TIEMPO	100
4.3. PARA LA VARIABLE COSTO	101
4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	102
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
5.1. CONCLUSIONES	104
5.2. RECOMENDACIONES	105
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	106
ANEXOS	108
ANEXOS 1: REPORTE DE CALIDAD DE LOS PROCESOS FOTOGRAMETRICOS.	109
ANEXOS 2: PLANO DE UBICACIÓN	136
ANEXOS 2: PLANO DE ACOPIOS DE MATERIALES	138
ANEXOS 3: PLANO DE VOLUMENES CON DATOS DE ESTACION TOTAL	140
ANEXOS 4: PLANO DE VOLUMENES CON DATOS DE DRONE.....	142
ANEXOS 5: PANEL FOTOGRAFICO	144
APENDICES	155
APENDICE 1: LEY N° 30740 (USO Y OPOERACIONES CON RPA)	156
APENDICE 2: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DRONE DJI PHANTOM 4 PRO	161
APENDICE 3: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA ESTACION TOTAL TRIMBLE 5603 DR200+	167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Volumen de solidos elementales	20
Tabla 2. Ventajas y desventajas de la fotogrametría digital.	30
Tabla 3. Ventajas y desventajas de drone de ala fija.	40
Tabla 4. Ventajas y desventajas de drone multirotor	40
Tabla 5. Cuadro de coordenadas de BMs y Puntos de Apoyo	73
Tabla 6. Cuadro de GCP para el vuelo 01	78
Tabla 7. Cuadro de GCP para el vuelo 02	78
Tabla 8. Cuadro de GCP para el vuelo 03	79
Tabla 9. Volúmenes resultados de Lev. Topográfico con estación total.....	82
Tabla 10. Volúmenes Lev. Topográfico con Drone	89
Tabla 11. Tiempos Proceso con Estación Total	90
Tabla 12. Tiempos Proceso con Drone.....	90
Tabla 13. Costos: Proceso con Estación Total	91
Tabla 14. Costos: Proceso con Drone.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Carretera Abra Toccto – Vilcashuaman, Tramo: Condorcocha – Vilcashuaman	5
Figura 2. La dioptra y la groma	11
Figura 3. Estación total Trimble 5603-DR200 y GPS Receptor GNSS Trimble R8.....	12
Figura 4. Sistema móvil de mapeo IP-S2 3D	13
Figura 5. Escáner de láser Leica HDS 3000 y Graficadora Intergraph Image Station Z	13
Figura 6. Partes de un instrumento de Estación Total Leica	18
Figura 7. Tipos de secciones transversales	21
Figura 8. Volumen entre secciones del mismo tipo	22
Figura 9. Volumen entre secciones de diferente tipo	22
Figura 10. Prismoide de secciones transversales	24
Figura 11. Capitán Aimé Laussedat en 1852 y el fototeodolito	26
Figura 12. Satélite Landsat 8	27
Figura 13. Fotogrametría terrestre	27
Figura 14. Fotogrametría Aérea	28
Figura 15. Fotogrametría Espacial	28
Figura 16. Restituidor Analógico	28
Figura 17. Restituidor Analítico	29
Figura 18. Modelo 3D de terreno, de fotogrametría digital.....	29
Figura 19. Visión estereoscópica de un par de fotografías aéreas con recubrimiento....	31
Figura 20. Marcas fieles	31
Figura 21. Diagrama básico de fotogrametría	32
Figura 22. Otros elementos de fotogrametría	33
Figura 23. Solape longitudinal (imagen izquierda) y transversal (imagen derecha).....	33
Figura 24. Línea de vuelo y deriva	34
Figura 25. Cabeceo (imagen izquierda) y alabeo (imagen derecha)	34
Figura 26. Diagrama básico de fotogrametría	35
Figura 27. Geometría de toma	37
Figura 28. Tecnología Lidar, LiDARit Eagle X Laser Camera.....	37
Figura 29. Definición de imagen digital.....	38
Figura 30. Pixel de una imagen digital.....	38
Figura 31. Drone Ala fija ZCOPTERS.....	39
Figura 32. Drone DJI Phantom 4 Pro	41
Figura 33. Drone VTOL WingtranOne	41

Figura 34. Principios de funcionamiento e un drone.....	42
Figura 35. Vuelo fotogramétrico.	44
Figura 36. Tipos de vuelo.....	45
Figura 37. Toma de Fotografías	46
Figura 38. Diagrama básico de fotogrametría	47
Figura 39. Solape lateral A, solape frontal B	47
Figura 40. Ubicación de puntos de control.....	48
Figura 41. Condición de colineación.....	49
Figura 42. Modelo digital de Terreno.....	50
Figura 43. Definición de MDT y MDS	51
Figura 44. Modelo digital de elevación.....	51
Figura 45. Ortofoto.....	52
Figura 46. Plano vectorial.....	52
Figura 47. Ejemplos de precisión y exactitud	53
Figura 48. Cálculo de volumen en Autodesk Civil 3D	55
Figura 49. Elección de dron y plan de vuelo	56
Figura 50. Pix4Dmapper	57
Figura 51. Formas de la tierra.....	58
Figura 52. Relieve terrestre	59
Figura 53. Geoide	59
Figura 54. Geoide	59
Figura 55. Ondulación del geoide.....	60
Figura 56. Sistema de referencia	60
Figura 57. Marco de referencia	61
Figura 58. Modelo elipsoidal - Datum	62
Figura 59. Descripción de coordenadas geográficas	63
Figura 60. Proyección cónica, acimutal y cilíndrica	64
Figura 61. Cuadrícula UTM	64
Figura 62. Zonas UTM de Perú.....	65
Figura 63. Ubicación geográfica del proyecto (Zona UTM 18S).....	67
Figura 64. Ubicación de acopios km 24+300 (L.I.) y km 25+950 (L.D.).....	68
Figura 65. Equipos y personal que participaron en el estudio.....	70
Figura 66. Reconocimiento de la zona de estudio.....	72
Figura 67. Señalización de puntos de control terrestre.....	72
Figura 68. Croquis de BMs y Puntos de Apoyo.....	74
Figura 69. Levantamiento topográfico con estación total	75
Figura 70. Tipos de vuelo en Pix4dcapture	76

Figura 71. Plan de vuelo 01 (km 24+300).....	77
Figura 72. Plan de vuelo 02 (km 24+300).....	77
Figura 73. Plan de vuelo 03 (km 25+950).....	78
Figura 74. Despesque de dron Phantom 4 Pro.....	79
Figura 75. Configuración de dibujo.....	80
Figura 76. Importación de puntos.....	81
Figura 77. Creación de superficies	81
Figura 78. Cálculo de volúmenes	82
Figura 79. Vista de los acopios en Autodesk Civil 3D.....	82
Figura 80. Proyecto nuevo y Selección de imágenes	83
Figura 81. Configuración para procesamiento inicial	84
Figura 82. Georreferenciación de imágenes con los GCP.....	84
Figura 83. Reoptimización del proceso	84
Figura 84. Configuración para Nube de puntos y malla.....	85
Figura 85. Nube de puntos generado del vuelo 01 (km 24+300)	85
Figura 86. Nube de puntos generado del vuelo 02 (km 24+300)	86
Figura 87. Nube de puntos generado del vuelo 03 (km 25+950)	86
Figura 88. Configuración para MDS, Ortomosaico e Índices	87
Figura 89. Reporte de calidad del vuelo 01	87
Figura 90. Delimitación de acopios.....	88
Figura 91. Acopios de agregados, procesados con Pix4Dmapper y Autodesk Civil 3D	89
Figura 92. Volúmenes de los procesos A (V. Estación Total) y B (V. Drones).....	94
Figura 93. Fuente: Elaboración propia	94
Figura 94. Tiempos de procesos muestra A y B.....	96
Figura 95. Costos de procesos muestra A y B.....	97

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ATC	Control de Tránsito Aéreo
BM, MCF	Bench Mark o Marcas de cota fija
CAD	Computer Aided Design (Diseño asistido por computadora)
DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil
ERP	Estacion de Rastreo Permanente
GCP	Ground Control Points (Puntos de control terrestre)
GNSS	Global Navigation Satellite Systems (Sistema global de navegación por satélite)
GPS	Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global)
GRS80	Geodetic Reference System 1980. (Sistema de Referencia Geodésico 1980)
GSD	Ground Sample Distance (Tamaño del píxel en el terreno)
IERS	International Earth Rotation Service (Servicio internacional de rotación de la Tierra)
IGN	Instituto Geográfico Nacional
ITRF2000	International Terrestrial Reference Frame 2000 (Marco internacional de referencia terrestre 2000)
LCD	Liquid Crystal Display (Carátula de cristal líquido)
MDE	Modelo Digital de Elevación
MDS	Modelo Digital de Superficie
MDT	Modelo Digital de Terreno
MED	Medición Electrónica de Distancias
NOTAM	Notice To Airmen (Información para aviadores)
NTC	Norma Técnica Complementaria
REGGEN	Red Geodésica Geocéntrica Nacional
RPA	Remote Piloted Aircraft (Aeronave pilotada a distancia)
RPAS	Remote Piloted Aircraft System (Sistema de aeronaves pilotadas a distancia)
SIRGAS	Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas
UAS	Unmanned Aircraft System (Sistema de aeronave no tripulada)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo aéreo no tripulado)
WGS84	World Geodetic System 1984 (Sistema geodésico mundial 1984)

RESUMEN

El presente estudio lleva por nombre “Análisis del volumen de material apilado obtenido de un levantamiento topográfico con Drone comparado con el volumen obtenido de un levantamiento topográfico con Estación Total”, el estudio se realizó durante la ejecución de la carretera Abra Toccto – Vilcashuaman, Tramo: Condorcocha – Vilcashuaman, en donde la cuadrilla de topografía realizaba los levantamientos topográficos con Estación Total, levantamientos usados para el cálculo de volumen de material apilado, esta actividad tomaba demasiado tiempo y no podía atenderse de manera oportuna otras tareas, de ahí la necesidad de implementar un procedimiento que tome menos tiempo, procedimiento que debía tener resultados iguales o similares a los obtenidos con Estación Total, optando por estudiar los resultados del levantamientos topográficos con Drone para el cálculo de volumen de materiales.

Se calculó el volumen de ocho apilamientos de agregados para la construcción de la Carretera Abra Toccto – Vilcashuaman, Tramo: Condorcocha – Vilcashuaman. Para el cálculo de volumen de agregados se realizó dos tipos de levantamientos topográficos, uno de forma tradicional como base de comparación utilizando una Estación Total y el otro utilizando un Drone. Los datos obtenidos del levantamiento con Estación Total se procesaron en el software Autodesk Civil 3D creando un modelo digital de superficie para su cálculo del volumen. Los datos obtenidos del levantamiento topográfico o fotogramétrico con Drone se procesaron en el software Pix4Dmapper hasta obtener un modelo digital de superficie, este modelo se exporto a Autodesk Civil 3D para su cálculo de volumen. Luego se analizó estadísticamente los resultados con un error permisible de 5%, resultando los volúmenes del procedimiento con Drone mayores en 0.4% a 1.30% (15.98m³ a 22.80m³) a los obtenidos con Estación Total, el procedimiento con Drone tomo 48.85% (11.44 horas) menos que el proceso con Estación Total y el proceso con Drone costo 60.28% (S/.1,593.33) menos que el proceso con Estación Total. Concluyendo que ambos levantamientos dan volúmenes similares, sin embargo, toma mucho menos tiempo y costo realizar el proceso con drone.

Palabras clave:

Topografía, Fotogrametría, Estación Total, Drone, Autodesk Civil 3D, Pix4Dmapper.

ABSTRACT

The present study is called "Analysis of the volume of stacked material obtained from a topographic survey with Drone compared to the volume obtained from a topographic survey with Total Station", the study was carried out during the execution of the Abra Toccto – Vilcashuaman highway, Section: Condorcocha – Vilcashuaman, where the topography crew carried out the topographic surveys with Total Station, surveys used for the calculation of volume of stacked material, this activity took too long and could not be attended in a timely manner other tasks, hence the need to implement a procedure that takes less time, a procedure that should have results equal or similar to those obtained with Total Station, choosing to study the results of the topographic surveys with Drone for the calculation of volume of materials.

The volume of eight aggregate stacks for the construction of the Abra Toccto – Vilcashuaman Highway, Section: Condorcocha – Vilcashuaman was calculated. For the calculation of aggregate volume, two types of topographic surveys were carried out, one traditionally as a basis for comparison using a Total Station and the other using a Drone. The data obtained from the survey with Total Station was processed in the Autodesk Civil 3D software creating a digital surface model for volume calculation. The data obtained from the topographic or photogrammetric survey with Drone were processed in the Pix4Dmapper software until obtaining a digital surface model, this model was exported to Autodesk Civil 3D for volume calculation. Then the results were statistically analyzed with a permissible error of 5%, resulting in the volumes of the procedure with Drone greater by 0.4% to 1.30% (15.98m³ to 22.80m³) to those obtained with Total Station, the procedure with Drone took 48.85% (11.44 hours) less than the process with Total Station and the process with Drone cost 60.28% (S /.1,593.33) less than the process with Total Station. Concluding that both surveys give similar volumes, however, it takes much less time and cost to perform the process with drone.

Keywords:

Topography, Photogrammetry, Total Station, Drone, Autodesk Civil 3D, Pix4Dmapper.

CAPITULO I

INTRODUCCION

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil en su constante búsqueda de resolver la problemática de nuestra sociedad y optimización de los procesos en las diferentes fases de un proyecto de construcción, utiliza nuevas metodología y herramientas tecnológicas.

Una actividad importante en la fase de construcción de obras viales, edificaciones, obras hidráulicas, etc. es el cálculo del volumen de materiales apilados en las plantas de procesamiento, estos agregados permiten el desarrollo de otras actividades programadas durante la ejecución de obra. Tradicionalmente estos volúmenes son calculados con datos de levantamientos topográficos realizados con estación total, sin embargo, hace varios años se ha puesto en uso la tecnología Drone en el campo de la ingeniería, tecnología que también realiza levantamientos topográficos, esta tecnología Drone ha ido reduciendo tamaño y costo, estando al alcance de más personas, es así que a partir de imágenes tomadas por Drones y procedimientos fotogramétricos se crean modelos 3D útiles para el cálculo de volúmenes, entre otros usos como por ejemplo generar curvas de nivel, ortofotos, telemetría, etc.

Estos procedimientos con Drone son poco conocidos, así como la fiabilidad de sus resultados, de ahí la motivación para la presente investigación, enfocada en analizar el cálculo de volúmenes de materiales apilados con datos de un levantamiento topográfico con Dron, debido al poco tiempo disponible para realizar esta actividad con una Estación Total, durante la ejecución de la obra “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Abra Toccto – Vilcashuaman, Tramo: Condorcocha – Vilcashuaman” (Long. 53+425 km).

Una vez realizado el cálculo de volumen de agregados con datos de un Dron Phantom 4 Pro se analiza si los resultados son similares a los obtenidos con datos de una Estación Total Trimble 5603 DR200+, además del tiempo y costo tomando como base de comparación a los resultados obtenidos del proceso con Estación total.

La tesis consta de cinco capítulos, constituidos tal como se detalla a continuación,

Capítulo I. En este capítulo se presenta la introducción de la investigación, el planteamiento del problema, la hipótesis, la justificación, los alcances y objetivos.

Capítulo II. En el segundo capítulo se presenta los conceptos fundamentales y las definiciones de los elementos básicos que componen la Topografía y Fotogrametría.

Capítulo III. Se describe las herramientas y metodologías para el análisis del cálculo de volúmenes de agregados a partir de datos tomados con la estación total y el dron.

Capítulo IV. En el cuarto capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

Capítulo V. En el quinto capítulo se expresan las conclusiones respecto a los objetivos planteados y se menciona algunas recomendaciones.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante la ejecución de la carretera Abra Toccto – Vilcashuaman, Tramo: Condorcocha – Vilcashuaman, el cálculo de volumen de materiales apilados (agregados producidos en la planta de procesamiento de materiales) se realizaba mediante levantamientos topográficos con Estación Total, esta actividad le tomaba demasiado tiempo a la cuadrilla de topografía y no podía atender de manera oportuna otras tareas como el replanteo de las explanaciones y obras de arte, teniendo que implementarse otro procedimiento que tome menos tiempo, procedimiento cuyos resultados deben ser iguales o similares a los obtenidos con Estación Total y que no exceda los costos de dicha actividad.

De ahí la necesidad en la presente tesis de estudiar el procedimiento con Dron, procedimiento que es más versátil pero del que se desconoce si sus resultados en el cálculo de volumen de materiales apilados son iguales o similares a los obtenidos con Estación Total.

De lo expuesto, se plantea realizar el levantamiento topográfico con Dron Phantom 4 Pro para el cálculo del volumen de material apilado, luego analizar y contrastar los resultados respecto al proceso realizado con una Estación Total Trimble 5603 DR200+.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la variación del volumen de material apilado obtenido de un levantamiento topográfico con Dron Phantom 4 Pro, respecto al volumen obtenido con Estación Total Trimble 5603 DR200+?

1.4. HIPOTESIS

1.4.1. Hipótesis general

El volumen de material apilado obtenido de un levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro tiene una variación menor al 5% respecto al volumen obtenido de un levantamiento topográfico con Estación Total Trimble 5603-DR200, siendo los volúmenes de ambos procedimientos estadísticamente similares.

1.4.2. Hipótesis específicas

- El cálculo de volumen de material apilado con un levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro, requiere menor tiempo que realizarlo con una Estación Total Trimble 5603 DR200+.
- El cálculo de volumen de material apilado con un levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro, resulta más económico que realizarlo con una Estación Total Trimble 5603 DR200+.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la actualidad el uso de vehículos aéreos no tripulados llamados Drones, se ha incrementado significativamente en el campo de la ingeniería civil, específicamente en la topografía y cartografía, desde que se utilizaron los primeros globos en los que se montaron sensores fotogramétricos (cámaras) hasta llegar a los Drones. Esto debido al desarrollo de los componentes electrónicos que los forman, los cuales han ido reduciendo el tamaño y precio, pero aumentando sus funciones.

Sin embargo, para los ingenieros son poco conocidas las etapas del levantamiento topográfico con Drone y la fiabilidad de los resultados, es así que, el presente estudio analiza la similitud o igualdad de resultados, el tiempo y costo del cálculo de volumen de agregados apilados mediante el levantamiento topográfico utilizando un Drone y los contrasta con los resultados del proceso con Estación Total.

1.6. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En esta investigación se limita a analizar la variación en el cálculo de volumen de materiales que tiene un levantamiento topográfico con Drone respecto a un levantamiento topográfico con Estación total, además del tiempo y costo que toman ambos procedimientos.

Estudio realizado en el departamento de Ayacucho, provincia de Vilcashuaman, distrito de Vischongo, durante la ejecución de la “Carretera Abra Toccto – Vilcashuaman, Tramo: Condorcocha – Vilcashuaman” de 53.425 km de longitud; donde se analizó 08 apilamientos de agregados producidos en dos plantas de procesamiento de materiales, una ubicada en el km 24+300 (L.I.) y la otra en el km 25+950 (L.D.)

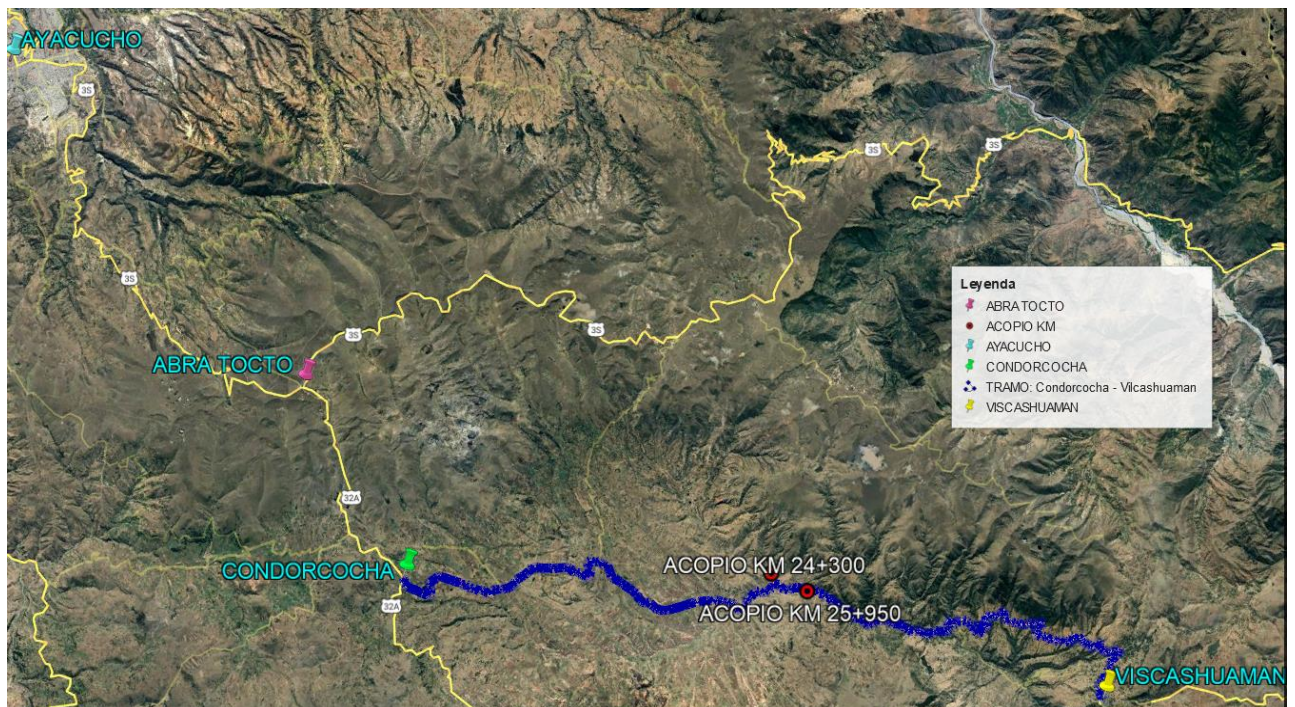


Figura 1. Carretera Abra Toccto – Vilcashuaman, Tramo: Condorcocha – Vilcashuaman

Fuente: Google Earth Pro

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. Objetivo general

- Determinar si el volumen de material apilado obtenido de un levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro es estadísticamente similar al de un levantamiento topográfico con Estación Total Trimble 5603 DR200+.

1.7.2. Objetivos específicos

- Identificar si el procedimiento con Drone DJI Phantom 4 Pro toma menos tiempo que con Estación Total Trimble 5603 DR200+.
- Identificar si el procedimiento con Drone DJI Phantom 4 Pro es más económico que con Estación Total Trimble 5603 DR200+.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Existen antecedentes de estudios acerca del uso de drones en el campo de la ingeniería civil, a nivel internacional, nacional, pero a nivel local son muy escasos, es por ello que recurrimos a algunas investigaciones realizadas como guía en el desarrollo de la presente tesis.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Daza (2015) en su tesis presentada en la Universidad Militar Nueva Granada de Bogotá, Colombia, titulada “Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector Tulua – Rio Frio” realizó un estudio con el objetivo de implementar modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de 12,62 Km de una vía en rehabilitación en el departamento del Valle del Cauca en el Sector Tulua – Rio Frio, realizando 14 comparaciones de modelos digitales de topografía con drones y topografía convencional, concluyendo las condiciones topográficas en el que se desarrolla el corredor vial son muy buenas; los levantamientos topográficos realizados con drones permiten ser utilizados en gran cantidad de proyectos de consultoría ya que economizan tiempo en la recolección de información, presentando alta precisión; en el diseño de vías se recomienda trabajar con las dos técnicas de captura en forma conjunta ya que la topografía convencional proporciona información más detallada lo que permite hacer una mejor descripción de obras, mientras que la topografía con drone permite capturar una amplia zona del terreno con mayor precisión.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

En el ámbito nacional, se tiene a Tacca (2015) en su tesis presentada en la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, titulada “Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional” realizó una investigación con el objetivo general de comparar los resultados del método drone y del software Pix4D Mapper, y el método directo, mediante un estudio comparativo en el que se empleó la toma de datos con una estación total Leica TS 02 de 5”, de todos los puntos resaltantes tales como desniveles y cambios de pendiente de la excavación así como del acopio

del material, así como las tomas fotográficas aéreas, mediante el apoyo del drone Phantom 2 Visión.

Entre las principales conclusiones obtuvo que los datos obtenidos en campo tomados con el drone Phantom 2 Visión + y las medidas obtenidas con la estación total, ambos equipos georreferenciados, tienen resultados muy similares, sin embargo, el primer método es el menos costoso por su versatilidad esto con un 95% de confianza; los cálculos de volúmenes y excavaciones con el uso de la fotogrametría y el drone Phantom 2 Visión +, se realiza en menor tiempo que con la estación

2.1.3. Antecedentes Locales

En nuestra ciudad, aun no contamos con estudios en que se contemple el uso de vehículos aéreos no tripulados llamados DRONES.

Sin embargo, podemos acotar que a nivel nacional ya contamos la ley 30740, publicada en el peruano el 22-03-2018, Ley que regula el uso y las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS).

2.2. LA TOPOGRAFÍA

La topografía tiene por objeto medir extensiones de tierra tomando los datos necesarios para poder representar sobre un plano, a escala, su forma y accidentes, etimológicamente proviene del griego topos y grapho, que significa lugar y describir. (Torres & Villate , 2000, p. 17)

Sin embargo, en un sentido más general, la topografía se puede considerar como la disciplina que comprende todos los métodos para medir y recopilar información física acerca de la Tierra y nuestro medio ambiente, procesar esa información y difundir los diferentes productos resultantes a una amplia variedad de clientes.

La topografía sirve como base para la mayor parte de los trabajos de ingeniería, pues la elaboración de un proyecto se hace después de que se tengan los datos y planos topográficos que representan fielmente todos los accidentes del terreno sobre el cual se va a construir la obra.

La topografía, recientemente también se ha denominado **geomática** de manera alternativa. (Wolf & Ghilani, 2016, p. 3)

- **La Geomática**, es un término relativamente nuevo que en la actualidad se está aplicando comúnmente para abarcar las áreas de la práctica antes conocida como topografía.

La principal razón que se cita para hacer el cambio de nombre es que la manera y el alcance de la práctica de la topografía han cambiado radicalmente en años recientes. Esto ha ocurrido en parte debido a los recientes avances tecnológicos que han proporcionado a los topógrafos nuevas herramientas de medición o de recopilación de información o ambas, para el cálculo, la presentación y difusión de la información. También ha sido impulsado por la creciente preocupación acerca del medio ambiente desde los puntos de vista local, regional y global, por lo que se han aumentado los esfuerzos de monitoreo, administración y regulación del uso de nuestro suelo, agua, aire y otros recursos naturales. Estas circunstancias y otras han ocasionado un amplio incremento de exigencias de información nueva espacialmente relacionada.

2.2.1. Historia de la topografía

Los registros históricos más antiguos sobre topografía afirman que esta ciencia se originó en Egipto. Heródoto escribió que Sesostris (alrededor del año 1400 a.C.) dividió Egipto en lotes para el pago de impuestos. Las inundaciones anuales del río Nilo arrastraban parte de estos lotes y se designaban topógrafos para redefinir los linderos. A estos topógrafos antiguos se les llamaba estiracuerdas, debido a que sus medidas se hacían con cuerdas que tenían marcas unitarias a determinadas distancias. (Wolf & Ghilani, 2016, pp. 4-9)

En Grecia Herón alrededor del año 120 a.C. fue el autor de varios tratados importantes que interesaron a los topógrafos, uno de los cuales fue “La Dioptra”, en el cual relacionó los métodos de medición de un terreno, el dibujo de un plano y los cálculos respectivos.

En Roma uno de los escritos más conocidos sobre el tema fue el de “Frontinus”, y aunque el manuscrito original se perdió, se han conservado partes copiadas de su trabajo.

Usaron e inventaron ingeniosos instrumentos, entre éstos figuran la groma, que se usó para visar; la libela, que era un bastidor en forma de A con una plomada usado para nivelación, y

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



Figura 2. La dioptra y la groma

Fuente: Wolf y Ghilani, 2016

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

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

En el siglo XIII Von Piso escribió la “Practica Geometría”, la cual contenía instrucciones sobre topografía. También fue el autor de “Liber Quadratorum”, que trata principalmente del quadrans, que era un bastidor cuadrado de latón con un ángulo de 90° y otras escalas graduadas. Se usaba un puntero móvil para visar. Otros instrumentos de esa época fueron el astrolabio y el báculo de cruz.

Eratóstenes calculó que la circunferencia de la Tierra medía cerca de 25,000 mi, su valor, aunque algo mayor, fue asombrosamente cercano al aceptado en la actualidad 24,901 mi.

En los siglos XVIII y XIX el arte de la topografía avanzó más rápido. La necesidad de mapas y de deslindar las fronteras con otros países ocasionaron que Inglaterra y Francia realizaran extensos levantamientos que requirieron triangulaciones precisas. De esta manera comenzaron los levantamientos geodésicos. El U. S. Coast Survey (ahora llamado National Geodetic

Survey del Departamento de Comercio de Estados Unidos) fue instituido en 1807 por una ley del Congreso.

La topografía llegó a tener un lugar destacado debido al incremento del valor de la tierra y a la importancia de lograr límites precisos, además de enfrentar un sinnúmero de necesidades civiles crecientes, la topografía siempre ha desempeñado un papel muy importante en la estrategia militar, también contribuyó y se benefició de los programas espaciales.

Actualmente el desarrollo de los equipos de topografía y de mapeo ha evolucionado hasta el punto en el cual los instrumentos tradicionales que se usaron hasta las décadas de los sesenta y los setenta (el tránsito, el teodolito, el nivel rígido o de antejo corto y la cinta de acero) han sido reemplazados casi completamente por un grupo de instrumentos nuevos de “alta tecnología”. Éstos incluyen los instrumentos electrónicos de estación total y los Sistemas satelital de Navegación global (GNSS). Los instrumentos de escaneado con láser combinan las mediciones automáticas de distancias y ángulos para calcular retículas densas de puntos coordenados. También se han desarrollado nuevas cámaras aéreas e instrumentos de percepción remota que suministran imágenes en forma digital, y éstas pueden procesarse para obtener información espacial y mapas usando nuevos instrumentos de restitución fotogramétrica digital (también llamados graficadores de presentación transitoria).



Figura 3. Estación total Trimble 5603-DR200 y GPS Receptor GNSS Trimble R8

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ En el presente estudio como parte de los equipos se utilizó la Estación total Trimble 5603-DR200.

El GPS (Sistema de Posicionamiento Global) es un sistema de medición tridimensional, que utiliza el radio que proporciona los sistemas satelitales de navegación.



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

Fuente: Wolf y Ghilani, 2016

El sistema de mapeo móvil 3D de la Figura 3 es un sistema integrado que consta de escáneres, un receptor GNSS, una unidad de medición inercial, y una cámara digital hemisférica de alta calidad.



Figura 5. Escáner de láser Leica HDS 3000 y Graficadora Intergraph Image Station Z

Fuente: Wolf y Ghilani, 2016

2.2.2. Importancia de la topografía

La topografía es una de las artes más antiguas e importantes porque, como se ha observado, desde los tiempos más remotos ha sido necesario marcar límites y dividir terrenos. (Wolf & Ghilani, 2016, pp. 10-11)

En la era moderna, la topografía se ha vuelto indispensable. Los resultados de los levantamientos topográficos de nuestros días se emplean para:

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

La topografía desempeña un papel sumamente importante en muchas ramas de la ingeniería. Por ejemplo, los levantamientos topográficos son indispensables para planear, construir y mantener carreteras, vías ferroviarias, sistemas viales de tránsito rápido, edificios, puentes, rangos de proyectiles, bases de lanzamiento de cohetes, estaciones de rastreo, túneles, canales, zanjas de irrigación, presas, obras de drenaje, fraccionamiento de terrenos urbanos, sistemas de abastecimiento de agua potable y disposición de aguas residuales, tuberías y tiros de minas. Los métodos topográficos se emplean comúnmente en la instalación de líneas de ensamble industrial y otros dispositivos de fabricación. Estos métodos también se usan para dirigir la fabricación de equipo grande, tal como aeroplanos y barcos, donde las piezas por separado que se han ensamblado en diferentes lugares deben finalmente armarse como una unidad. La topografía es importante en muchas actividades relacionadas con la agronomía, la arqueología, la astronomía, la silvicultura, la geografía, la geología, la geofísica, la arquitectura del paisaje, la meteorología, la paleontología y la sismología, pero sobre todo en obras de ingeniería civil.

2.2.3. División básica de la topografía

La topografía se puede dividir en dos grandes ramas. (Torres & Villate , 2000, p. 19)

- **La Planimetría**, solo toma en cuenta la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario que, se supone es la superficie media de la tierra.
- **La Altimetría**, tiene en cuenta las diferencias de nivel existentes entre los distintos puntos de un terreno.

Para la elaboración de un “plano topográfico” propiamente dicho, es necesario conocer estas dos partes de la topografía y así poder determinar la posición y elevación de cada punto.

2.2.4. Levantamientos topográficos

Es el proceso de medir, calcular y dibujar para determinar la posición relativa de los puntos que conforman una extensión de tierra, los levantamientos topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno, de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre. (Wolf & Ghilani, 2016, pp. 7-9)

El procedimiento que debe seguirse en un levantamiento topográfico comprende dos etapas fundamentales:

- El trabajo de campo, o sea la recopilación de datos o la localización de puntos.
- El trabajo de oficina, que comprende el cálculo y el dibujo.

Con los datos tomados por el topógrafo sobre el terreno y por medio de procedimientos matemáticos, se calcula, distancias, ángulos, direcciones, coordenadas, elevaciones, áreas o **volúmenes**, según lo requerido en cada caso.

Los levantamientos topográficos se clasifican en dos categorías generales: geodésicos y planos.

- **En la topografía geodésica**, se toma en cuenta la superficie curva de la Tierra, realizando los cálculos en un elipsoide (superficie curva aproximada al tamaño y forma de la Tierra). En la actualidad es más común realizar cálculos geodésicos en un sistema tridimensional con coordenadas cartesianas con centro en la tierra. Los métodos geodésicos se emplean para determinar las ubicaciones relativas de señalamientos separados por una gran distancia y para calcular longitudes y direcciones de líneas extensas entre ellos. Estos señalamientos sirven de base y como referencia para otros levantamientos subordinados de menor magnitud.
- **En la topografía plana**, excepto en nivelaciones, se supone que la base de referencia para los trabajos de campo y los cálculos es una superficie horizontal plana. La dirección de una plomada (y en consecuencia la gravedad) se considera paralela en toda la región del levantamiento y se supone que todos los ángulos que se miden son planos. Para áreas de tamaño limitado, la superficie de nuestro enorme elipsoide es en realidad prácticamente plana. En una línea de 5 mi (8.05 km) de longitud, el arco del elipsoide y la longitud de la cuerda difieren únicamente en 0.02 pies (6.09 mm). Por tanto, es evidente que, exceptuando levantamientos que abarcan áreas muy extensas, la

superficie de la Tierra se puede aproximar a superficie plana, simplificando con ello los cálculos y técnicas.

2.2.5. Tipos Levantamientos

Existen tantos tipos de levantamientos tan especializados que una persona muy experimentada en una de estas disciplinas específicas puede tener muy poco contacto con las otras áreas. (Wolf & Ghilani, 2016, pp. 11-12)

A continuación, se describen brevemente algunos tipos importantes:

- **Los Levantamientos de control** establecen una red de señalamientos horizontales y verticales que sirven como marco de referencia para otros levantamientos.
- **Los Levantamientos topográficos** determinan la ubicación de características o accidentes naturales y artificiales, así como las elevaciones usadas en la elaboración de mapas.
- **Los Levantamientos catastrales** de terreno y de linderos establecen las líneas de propiedad y los vértices de propiedad.
- **Los Levantamientos hidrográficos** definen la línea de playa y las profundidades de lagos, corrientes, océanos, represas y otros cuerpos de agua.
- **Los Levantamientos de rutas** se efectúan para planear, diseñar y construir carreteras, ferrocarriles, líneas de tuberías y otros proyectos lineales.
- **Los Levantamientos de construcción** determinan la línea, la pendiente, las elevaciones de control, las posiciones horizontales, las dimensiones y las configuraciones para operaciones de construcción.
- **Los Levantamientos finales** según obra construida documentan la ubicación final exacta y disposición de los trabajos de ingeniería, y registran todos los cambios de diseño que se hayan incorporado a la construcción.
- **Los Levantamientos de minas** se efectúan sobre la superficie y abajo del nivel del terreno, con objeto de servir de guía a los trabajos de excavación de túneles y otras operaciones asociadas con la minería.
- **Los Levantamientos solares** determinan los límites de las propiedades.
- **La Instrumentación óptica** es un método para realizar mediciones extremadamente precisas en procesos de manufactura donde se requieren pequeñas tolerancias.

- **Los levantamientos terrestres, aéreos y por satélite,** Los levantamientos terrestres utilizan medidas realizadas con equipo terrestre tales como niveles automáticos e instrumentos de estación total. Los levantamientos aéreos pueden lograrse ya sea utilizando la fotogrametría o a través de percepción remota. Los levantamientos por satélite incluyen la determinación de sitios en el terreno a partir de mediciones hechas en los satélites que usan receptores GNSS, o el uso de imágenes por satélite para el mapeo y observación de grandes regiones de la superficie de la Tierra.

2.3. TAQUIMETRÍA

Por definición la taquimetría, es el procedimiento topográfico que determina en forma simultánea las coordenadas Norte, Este y Cota de puntos sobre la superficie del terreno. (Casanova, 2012, Cap. 7-1)

Este procedimiento se utiliza para el levantamiento de detalles y puntos de relleno en donde no se requiere de grandes precisiones. Hasta la década de los 90, los procedimientos topográficos se realizaban con teodolitos y miras verticales. Con la introducción en el mercado de las estaciones totales electrónicas, de tamaño reducido, costos accesibles, funciones preprogramadas y programas de aplicación incluidos, la aplicación de la taquimetría tradicional con teodolito y mira ha venido siendo desplazada por el uso de estas estaciones.

2.4. LA ESTACIÓN TOTAL

Los instrumentos de estación total pueden desempeñar todas las tareas que podían hacerse con los teodolitos, y hacerlas con mucha más eficiencia. Además, pueden medir distancias con exactitud y rapidez. (Wolf & Ghilani, 2016, p. 185)

Estos instrumentos de estación total pueden efectuar cálculos con las mediciones de ángulos y distancias y exhibir los resultados en tiempo real. Éstas y muchas otras ventajas significativas han hecho de las estaciones totales los instrumentos predominantes que se usan en la práctica topográfica actualmente. Se usan para todo tipo de levantamientos incluyendo levantamientos topográficos, hidrográficos, catastrales y de construcción.

2.4.1. Características

Los instrumentos de estación total, combinan tres componentes básicos: un instrumento de medición electrónica de distancias (MED), un componente electrónico de medición de ángulos y una computadora o microprocesador, en una sola unidad. Estos aparatos pueden medir automáticamente ángulos horizontales y verticales, así como distancias inclinadas desde una sola estación. Con base en estos datos, estos instrumentos pueden calcular instantáneamente las componentes horizontales y verticales de las distancias, las elevaciones y coordenadas, así como exhibir los resultados en una Carátula de cristal líquido (LCD: Liquid Crystal Display). También pueden almacenar los datos, ya sea en recolectores internos o externos de datos conectados a sus puertos de comunicación. (Wolf & Ghilani, 2016, pp. 186-187)



Figura 6. Partes de un instrumento de Estación Total Leica

Fuente: Wolf y Ghilani, 2016

2.5. DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES (CUBICACIONES)

En el proceso de construcción de una carretera, es necesario mover grandes cantidades de tierra. En la construcción de terraplenes, por ejemplo, es necesario calcular el volumen del terraplén, y el volumen del material de corte o préstamo necesario para su construcción. En el caso de la construcción de cortes, es necesario determinar el volumen a fin de estimar el costo del acarreo del material a su destino final. (Casanova, 2012, Cap. 1-22)

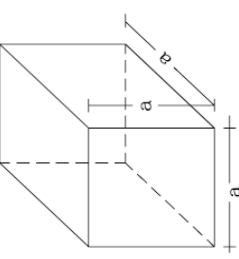
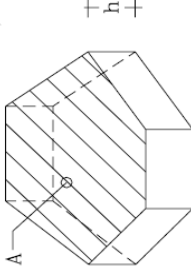
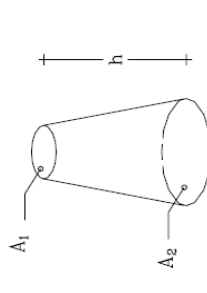
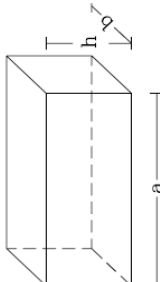
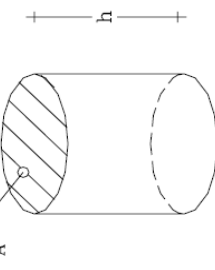
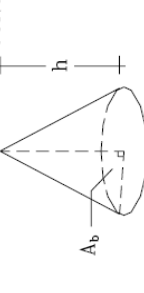
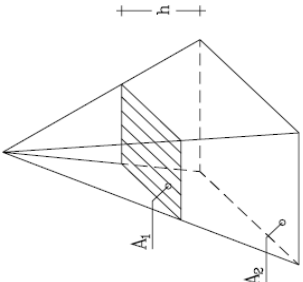
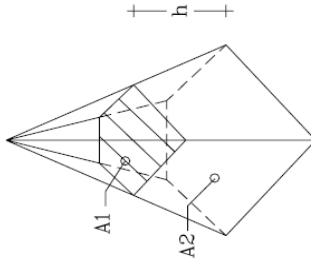
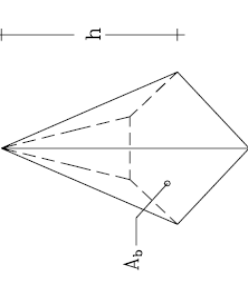
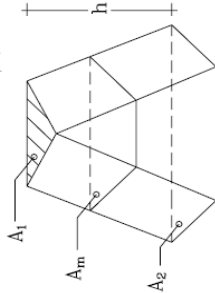
En la construcción de represas, embalses, canales, etc., se requiere el cálculo del volumen de construcción y de almacenamiento. En la construcción de edificaciones, aparte del volumen de excavación para las fundaciones, es necesario determinar el volumen de concreto requerido para el vaciado de las estructuras, siendo estas generalmente figuras geométricas conocidas.

El volumen, definido como la medida del espacio limitado por un cuerpo, generalmente se expresa en m³, cm³ y mm³, siendo el m³ la unidad de medida empleada en proyectos de ingeniería.

2.5.1. Volúmenes de sólidos elementales

En la tabla T1 se resumen las expresiones más comunes empleadas en el cálculo del volumen de sólidos elementales.

Tabla 1. Volumen de solidos elementales

<p>SOLIDO</p> <p>CUBO</p>  <p>$V = a^3$</p>	<p>VOLUMEN</p>	<p>SOLIDO</p> <p>PRISMA</p>  <p>$V = A \cdot h$ A = Area de las caras paralelas.</p>	<p>VOLUMEN</p>	<p>SOLIDO</p> <p>CONO TRUNCADO</p>  <p>$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$</p>	<p>VOLUMEN</p>
<p>PARALELEPIPEDO</p>  <p>$V = a \cdot b \cdot h$</p>	<p>VOLUMEN</p>	<p>SOLIDO</p> <p>CILINDRO</p>  <p>$V = A \cdot h$ A = Area de las caras paralelas.</p>	<p>VOLUMEN</p>	<p>SOLIDO</p> <p>CONO</p>  <p>$V = \frac{1}{3} A_b \cdot h$ A_b = Area de la base</p>	<p>VOLUMEN</p>
<p>PRISMA TRUNCADO</p>  <p>$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$</p>	<p>VOLUMEN</p>	<p>SOLIDO</p> <p>PIRAMIDE TRUNCADA</p>  <p>$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$</p>	<p>VOLUMEN</p>	<p>SOLIDO</p> <p>PIRAMIDE</p>  <p>$V = \frac{1}{3} A_b \cdot h$ A_b = Area de la base</p>	<p>VOLUMEN</p>
				<p>SOLIDO</p> <p>PRISMOIDE</p>  <p>$V = \frac{h}{6} (A_1 + A_2 + 4A_m)$ A₁, A₂ = Area de las caras paralelas extremas. A_m = Area de la seccion a h/2. h = Altura del prismoide.</p>	

Fuente: Casanova, 2002

2.5.2. Volumen entre secciones transversales

Generalmente, el cálculo de los volúmenes se realiza a partir de secciones transversales tomadas perpendicularmente a lo largo del eje central. (Casanova, 2012, Cap. 1-33)

Las secciones transversales pueden ser: corte en trinchera, corte en ladera, en relleno o terraplén y a media ladera.

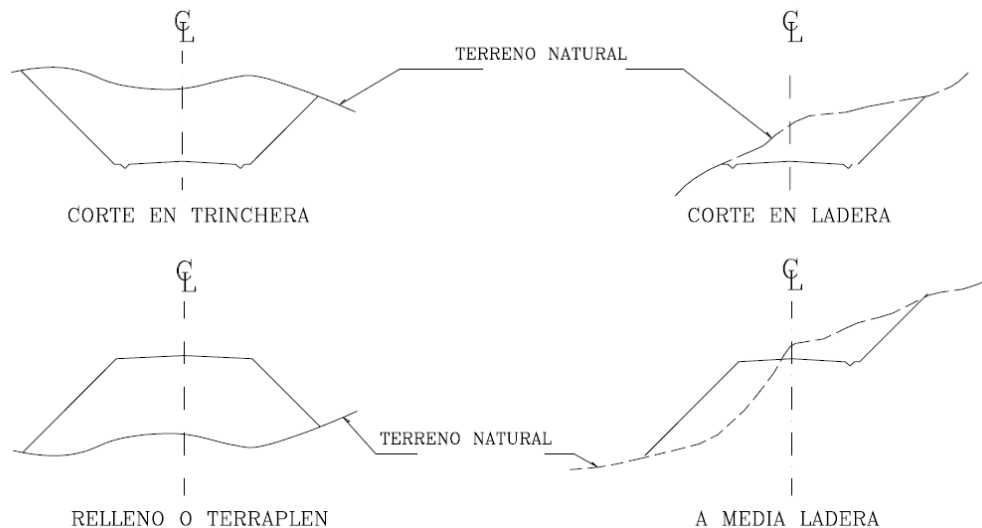


Figura 7. Tipos de secciones transversales

Fuente: Casanova, 2002

La distancia o separación entre dos secciones consecutivas depende de la topografía de la zona, recomendándose secciones a cada 40 m en terrenos llanos y a cada 20 m en terrenos de montaña. Se debe, además, trazar secciones en los puntos característicos del alineamiento, tales como los puntos donde comienzan y terminan las curvas horizontales, y en aquellos puntos donde el terreno presente quiebres significativos.

Los métodos más utilizados para el cálculo de los volúmenes correspondientes al movimiento de tierra, son el método de las áreas medias y el método del prismoide, los cuales se describen, brevemente, a continuación.

2.5.3. Método de las áreas medias

En este método, el volumen entre dos **secciones consecutivas del mismo tipo**, bien sean en corte o en terraplén.

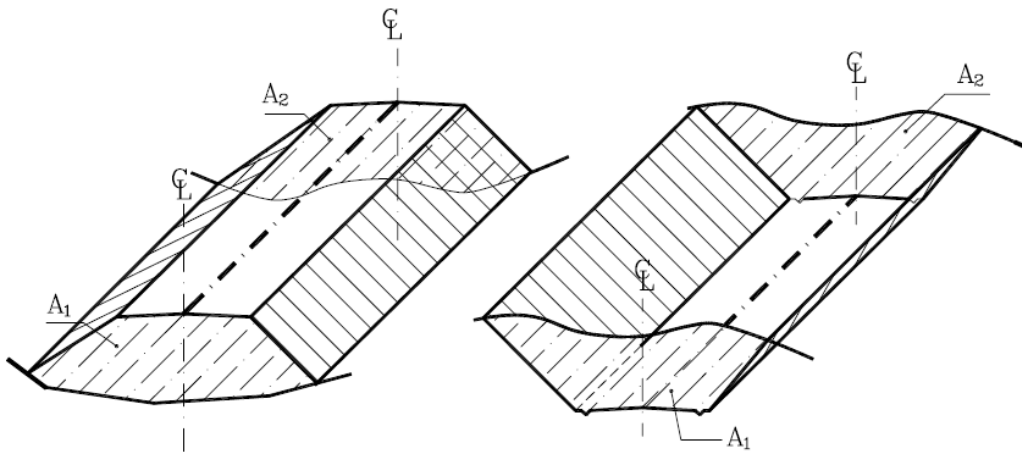


Figura 8. Volumen entre secciones del mismo tipo

Fuente: Casanova, 2002

$$V = \frac{1}{2}(A_1 + A_2) d \dots (1)$$

En donde:

V = Volumen entre ambas secciones en m³

A₁, A₂ = Área de las secciones S1 y S2 en m²

d = Distancia entre secciones en m

- **En el caso de secciones de diferente tipo**, se genera una línea de paso, a lo largo de la cual la cota del terreno coincide con la cota de la superficie de subrasante o superficie terminada del movimiento de tierra. En este caso particular, entre ambas secciones se generará un volumen de corte y un volumen de terraplén.

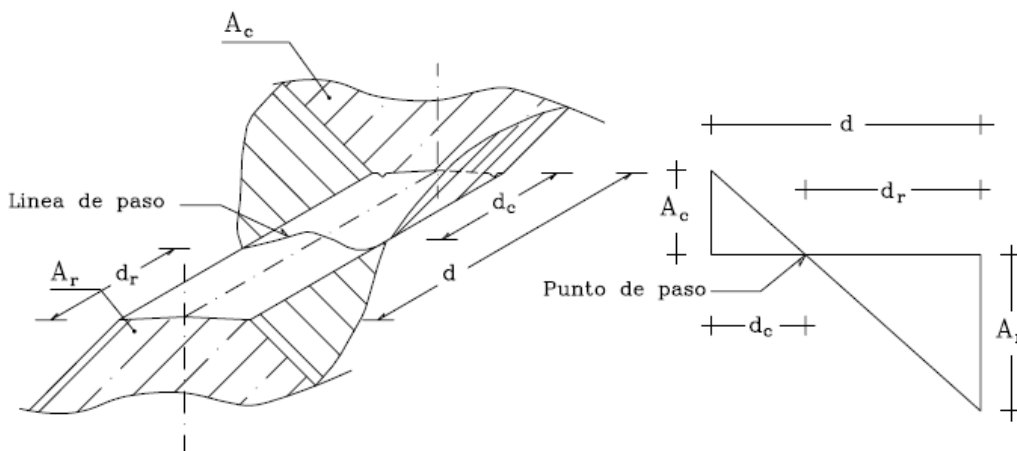


Figura 9. Volumen entre secciones de diferente tipo

Fuente: Casanova, 2002

Para fines prácticos se asume que la línea de paso es perpendicular al eje. El VOLUMEN DE CORTE entre el área de corte "Ac" y el área de la línea de paso "A0=0" y el VOLUMEN DE TERRAPLEN entre el área de terraplén "Ar" y el área de la línea de paso "A0=0", se calculan mediante las ecuaciones que se indican a continuación.

$$V_c = \frac{1}{2} (A_c + A_0) d_c \dots (2)$$

$$V_r = \frac{1}{2} (A_r + A_0) d_r \dots (3)$$

en donde:

Vc, Vr= Volumen de corte y de terraplén en m3

Ac, Ar= Áreas de las secciones en corte y terraplén en m2

A0= Área de la sección en la línea de paso, A0=0

dc, dr= Distancias de corte y relleno en m2

Para determinar dc y dr, representados esquemáticamente en la figura 8, por relación de triángulos, se tiene:

$$d_c = \frac{A_c}{A_c + A_r} * \frac{d}{2} \dots (4)$$

$$d_r = \frac{A_r}{A_c + A_r} * \frac{d}{2} \dots (5)$$

sustituyendo (4) y (5) en las ecuaciones (2) y (3), se tendrán otras expresiones para Vc y Vr:

$$V_c = \frac{A_c^2}{(A_c + A_r)} * \frac{d}{2} \dots (6)$$

$$V_r = \frac{A_r^2}{(A_c + A_r)} * \frac{d}{2} \dots (7)$$

2.5.4. Método del prismoide

El método de las áreas medias tiene la ventaja de ser un método fácil de entender y de implementar, pero tiene la desventaja de que sus resultados no son exactos ya que asume que el área transversal varía linealmente con la longitud.

En algunos casos particulares se requiere el cálculo del volumen con una mayor precisión, por lo que se recurre al método del prismoide.

Un prismoide es un sólido cuyos lados extremos son paralelos y sus superficies laterales son planas o alabeadas.

Un ejemplo común de prismoide utilizado en el movimiento de tierra se muestra en la figura siguiente,

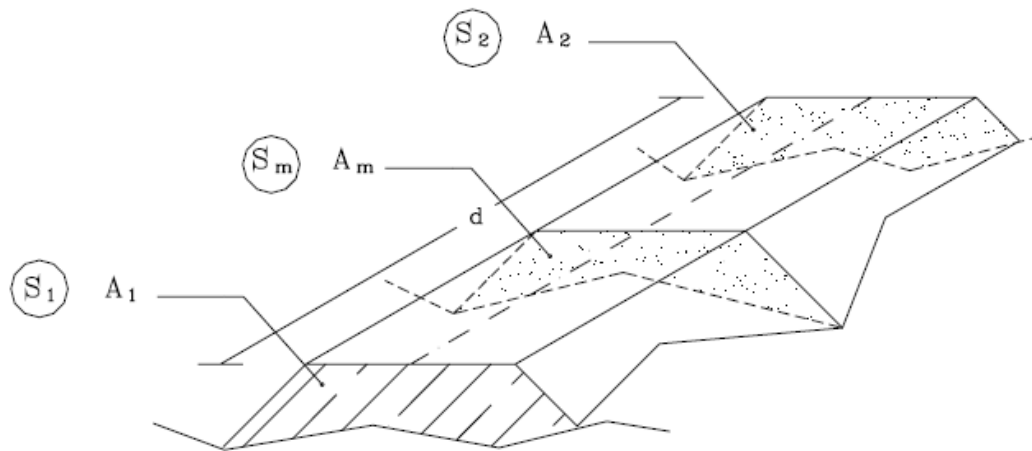


Figura 10. Prismoide de secciones transversales

Fuente: Casanova, 2002

$$V = \frac{d}{6} (A_1 + A_2 + 4A_m) \dots (8)$$

en donde:

A_1, A_2 = Área de S_1 y S_2 en m^2

A_m = Área de la sección transversal en el punto medio entre S_1 y S_2 en m^2

d = Distancia entre S_1 y S_2 en m

Nótese que la ecuación (1) del volumen por el método de las áreas medias puede considerarse un caso particular de la ecuación (8).

En efecto, en la fórmula del prismoide si las generatrices son paralelas a un plano director, el AREA MEDIA (A_m) es igual a la MEDIA (Ma) de las áreas extremas (A_1 y A_2); en fórmulas:

$$Ma = \frac{A_1 + A_2}{2} \dots (9)$$

Sustituyendo la ecuación (9) en la ecuación (8), se tendrá:

$$VMa = \frac{d}{6} (A_1 + A_2 + 4A_m)$$

$$VMa = \frac{d}{6} \left(A_1 + A_2 + 4 \frac{A_1 + A_2}{2} \right)$$

$$VMa = \frac{d}{6}(3A_1 + 3A_2)$$

$$VMa = \frac{d}{2}(A_1 + A_2)$$

la cual, como puede observarse es la fórmula (1). La utilización de la (1) en lugar de la (8) introduce, en el cálculo del volumen, un error E, dado por:

$$E = VMa - V_{Prismoides} = \frac{d}{12}(b_1 - b_2)(h_1 - h_2) \dots (10)$$

que permite calcular el volumen del prismoide a partir del volumen de las áreas medias, b_1 y b_2 son los valores correspondientes a la base y altura del área A_i de las secciones extremas supuestas triangulares, de donde:

$$V_{Prism} = VMa - E \dots (11)$$

2.6. FOTOGRAMETRIA

Fotogrametría es la ciencia por medio de la cual, a partir de fotografías del terreno, se consigue deducir su planta y su alzado, llegando a formar un plano topográfico del mismo. (Santamaria & Sanz, 2011, p. 9)

Fotogrametría deriva de fotograma, del griego *photós* y *gramma*, que significa luz y trazado, acuñando la definición de fotogrametría como la medida de lo que escribe o dibuja la luz.

2.6.1. Reseña histórica de la fotogrametría

Los trabajos de mediciones de extensiones de tierra y la confección de planos y mapas se han venido efectuando desde tiempos remotos, pero en los últimos 50 años han recibido mayor impulso debido principalmente a los inventos surgidos de las necesidades militares impuestas por las guerras mundiales. (Torres & Villate, 2000, p. 326)

Desde el invento de la fotografía por los científicos franceses Niepce y Daguerre, se pensó en utilizar las fotografías para efectuar mediciones. El primer intento en emplear para estos fines la cámara fotográfica fue el de Laussedat, de la armada francesa, en 1850, dando así comienzo a la llamada fotogrametría terrestre.



Figura 11. Capitán Aimé Laussedat en 1852 y el fototeodolito

Fuente: Polidori, 2020

La armada de los EE.UU. experimentó, hacia 1861, la toma de fotografías aéreas desde globos, con poco éxito. En Europa el empleo de dirigibles produjo resultados más satisfactorios.

Según Konecny (1981) la fotogrametría se desarrolla y evoluciona en cuatro etapas, (UNNE, 2011, pp.1-2)

- **Metrofotografía (1850 hasta 1900):** Se inicia con la invención de la fotografía por Niepce y Daguerre en 1839 en Francia. El término Metrofotografía fue ideado por el capitán francés Laussedat (hacia 1851), a quien se lo considera el fundador de la Fotogrametría.
- **Fotogrametría analógica (1900 a 1960):** Ciclo que se inicia con dos inventos importantísimos, por un lado, la estereoscopia dando origen a la estereofotogrametría y por otro lado el invento de plataformas adecuadas para los sensores (cámaras) como los zeppelines (dirigibles) y el aeroplano.
- **Fotogrametría analítica (1960 hasta 1980):** Ciclo iniciado por la aparición de las computadoras.
- **Fotogrametría digital (1980 hasta nuestros días):** Ciclo iniciado a partir del lanzamiento del primer satélite artificial, el Sputnik de origen ruso lanzado el 4 de septiembre de 1957 y por el uso del satélite Landsat, de origen estadounidense.

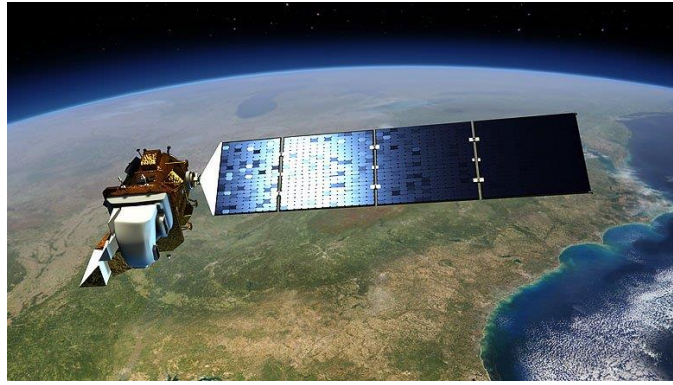


Figura 12. Satélite Landsat 8

Fuente: <https://eos.com/es/find-satellite/landsat-8/>

En Perú, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) en el año 2011, establecieron las especificaciones técnicas de levantamientos fotogramétricos dentro de la Norma Técnica para la producción de cartografía básica a escalas 1/1000 y 1/5000.

2.6.2. Clasificación de la fotogrametría

La Fotogrametría en función de la distancia del objeto se puede clasificar en: fotogrametría terrestre, área y satelital. (Quirós, 2014, pp. 55-56)

2.6.3. Fotogrametría terrestre

Se basa en el principio de la toma de fotografías desde la tierra. su principal aplicación es en la arquitectura y la arqueología.

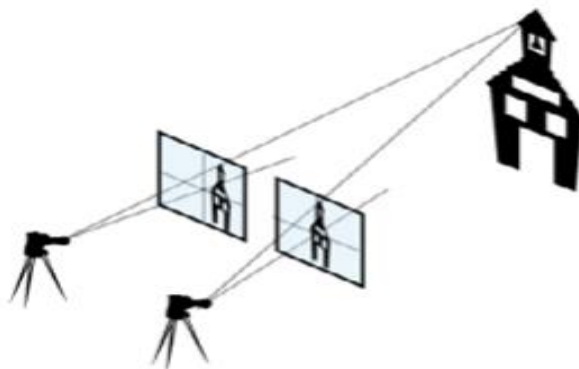


Figura 13. Fotogrametría terrestre

Fuente: Quirós, 2014

2.6.4. Fotogrametría Aérea

La fotogrametría aérea tiene múltiples usos dentro del campo de la ingeniería, como la generación de planos topográficos y modelos 3d. Las fotografías se toman desde un avión y pueden ser fotos verticales u oblicuas.

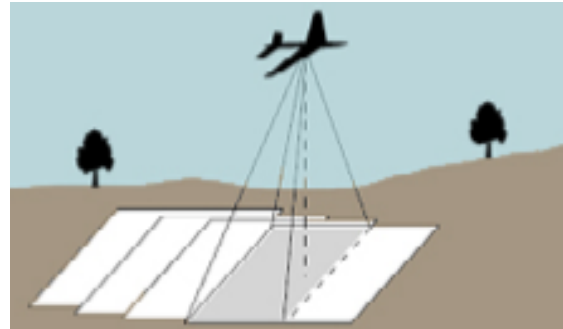


Figura 14. Fotogrametría Aérea

Fuente: Quirós, 2014

2.6.5. Fotogrametría Espacial

Se basa en el uso de imágenes satelitales para realizar mediciones.

La Fotogrametría en función al instrumental utilizado se puede clasificar en: fotogrametría analógica, analítica y digital.

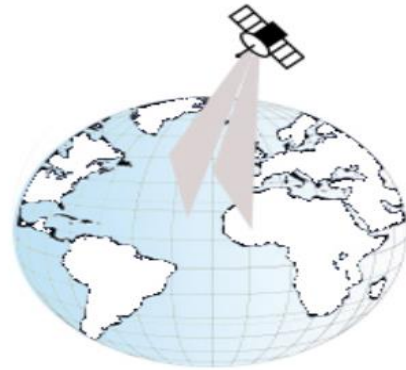


Figura 15. Fotogrametría Espacial

Fuente: Quirós, 2014

2.6.6. Fotogrametría Analógica

Se basa en la utilización de aparatos de restitución ópticos o mecánicos, donde el operador realiza la alineación de las imágenes para crear un modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado.

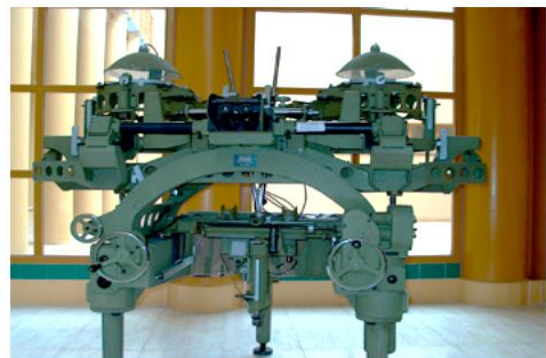


Figura 16. Restituidor Analógico

Fuente: Quirós, 2014

2.6.7. Fotogrametría Analítica

Con la incorporación de las computadoras, se miden fotogramas analógicos con técnicas computacionales creando los restituidores analíticos.



Figura 17. Restituidor Analítico

Fuente: Quirós, 2014

2.6.8. Fotogrametría Digital

El avance tecnológico hizo posible llegar a la fotogrametría digital, el uso de las computadoras y los programas aplicados dan origen a los modelos digitales del terreno 3D.



Figura 18. Modelo 3D de terreno, de fotogrametría digital

Fuente: Elaboración propia

- Ventajas y desventajas de la fotogrametría digital, entre las principalmente se puede enumerar:

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la fotogrametría digital.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Imágenes de gran estabilidad dimensional - Facilidad de visualización y de encontrar los puntos homólogos - El tratamiento de la imagen requiere de software - Es posible automatizar los procesos - Salida digital de la información 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere un elevado volumen de almacenamiento (actualmente los procesos son más rápidos) - Es una técnica reciente y aún en desarrollo.

Fuente: UNNE, 2011

2.6.9. Aplicaciones de la fotogrametría en la ingeniería civil

En el marco general de la Ingeniería existen cuatro grandes grupos de actuaciones donde se utilizan la fotogrametría. (Quirós, 2014, p.57)

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

2.7. PROCESO FOTOGRAMÉTRICO

La fotografía estereoscópica es una aplicación de la facultad innata en el hombre de la apreciación del relieve, es decir, de las diferentes distancias a que se encuentran los objetos. La explicación de este fenómeno consiste en que cada ojo ve una perspectiva ligeramente diferente del mismo objeto. (Torres & Villate , 2000, pp. 327-328)

Debido a la posición relativa de los ojos del observador, las dos imágenes que del objeto se forman en la retina son distintas; la combinación de dichas imágenes produce la sensación de relieve. La aplicación de este principio hizo posible el proceso fotogramétrico, que consiste en hacer planos topográficos a partir de pares de fotografías tomadas desde puntos diferentes, las cuales al ser proyectadas en ciertas condiciones reproducen fielmente el terreno con todas sus características, incluyendo el relieve.

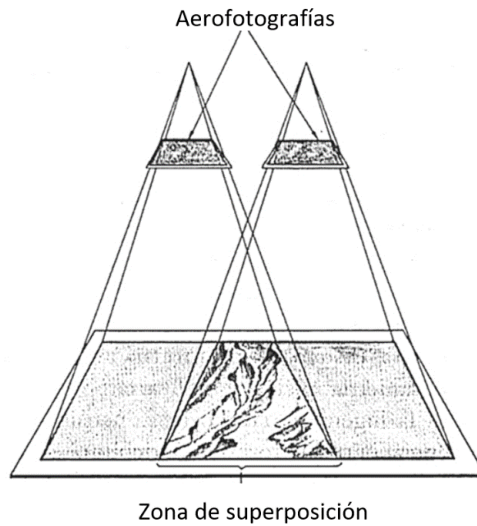


Figura 19. Visión estereoscópica de un par de fotografías aéreas con recubrimiento

Fuente: Torres & Villate, 2000

2.7.1. Elementos de fotogrametría

A continuación, se describen los elementos principales de la fotogrametría. (UNNE, 2011, pp. 5-7)

- **Plano focal:** representa el plano donde inciden los haces luminosos al obturarse la cámara, y que son plasmados en el negativo, generando así la imagen capturada. Además, en él se dispone la información complementaria de la fotografía: marcas fieles y la información marginal.
- **Marcas fieles o fuduciales:** son indicaciones en los bordes de la película, normalmente son cuatro flechas, puntos, etc. colocadas en forma opuesta y uniéndolos con una línea indican el punto principal de la fotografía.

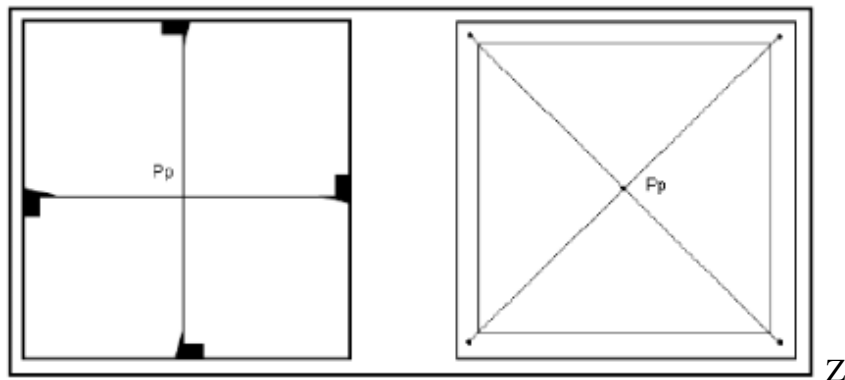


Figura 20. Marcas fieles

Fuente: UNNE, 2011

- **Información marginal:** compuesta por una serie de datos de gran utilidad como la altura de vuelo dada por el altímetro del avión (m.s.n.m.), reloj, nivel esférico de burbuja, identificación de la cámara de toma de vistas, número de fotografía y datos de la misión como la zona y fecha que se realizó el vuelo, entre otras.
- **Punto principal:** representa el punto central de la fotografía, se lo obtiene luego de unir las marcas fieles opuestas. En el caso de las fotografías verticales debe coincidir con el nadir (o punto en el terreno directamente debajo de la cámara).
- **Distancia focal:** o distancia principal, es la distancia que existe entre el centro de la lente y el plano focal, donde se apoya la película; en otras palabras, es la distancia fija que existe entre el centro de la lente y la película.
- **Eje óptico:** es el eje que pasa por el centro geométrico de la cámara y es perpendicular al negativo; en el caso de fotografías verticales es coincidente con la vertical del lugar.
- **Altura de vuelo:** queda definida la altura de vuelo como la distancia que existe entre el terreno fotografiado y el centro de la lente.
- Escala:

Puede definirse como la relación que existe entre lo que mide un objeto en la fotografía (d) y lo que representa realmente en el terreno (D), o bien la relación que existe entre la distancia focal (f) y la altura de vuelo (H).

$$E = \frac{f}{H} = \frac{d}{D}$$

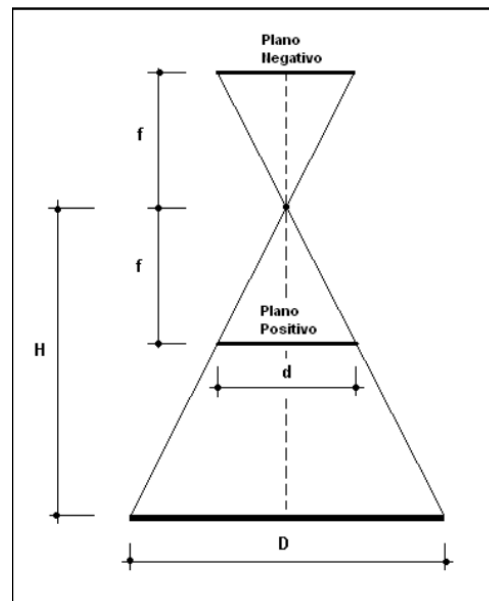


Figura 21. Diagrama básico de fotogrametría

Fuente: UNNE, 2011

- **Aerobase (B):** es la distancia que existe entre dos tomas sucesivas en el terreno, es decir es la distancia entre dos obturaciones de la cámara de toma de vistas.

- **Fotobase (b):** es la proyección de la aerobase en la fotografía, para uso estereoscópico mínimo es el 60%.

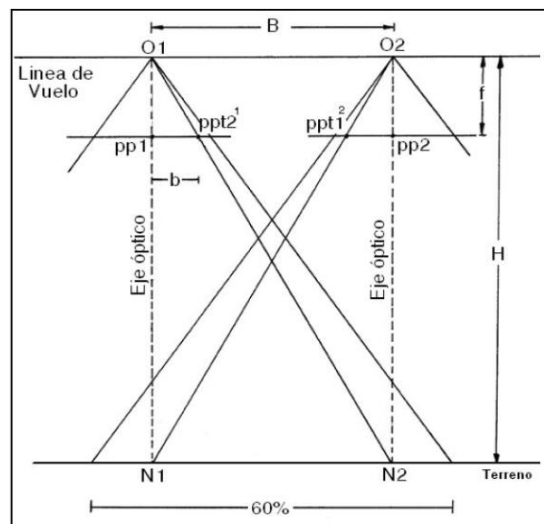


Figura 22. Otros elementos de fotogrametría

Fuente: UNNE, 2011

- **Solape longitudinal:** es el solape necesario entre fotografías aéreas sucesivas, para permitir la estereovisión.
- **Solape transversal:** es el solape entre bandas o pasadas del vuelo, su finalidad es la de permitir unir las fotografías para realizar los denominados foto-mosaicos.

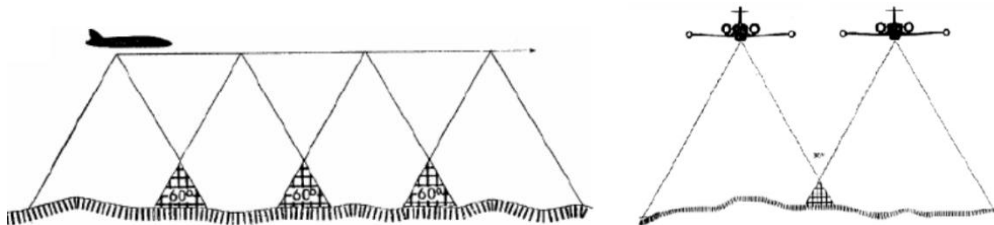


Figura 23. Solape longitudinal (imagen izquierda) y transversal (imagen derecha)

Fuente: UNNE, 2011

- **Línea de vuelo:** queda definida uniendo puntos principales de fotografías sucesivas, es decir para poder realizar esta línea es imprescindible transferir los centros de la fotografía anterior y posterior a la fotografía central.
- **Proyección cónica o radial:** es la proyección que utilizan las fotografías, en donde todos los haces luminosos pasan por un punto (lente). Este tipo de proyección implica que un elemento vertical, sobre la superficie fotografiada, como por ejemplo un poste de luz ó un edificio sea representado en la imagen fotográfica como un segmento, orientado desde el centro hacia la periferia.

- **Efecto de deriva:** el efecto de deriva es muy común en la aviación y se da cuando sobre él a avión inciden vientos laterales que tienden a desvíalo. El piloto se ve obligado a realizar una maniobra de compensación a fin de mantener el rumbo establecido o deseado.

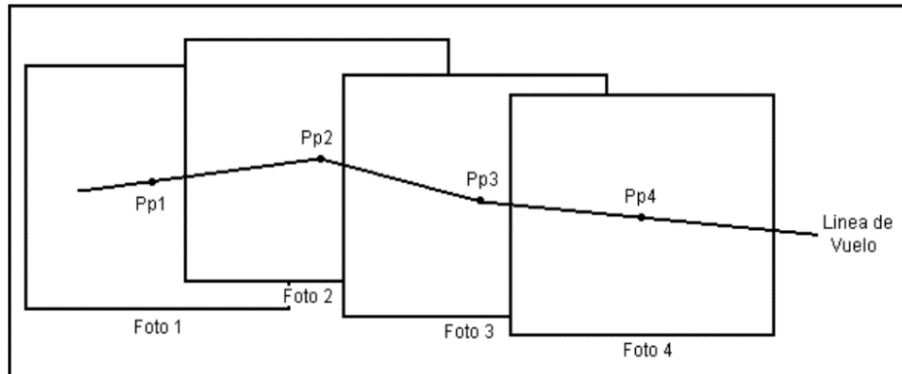


Figura 24. Línea de vuelo y deriva

Fuente: UNNE, 2011

- **Desviación (cabeceo y alabeo):** Efecto que se produce por los movimientos relativos de la plataforma utilizada (normalmente un avión), el cabeceo es el movimiento de la nariz del avión arriba y abajo; mientras que el alabeo es el movimiento de las alas.

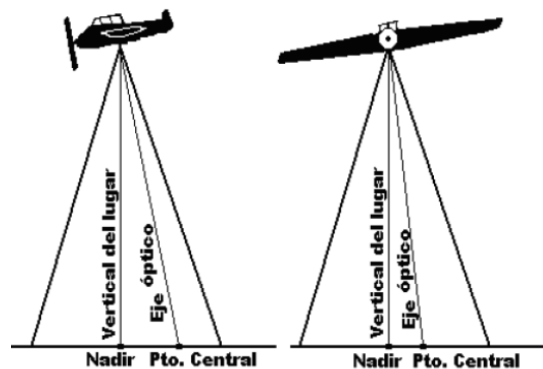


Figura 25. Cabeceo (imagen izquierda) y alabeo (imagen derecha)

Fuente: UNNE, 2011

2.7.2. Formas para determinar la Escala

Es uno de los elementos más importantes de la fotogrametría (y de la interpretación de imágenes en general). Puede definirse como la relación que existe entre lo que mide un objeto en la fotografía (d , también se le denomina anchura de sensor S_w) y lo que representa realmente en el terreno (D es la huella de imagen), o bien la relación que existe entre la

distancia focal (f) y la altura de vuelo (H). La escala no resulta constante en toda la fotografía, esto debido principalmente a la deformación del relieve y otros efectos asociados a la toma de vista, etc. (UNNE, 2011, pp. 8-10)

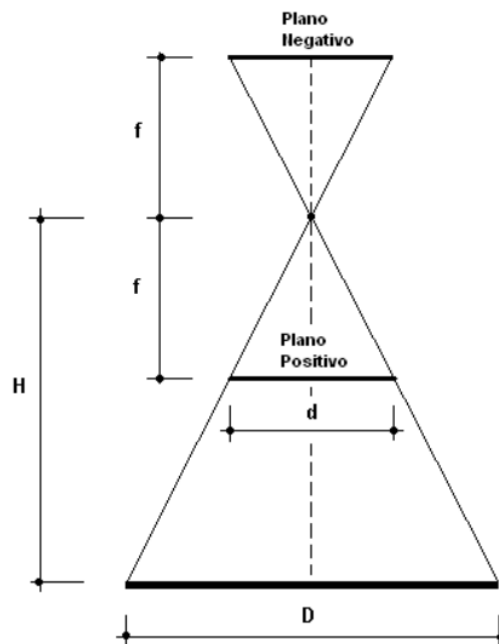


Figura 26. Diagrama básico de fotogrametría

Fuente: UNNE, 2011

Nombraremos tres maneras de determinar la escala de una fotografía vertical:

- **Por la relación Fotografía-Terreno:** corresponde a la definición clásica en donde la escala de una fotografía se obtiene haciendo la relación entre un segmento “d” medido en la fotografía y lo que representa realmente en el terreno “D”.

$$E = \frac{d}{D}$$

- **Por la relación Fotografía-Carta:** Esta forma de determinar la escala necesita apoyarse en una carta de la misma zona. Lo que se hace es relacionar la escala de la fotografía con la escala de la carta, según:

$$\frac{E_{foto}}{E_{carta}} = \frac{d}{dc} \implies E_{foto} = \frac{d}{dc} \times E_{carta}$$

- **Por la relación Distancia focal-Altura de vuelo:** Otra forma de determinar la escala de una fotografía es conociendo la focal (f) de la cámara de toma de vistas utilizada y la altura de vuelo (Hv) al momento de la exposición. Esto supone que se conocen estos datos establecidos previamente en la planificación del vuelo aerofotogramétrico, es

importante recordar que la altura de vuelo se obtiene restando la cota (h) del terreno a la altura dada por el altímetro del avión.

$$E = \frac{f}{Hv} = \frac{f}{H - h}$$

2.8. CÁMARAS FOTOGRAMÉTRICAS

La cámara fotogramétrica es un elemento fundamental en el proceso fotogramétrico. Las cámaras que se utilizan son cámaras métricas, calibradas y con una geometría tal que producen resultados óptimos y fiables. (Quirós, 2014, pp. 72-79)

Las cámaras aéreas analógicas se han utilizado hasta la actualidad, pero comienzan ya a quedar obsoletas, sustituidas por la nueva generación de cámaras digitales.

2.8.1. Cámaras fotogramétricas analógicas

Las cámaras fotogramétricas analógicas son aquellas cámaras en las que la imagen se registra de forma instantánea en una película fotográfica.

2.8.2. Cámaras fotogramétricas digitales

Las cámaras fotogramétricas analógicas son aquellas cámaras en las que la imagen se registra de forma instantánea en una película fotográfica.

En una cámara digital, el plano focal de la cámara es sustituido por un sensor con diminutas células fotoeléctricas que registran la imagen (CCD, Dispositivo de carga acoplada, referida número de celdas o detectores, en inglés charge-coupled). La forma de disposición de los CCD da lugar a dos tipos de cámaras fotogramétricas digitales.

- **Cámaras lineales**, la cámara dispone de tres líneas paralelas de 12 Kilobyte (12k) sensores, transversales a la dirección de vuelo. Dichas líneas tienen diferentes inclinaciones: delantera, nadiral y posterior.
- **Cámaras matriciales**, este tipo de sensor es similar a las cámaras aéreas analógicas en cuanto a composición. Las cámaras matriciales constan de 1Kx1K elementos sensoriales (1024x1024 píxeles), 2Kx2K, 3Kx2K, 4Kx4K, 4Kx7K, 7Kx9K, 5Kx10K, 9Kx9K.

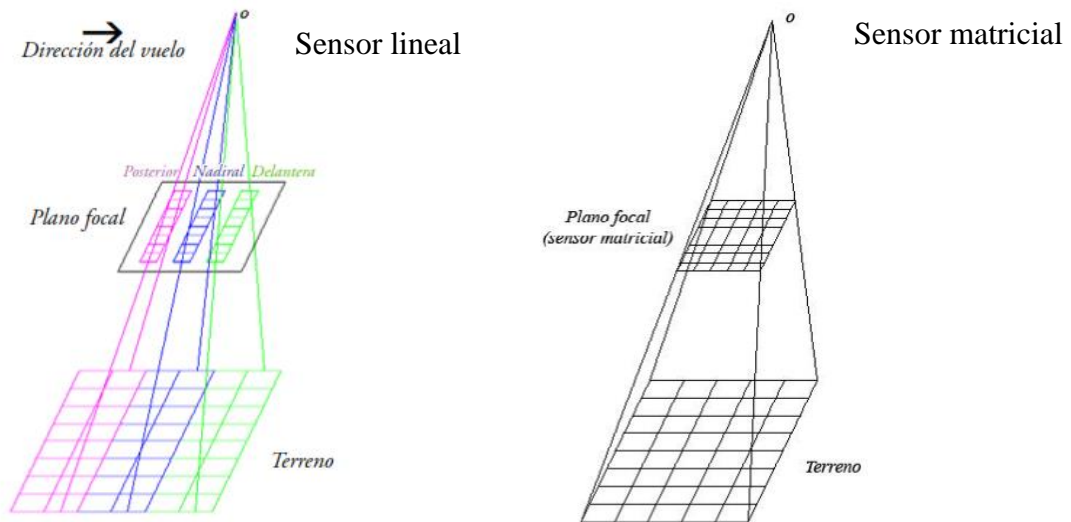


Figura 27. Geometría de toma

Fuente: Quirós, 2014

2.8.3. Cámaras laser (Sensores Lidar)

El LIDAR (light detection and ranging), es una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de la superficie de la tierra produciendo mediciones exactas. El reflejo del láser del objetivo lo detectan y analizan los receptores en el sensor Lidar.



Figura 28. Tecnología Lidar, LiDARit Eagle X Laser Camera

Fuente: <https://dronesperu.org/home/351-camara-laser-lidarit-one-eagle.html>

2.9. IMAGEN DIGITAL

Una imagen digital es una función $F(x, y)$, donde x e y representan unas coordenadas y el valor $F(x, y)$, es proporcional a la transmitancia o reflectividad de la luz, que se reconoce visualmente por el nivel de color o gris de la misma en el punto considerado (x, y) .

Al proceso de obtención de imágenes digitales se le denomina digitalización y consiste en la descomposición de la imagen real en una matriz discreta de puntos de un determinado tamaño, donde cada uno tiene un valor proporcional a su nivel de color.

Por tanto, puede decirse que una imagen digital se puede asimilar a una matriz de n filas y m columnas. A cada celda de la matriz se le denomina pixel (picture x element) y esta representa una superficie que es función de su tamaño (Δx , Δy). A cada pixel le corresponde uno o más valores digitales (número digital o valor digital "Nd").

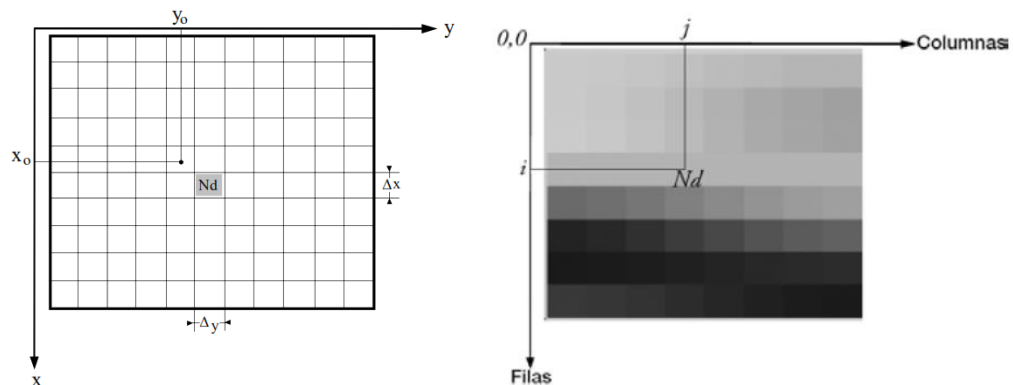


Figura 29. Definición de imagen digital

Fuente: Pérez, 2001

- **Pixel**, la cámara dispone de tres líneas paralelas de 12 Kilobyte (12k) sensores, transversales a la dirección de vuelo. Dichas líneas tienen diferentes inclinaciones: delantera, nadiral y posterior.

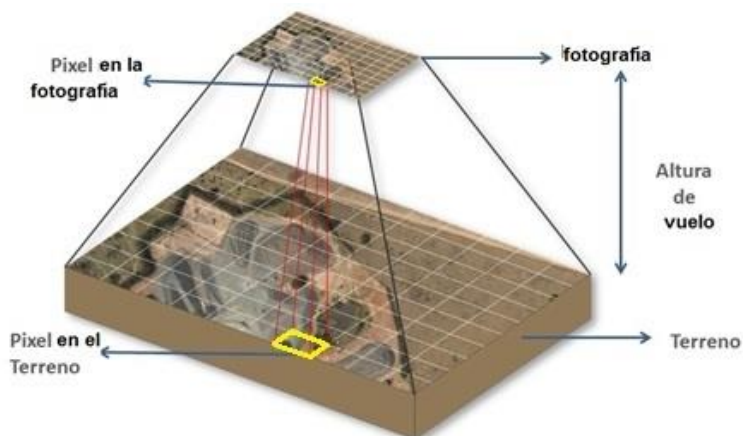


Figura 30. Pixel de una imagen digital

Fuente: Brondi, 2019

- **Resolución**, La resolución define la calidad de una imagen digital, la cual depende del tamaño del píxel. Si 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).

2.10. EL DRONE

El drone es la denominación de la aeronave sin piloto a control remoto del ámbito militar. La Etimología de ‘drone’ viene de dron o dræn, abeja macho o zángano, el cual hace referencia al zumbido producido por sus motores, similares al de los zánganos volando. La principal función del Drone es transportar el sensor (cámara), estos vehículos pilotados a distancia también son conocidos como: UAV (vehículo aéreo no tripulado), UAS (sistema aéreo no tripulado), RPA (aeronave pilotada a distancia). (Mena, 2018, p. 2)

Son plataformas aéreas no tripuladas empleadas en numerosas aplicaciones, permiten obtener información de lugares inaccesibles. En la actualidad alojan dispositivos sensoriales que permiten coleccionar fotografías y videos de alta definición, los cuales mediante el proceso fotogramétrico digital pueden ser ortorectificados para obtener mediciones. (Sani, Morillo, Tierra, 2014, p. 2)

2.10.1. Tipos de Drone

Existen drones de ala fija y multirrotor. (Alberto, 2017, Cap. 1)

- **Drone de ala fija**, hace capaz el vuelo gracias al impulso que recibe de uno o dos motores con propelas (hélices).



Figura 31. Drone Ala fija ZCOPTERS

Fuente: <https://zcopters.com/product/ala-fija-zcopters/>

Tabla 3. Ventajas y desventajas de dron de ala fija.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Mayor tiempo de vuelo mayores a 60 minutos en promedio. - Cubre áreas extensas de trabajo ya que cuenta con mayor autonomía de vuelo. - Tiene estabilidad en el vuelo por su alta aerodinámica. - Su estructura es flexible y resistente. - Es silencioso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesita una zona plana para despegar y aterrizar. - Se necesita ocasionalmente en algunos modelos un riel lanzador. - No pueden mantener un vuelo estático suspendido. - Difícilmente pueden entrar en lugares cerrados.

Fuente: ICGEO, 2017

- **Drone Multirotor**, hace capaz el vuelo gracias a varios motores con propelas montados alrededor de su armazón.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de dron multirotor

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Puede realizar despegue y aterrizaje vertical, por lo que se puede despegar y aterrizar prácticamente desde cualquier lugar. - Se puede mantener con vuelo suspendido, lo que le permite hacer toma de fotografía de lugares verticales como paredes de presas, edificaciones, macizos rocosos, taludes, etc. - Puede ingresar a zonas inaccesibles, como cuevas, quebradas, acantilados, o en estructuras como edificaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor consumo de batería. - No es aerodinámico. - Dificulta el vuelo con vientos fuertes o lluvia leve. - Tiene una estructura rígida, más propenso a quebrarse o romperse. - Emite altos niveles de ruido.

Fuente: ICGEO, 2017



Figura 32. Drone DJI Phantom 4 Pro

Fuente: <https://zcopters.com/product/ala-fija-zcopters/>

Existen también algunos **sistemas híbridos**, es decir pueden funcionar con las prestaciones de multirotor o ala fija. Haciendo el equipo más versátil en cuanto al uso.



Figura 33. Drone VTOL WingtranOne

Fuente: <https://rmsgeoespacial.com/producto/>

2.10.2. Componentes de un drone

Los drones ya sean de ala fija o multirotor están compuestos por:

- Sensores, que modelan el entorno.
- Componentes de navegación, referida a las emisoras (mandos) o planes de vuelo, que definen la navegación.
- Procesador (computadora de vuelo), junta los datos de sensores y navegación para enviarlos a los actuadores.
- Actuadores, motores de un drone multirotor o serbos en un drone de ala fija.

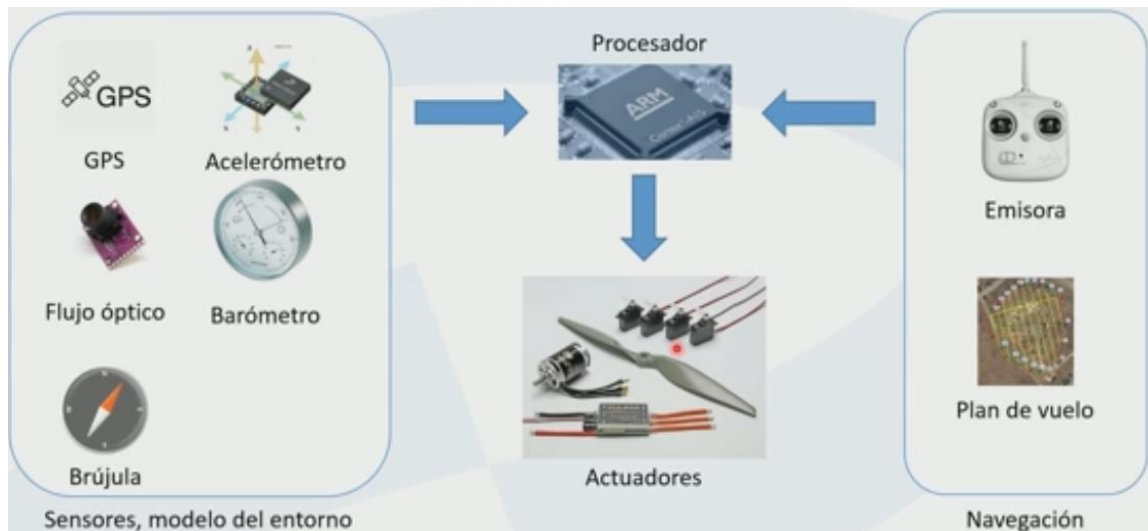


Figura 34. Principios de funcionamiento e un drone

Fuente: Alberto, 2017

2.11. NORMATIVIDAD VIGENTE

La Dirección general de aeronáutica civil (DGAC) en las Norma Técnica Complementaria 001-2015 (NTC) establece los **“Requisitos para las operaciones de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia”**, con el objeto de garantizar la seguridad operacional de todos los demás usuarios del espacio aéreo, así como la seguridad de las personal y bienes en tierra. La NTC 001-2015 tiene fecha 03-11-2015, fue publicada el 28-12-2015 en el diario El Peruano.

La ley 30740, **“Ley que regula el uso y las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS)”** fue publicada en el peruano el 22-03-2018, 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 acuática.

Aplicabilidad. Esta NTC es aplicable a las personas u organizaciones que pretendan hacer uso de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) para cualquier actividad civil. No aplica a las aeronaves de Estado, es decir a aquellas que sean utilizadas en servicios militares, de policía o de aduanas.

Limitaciones de Operación - 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.
3. En áreas de concentración de personas.
4. Sin contar con el manual del fabricante del RPAS.
5. Cuando no se cumplan todas las prescripciones indicadas en dicho manual referentes al mantenimiento y operación del RPAS.
6. Sin antes haber realizado una inspección de pre-vuelo para determinar que el RPAS se encuentra en condiciones seguras para operar y haber registrado y firmado dicha inspección.
7. Sin haber presentado plan de vuelo al ATC correspondiente en los casos que sea aplicable.
8. Sobre personas no involucradas en la operación.
9. En proximidad de personas u obstáculos, debiendo mantener una separación vertical del RPA mayor de 20 metros y horizontal mayor de 30 metros, en relación a cualquier obstáculo. Dichos márgenes aplican al despegue/lanzamiento, aterrizaje/recuperación y durante todas las fases del vuelo y en adición a las restricciones operacionales propias de cada modelo de RPA establecidas en el correspondiente manual.
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.
12. Fuera de condiciones de una operación con visibilidad directa visual.
13. En condiciones nocturnas (después de la puesta o antes de la salida del sol).
14. Durante más de una hora continuada.
15. Durante más del 80% de la autonomía establecida por el fabricante.
16. Con un piloto que no haya sido acreditado y/o que no haya sido autorizado.
17. Descuidando la atención exclusiva al control de la operación del RPAS. Está prohibido entregar el control a otro piloto/operador mientras el RPA está en vuelo y comandar dos RPA simultáneamente.
18. Operar un RPAS bajo la influencia de las drogas o el alcohol.
19. A menos de 4 km de un aeródromo, excepto para fines de prevención de impactos con aves.
20. Sobre vías de comunicación, incluyendo toda infraestructura vial (viaductos, carreteras, caminos, senderos, puentes), infraestructura de transmisión eléctrica y de telecomunicaciones (postes, torres, cables y antenas), cursos de agua navegables y ductos para transporte de hidrocarburos. Sin perjuicio de ello, los RPA podrán volar próximos a estas vías, manteniendo una separación horizontal mayor de 30 metros, del borde o extremo de las mismas.

21. No se podrá dejar caer ni lanzar objetos, material o fluidos desde el RPAS salvo en los casos en que cuente con autorización expresa de la DGAC sobre la base de informes técnicos de impacto ambiental emitidos por la autoridad competente.
22. “En zonas peligrosas, zonas prohibidas y zonas restringidas publicadas en la AIP-PERÚ o en los NOTAM incluidos en el sitio web de CORPAC”. Una desviación a esta restricción se sujetará a la autorización escrita de parte de la Entidad responsable de la reserva de la zona en cuestión.
23. En una navegación aérea internacional o en alta mar, salvo que cuente con una autorización apropiada de la DGAC y de acuerdo a lo establecido en el Apéndice M de la RAP 91.

2.12. EL VUELO FOTOGRAMÉTRICO

El vuelo fotogramétrico tiene por objeto, el sobrevolar la zona a altura y velocidad constante, describiendo una serie de trayectorias (pasadas), paralelas entre sí, mediante su control de deriva. (CIREN, 2003)

Dentro de una pasada, la cámara irá tomando exposiciones del terreno con cadencia tal, que la distancia, entre dos puntos principales consecutivos, nos asegure un solape o recubrimiento longitudinal prefijado entre fotogramas adyacentes. Entre dos pasadas consecutivas, generalmente voladas en sentido inverso, existirá otro solape o recubrimiento transversal, previamente fijado.

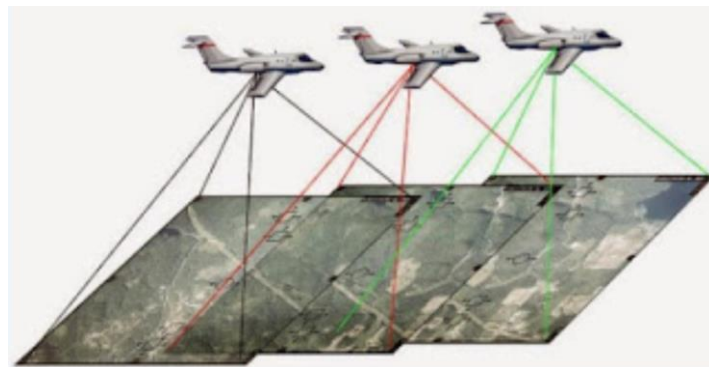


Figura 35. Vuelo fotogramétrico.

Fuente: <http://yoghaken.blogspot.com/2016/06/perencanaan-jalur-terbang-foto-udara.html>

Hay tres tipos de vuelo (Santanaria & Sanz, 2011, p. 13):

- **Vuelo Nadiral.** Es el ideal. El eje del levantamiento (prolongación de la focal) es completamente vertical. Es casi imposible de conseguir.

- **Vuelo vertical.** Es aquel en el que el ángulo de separación entre la vertical y el eje del levantamiento es menor de 3° . El vuelo vertical, se puede considerar como nadiral sin cometer error apreciable.
- **Vuelo inclinado.** Es cuando el ángulo es mayor de 3° .

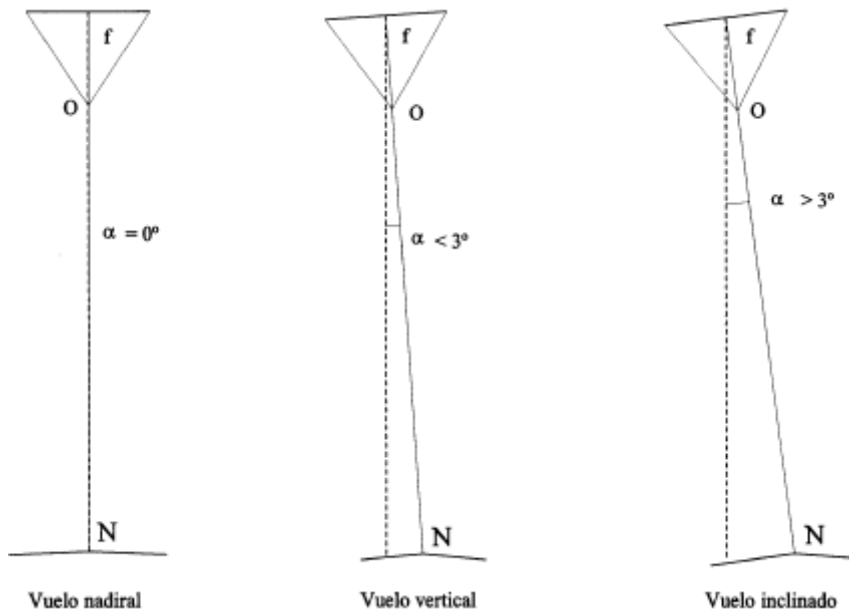


Figura 36. Tipos de vuelo

Fuente: Santanaria & Sanz, 2011

El punto donde el eje del levantamiento corta al terreno, se denomina N (punto Nadiral) o principal del terreno (en fotogrametría aérea, se supone que el vuelo es vertical).

$$ON = H = \text{altura de vuelo}$$

2.12.1. Levantamiento topográfico con Drone o Levantamiento Fotogramétrico

Es una técnica que consiste en el levantamiento de información del relieve terrestre, por intermedio de fotografías aéreas tomadas por un Drone, estas fotografías serán tomadas de diferentes ángulos. (ICGEO, 2017, Cap. III)

El uso de los drones en trabajos de topografía es una tendencia, cada vez es más común que los ingenieros, con la finalidad de elaborar planos topográficos, ortofoto mosaicos, modelos digitales del terreno, cálculos de volumen, etc. (Knisely, 2020)



Figura 37. Toma de Fotografías

Fuente: IC GEO, 2017

2.13. PLAN DE VUELO FOTOGRAMÉTRICO CON DRONE

Es la fase principal, ya que el éxito final de cualquier proyecto fotogramétrico depende más de las fotografías de buena calidad. (Pérez, 2001, p.10)

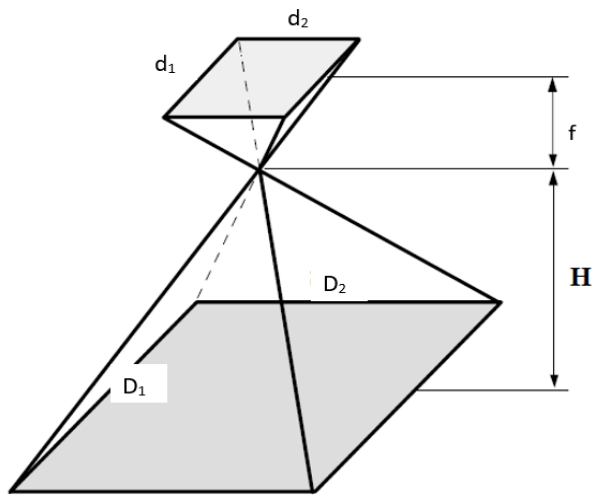
Las etapas para la obtención de un producto fotogramétrico comprenden cuatro fases, para la obtención de los datos y para el procesado de los mismos: planificación de vuelo, apoyo terrestre, registro fotográfico, procesado de las imágenes y cálculos. (Alberto, 2017, Mod. 2)

2.13.1. Planificación de vuelo

Se llama plan de vuelo al conjunto de cálculos previos a la realización de un vuelo fotogramétrico, mediante los cuales se organiza las operaciones para conseguir el fin propuesto con las condiciones que se han establecido. (Santamaria & Sanz, 2011, pp.14-17)

El diseño del vuelo se hace en función a la escala que se pretenda obtener, del tipo de terreno, su ubicación, sus detalles, la extensión a relevar y condiciones meteorológicas imperantes, fundamentalmente la velocidad del viento.

- **Escala, Altura de vuelo y Ground Sampling Distance (GSD).** La altura de vuelo determinará el tamaño de la huella en la imagen o distancia de muestreo (GSD). El GSD define la equivalencia de un pixel del sensor proyectado en la superficie es decir cuanto mide un pixel en nuestra imagen final, mientras más altura de vuelo el pixel cubrirá más terreno pero nuestra imagen tendrá menor definición (menor detalle), se mide en cm/pixel.



Donde,

$d = Sw =$ anchura del sensor óptico.

$e =$ denominador de la escala del fotograma.

$f =$ distancia focal.

$H =$ altura de vuelo.

$D =$ Huella, distancia cubierta en el suelo por una imagen.

Además:

$D = Ancho_{Imagen} \times GSD$

Figura 38. Diagrama básico de fotogrametría

Fuente: UNNE, 2011

$$E = \frac{1}{e} = \frac{Sw}{D} = \frac{f}{H} \dots Escala, \quad H = \frac{f}{Sw} * D \dots Altura \quad y \quad GSD = \frac{H * Sw}{f * Ancho_{Imagen}}$$

- **Solapamiento (Overlap)**, fotografiar el terreno desde diferentes ángulos distintos, es decir un punto del terreno tiene que verse desde diferentes fotos. Para trabajos de topografía se recomienda un Overlap frontal de 75% y de Overlap lateral un mínimo de 60%, ambos son muy importantes para la calidad de la reconstrucción.

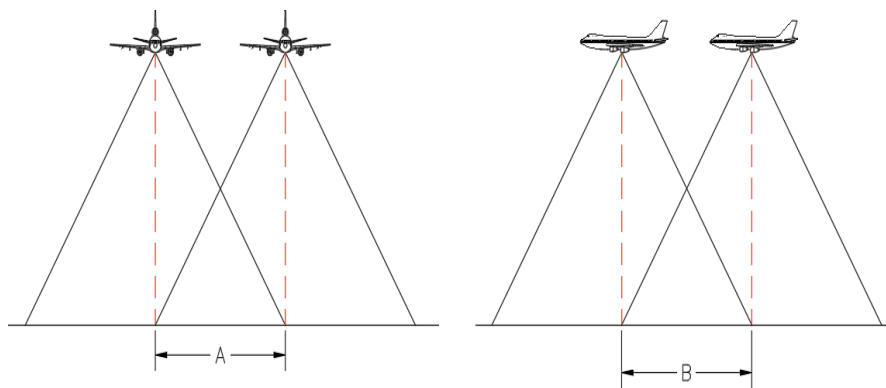


Figura 39. Solape lateral A, solape frontal B

Fuente: UNNE, 2011

$$A = D_2 * (1 - q) \dots \text{Solape Lateral,}$$

$$B = D_1 * (1 - p) \dots \text{Solape frontal}$$

$$A = Sw_2 * e * (1 - q) \dots \text{Solape Lateral,}$$

$$B = Sw_1 * e * (1 - p) \dots \text{Solape frontal}$$

donde,

p: recubrimiento longitudinal

q: recubrimiento lateral

- **Tiempo de vuelo**, se determina de acuerdo al tipo de dron a utilizar, por lo que en los drones multirrotor se recomienda de 15 a 25 minutos y el los de ala fija de 60 a 90 minutos, **el intervalo de entre fotos es T**.

$$T = S1 * \left(\frac{1-p}{v}\right) = B/v$$

donde,
B: Solape frontal
v: velocidad de vuelo

- **Punto de despegue**, influencia directamente al tiempo útil del dron además de poder establecer una adecuada línea visual con la aeronave mientras esta volando.

2.13.2. Apoyo topográfico

Para el apoyo topográfico se colocan **Puntos de Control terrestre** (GCP, Ground control points) en toda la superficie a fotografiar. Estos puntos servirán para transformar el modelo fotogramétrico en modelo del terreno. Además de obtener la posición de los puntos sobre el terreno (coordenadas x, y, z), estos también deben identificarse claramente en las fotografías, para poder establecer una correcta correlación. Dependiendo de la zona de estudio y de la escala, se reparten los puntos de control (GCP) estratégicamente en la zona de trabajo. (Brondi, 2019, mod.VI)

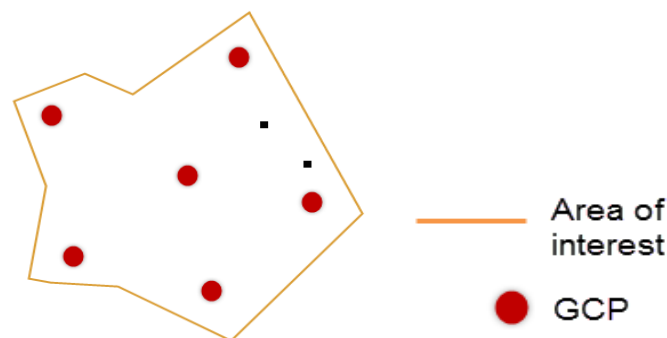


Figura 40. Ubicación de puntos de control

Fuente: Brondi, 2019

Adicional a los puntos de control (GCP), se debe colocar marcas sobre el terreno como puntos de apoyo (PA) y puedan aparecer en varias tomas, estos puntos no tendrán coordenadas conocidas, pero cada uno tiene sus propias coordenadas de imagen.

2.13.3. Toma fotográfica

Las imágenes se registran según la planificación de vuelo. Mientras esto ocurre se puede visualizar en tiempo real toda la información de telemetría, estado del dispositivo y posición del mismo. Las imágenes se guardan en la memoria de almacenamiento de la cámara y tras finalizar el vuelo se realizará en gabinete la descarga de datos de telemetría de vuelo e imágenes para el posterior procesamiento de dicha información asociando los datos de vuelo al momento de toma de cada imagen.

2.13.4. Procesado y cálculo

Una vez tomadas las fotografías (con sus parámetros asociados que aparecen en la telemetría descargada) y obtenidas las coordenadas de los puntos de apoyo, se realiza el cálculo de los parámetros de orientación de cada una de las fotografías (restitución fotogramétrica) mediante la Aerotriangulación.

- **Aerotriangulación**, consiste en la triangulación e intersección espacial simultánea de los haces de rayos registrados en las imágenes. Los haces proyectados a partir de dos o más imágenes que se traslapan e interceptan en los puntos de control fotográfico comunes, para definir coordenadas tridimensionales para cada punto. Es un modelo matemático basado en ecuaciones de colinealidad que incorpora gran cantidad de redundancias al proceso para poder dar robustez al sistema y poder obtener unos resultados con alta fiabilidad. (Quirós, 2014, pp. 93-94)

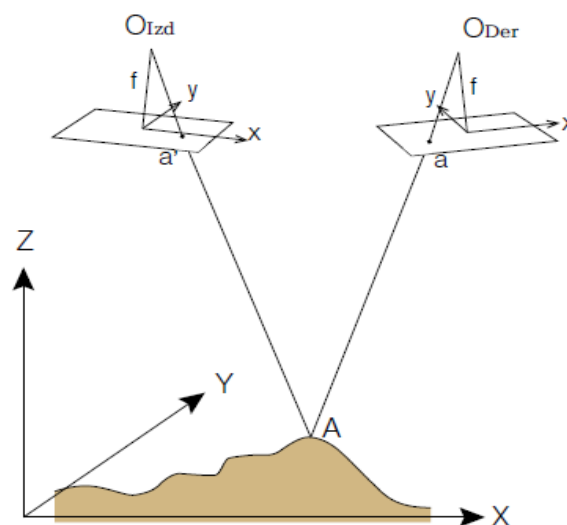


Figura 41. Condición de colinealidad

Fuente: Quirós, 2014

2.14. PRODUCTOS FOTOGRAMETRICOS

Los productos por excelencia que se obtienen del proceso fotogramétrico son los siguientes, (Quirós Rosado, 2014, pp. 101-113)

2.14.1. Modelos digitales 3D

Si a cada punto significativo y determinante del terreno se le miden y almacenan las coordenadas x , y , z (nube de puntos) es posible reconstruir un sistema gráfico tridimensional del relieve del terreno. Los principales modelos 3d del proceso fotogramétrico son:

- **Modelo digital de terreno (MDT)**, básicamente es la representación o modelo 3D de un terreno (MDT, Digital Terrain Model), está referido al relieve del terreno desnudo, sin vegetación o edificación alguna. Los datos básicos para un MDT son las coordenadas x , y , z de los puntos significativos, además, mientras más densa sea la cuadrícula o grilla formada por los puntos el MDT obtenido representará con mayor exactitud la forma real del terreno, se puede obtener curvas de nivel, perfiles, secciones transversales o vistas panorámicas, y calcular volúmenes de tierra.

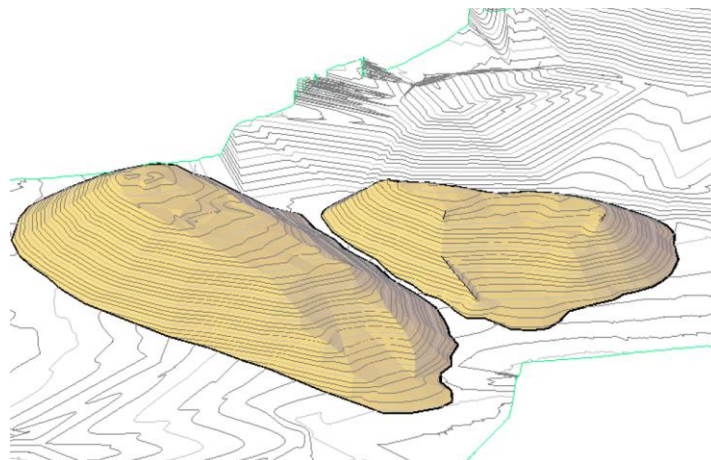


Figura 42. Modelo digital de Terreno

Fuente: Elaboración Propia.

- **Modelo digital de terreno (MDS)**, cuando en el modelo se considera la vegetación o edificaciones se lo conoce como Modelo digital de superficie (MDS, Digital Surface Model)

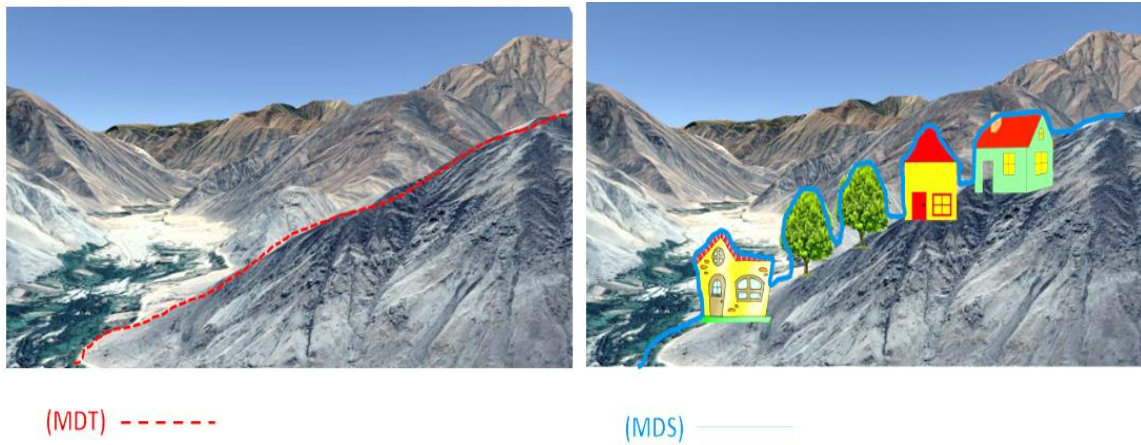


Figura 43. Definición de MDT y MDS

Fuente: Brondi, 2019

- **Modelo digital de elevación (MDE)**, cuando el modelo representa la distribución espacial de la altitud se lo conoce como Modelo digital de elevaciones (MDE, Digital Elevation Model)

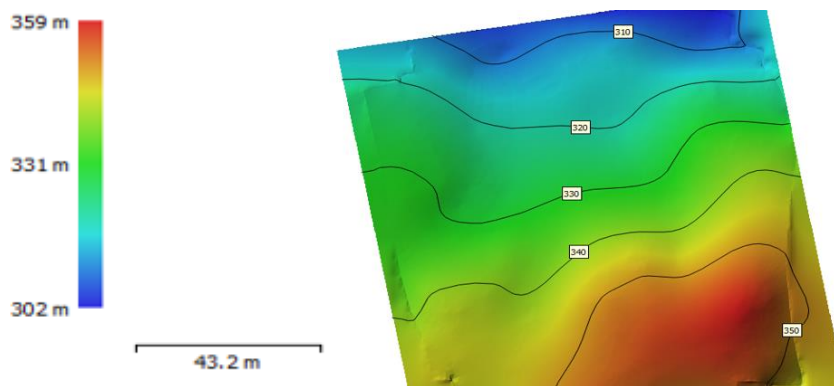


Figura 44. Modelo digital de elevación

Fuente: Elaboración Propia.

2.14.2. Ortofotografías

Son imágenes que tienen una escala fija para todos sus puntos que dan la posibilidad de realizar mediciones sobre ella.



Figura 45. Ortofoto

Fuente: Elaboración Propia.

2.14.3. Planos vectoriales

El operador fotogramétrico digitaliza las imágenes después de ser orientadas para la elaboración de diferentes planos topográficos y cartográficos.



Figura 46. Plano vectorial

Fuente: Quirós, 2014

2.15. PRECISIÓN Y EXACTITUD

Una discrepancia es la diferencia entre dos valores medidos de la misma cantidad. Una discrepancia pequeña indica que probablemente no hay equivocaciones y que los errores aleatorios son pequeños. Sin embargo, las discrepancias pequeñas no impiden la presencia de los errores sistemáticos. (Wolf & Ghilani, 2016, p. 48-49)

- **La precisión**, se refiere al grado de refinamiento o consistencia de un grupo de mediciones y se evalúa con base en la magnitud de las discrepancias. Si se hacen mediciones múltiples de la misma cantidad y surgen pequeñas discrepancias, esto refleja una alta precisión. El grado de precisión alcanzable depende de la sensibilidad del equipo empleado y de la habilidad del observador.
- **La exactitud**, denota una absoluta aproximación de las cantidades medidas a sus verdaderos valores.

La diferencia entre precisión y exactitud se muestra mejor en relación con el tiro al blanco. En la figura (a), por ejemplo, los cinco tiros se encuentran dentro de un estrecho agrupamiento que indica una operación precisa; es decir, el tirador pudo repetir el procedimiento con un alto grado de consistencia. Sin embargo, los tiros quedaron lejos del centro de la diana y, por tanto, no fueron exactos. Tal vez esto sea el resultado de una mala alineación de la mira del rifle. En la figura (b) se muestran tiros dispersos aleatoriamente que no son ni precisos ni exactos. En la figura (c), el agrupamiento en el centro de la diana representa tanto precisión como exactitud. El tirador que obtuvo los resultados en (a) quizá pudo hacer los tiros de (c) después de alinear la mira del rifle. En la topografía esto equivaldría a calibrar los instrumentos de medición o a la eliminación de los errores sistemáticos de las mediciones.

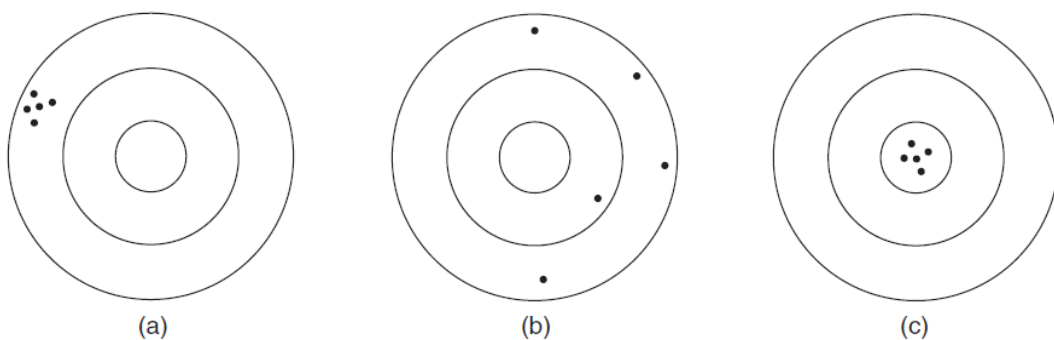


Figura 47. Ejemplos de precisión y exactitud

Fuente: Wolf & Ghilani, 2016

Igual que en el ejemplo del tiro al blanco, un levantamiento puede ser preciso sin ser exacto. Además, un levantamiento puede parecer exacto cuando en realidad se han efectuado mediciones aproximadas. Por ejemplo, los ángulos de un triángulo pueden leerse con una brújula con sólo una aproximación de $1/4$ de grado y obtener, sin embargo, una suma de exactamente 180° o un error de cierre nulo. En buenos levantamientos, la precisión y la exactitud siempre son fundamentales.

2.16. PROCESAMIENTO ELECTRÓNICO DE LA INFORMACIÓN

Los continuos avances, tanto en la producción de equipos (hardware) con mayores capacidades y velocidades, como de programas (software) de utilización cada vez más simple, hacen obligatorio su empleo en los diferentes campos de la ingeniería.

La contribución más importante del computador en todos los procesos de cálculo es la velocidad de procesamiento de datos y la eliminación de la posibilidad de errores aritméticos. Naturalmente, si los datos contienen imprecisiones o errores, el computador producirá resultados imprecisos o equivocados. Por tanto, el computador no puede sustituir ni remplazar el criterio, basado en los conocimientos del ingeniero que maneja la información. (Torres & Villate, 2000, pp. 427-430)

Vale la pena recalcar que para utilizar con éxito el computador es de particular importancia tener un conocimiento profundo de la teoría y los principios fundamentales de topografía y del área de utilización, que facilite la formulación de los problemas y la estructura lógica de sus soluciones. El computador simplemente permite procesar la información con velocidad y precisión de otra manera inalcanzables.

2.16.1. Software para Topografía

Hay muchos programas que facilitan el diseño, dibujo y cálculos de proyectos de ingeniería, a partir de datos e instrucciones suministrados al computador en formatos definidos, estos paquetes generalmente son programados en el lenguaje COGO (Coordinate Geometry), desarrollado para formular y resolver problemas topográficos.

El uso de estos programas varía de acuerdo a la ubicación y consentimiento del fabricante, entre estos tenemos:

- **Autodesk Civil 3d.**

Software de documentación y diseño para ingeniería civil, proyectos de diseño topográfico. Experimenta flujos de trabajo más eficaces para el modelado de superficies y carriles, el diseño de emplazamientos, el análisis de aguas pluviales y sanitarias, además de la producción y la documentación de planos, con el software Civil 3D® para ingeniería civil, es desarrollado Autodesk.

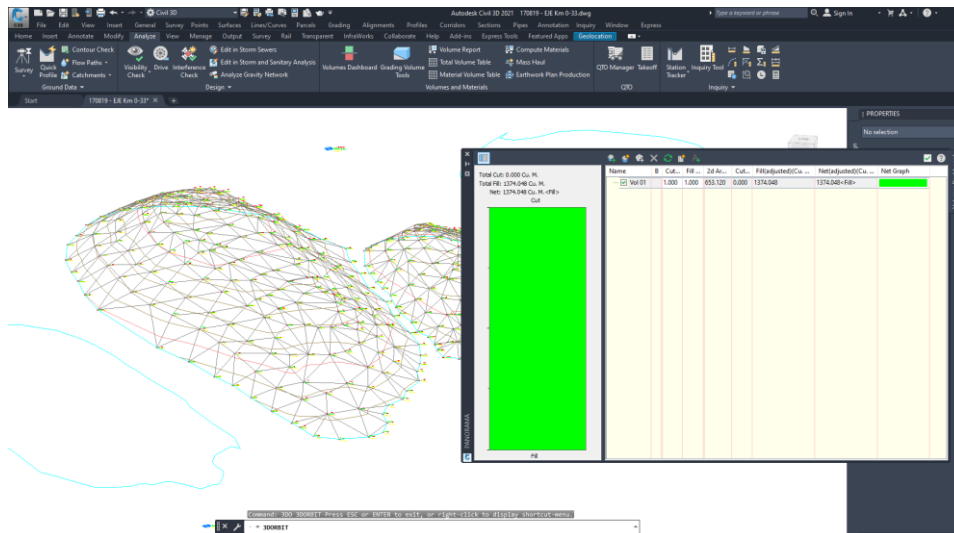


Figura 48. Cálculo de volumen en Autodesk Civil 3D

Fuente: Elaboración propia

❖ Cabe indicar que en el presente estudio utilizamos las herramientas de Autodesk Civil 3D para modelar la información del levantamiento topográfico y el cálculo de volúmenes.

- **AutoCad**, es un software de diseño asistido por computadora (CAD) en el cual se apoyan tanto arquitectos como ingenieros y profesionales de la construcción para crear dibujos precisos en 2D y 3D.
- **Civilcad**, es el software diseñado para crear funciones adicionales para ingeniería civil y topografía, automatizan y simplifican las tareas dentro de AutoCAD, desarrollado por ARQCom.
- **Bentley Power Civil**, programa de modelado de sitios y terrenos, desarrollado por Bentley.
- **Inroads Site**, herramienta para trazo de caminos incluye modelado 3D, producción de dibujos, vistas fotorrealistas.
- **Trimble Business Center (TBC)**, Software de procesamiento y ajuste de datos topográficos y geodésicos, TBC el software por excelencia de procesamiento y ajuste de datos GNSS, así como también de estación total y nivel digital.

2.16.2. Software para Fotogrametría

Existen diversos programas para de fotogrametría, con funcionalidad definida, unos para realizar el plan de vuelo con la con la toma de imágenes y otros para el procesamiento.

Software para plan de vuelo y toma de fotos

- **Pix4Dcapture.**

Es una aplicación gratuita de planificación de vuelos de drones para un mapeo y modelado 3D óptimos, para el correcto funcionamiento de esta aplicación siempre se debe de instalar la aplicación complemento Ctrl+DJI.

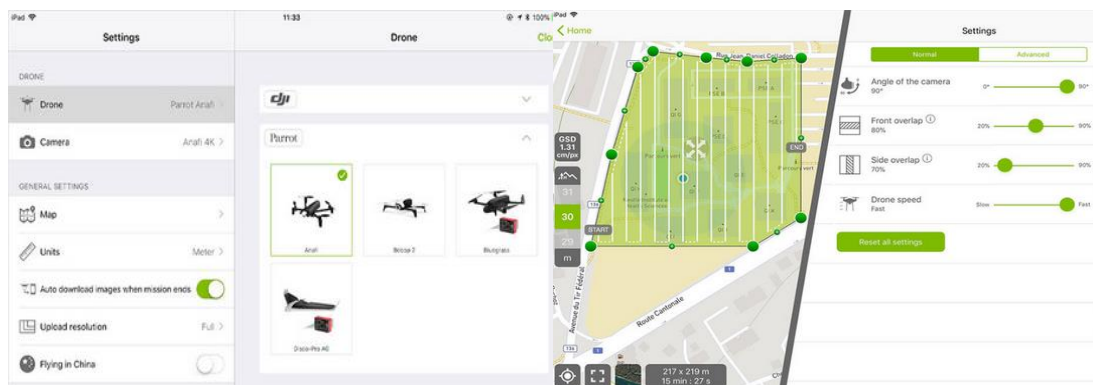


Figura 49. Elección de dron y plan de vuelo

Fuente: <https://www.pix4d.com/es/producto/pix4dcapture>

❖ En el presente estudio utilizamos Pix4Dcapture para el plan de vuelo.

- **Dji Gs Pro**, es una aplicación para iPad. Realiza misiones de vuelo automatizadas, administra datos de vuelo en la nube y colabora en proyectos para ejecutar de manera eficiente su programa de drones.
- **Maps Made Easy**, aplicación para plan de vuelo, procesamiento y alojamiento de mapas aéreos.
- **Mission Planner**, es una aplicación de estación terrestre con todas las funciones para el proyecto de piloto automático de código abierto ArduPilot.

Software para procesamiento de información.

- **Pix4Dmapper**

Es un software de fotogrametría para mapeo profesional con drones, transforma sus imágenes en modelos espaciales digitales.

Pix4Dmapper es un software de fotogrametría que, a partir de un conjunto de imágenes con solape, genera nubes de puntos en común entre ellas para construir ortomosaicos, MDT y MDS para generar cartografía 2D y modelos 3D.

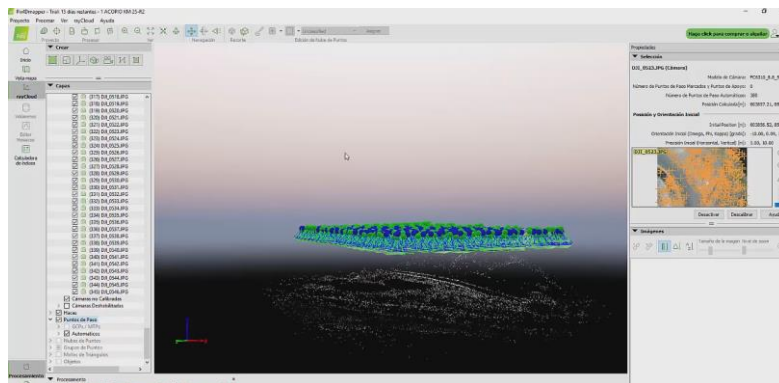


Figura 50. Pix4Dmapper

Fuente: Elaboración propia

❖ En el presente estudio utilizamos Pix4Dmapper para el procesamiento de imágenes y cálculo de volúmenes.

- **DroneDeploy:** Software de mapeo con drones, se obtiene datos visuales interiores y exteriores a cualquier altitud, cualquier ángulo, todo en una plataforma.
- **Autodesk ReCap,** convierte fotografías en un modelo 3D o dibujo 2D, permite generar fácilmente una nube de puntos o una malla lista.
- **Agisoft Metashape,** es un producto de software independiente que realiza procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D.
- **ArcGIS,** es un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), producido y desarrollado por ESRI.

2.17. TERMINOS RELACIONADOS CON LA TOPOGRAFÍA Y FOTOGAMETRÍA

A continuación, se presentan definiciones importantes para la topografía y fotogrametría. (Portillo, 2019, Mod. V)

2.17.1. Agrimensura

Se encarga de ubicar superficies, delimitarlas, medirlas, representarles, y evaluar el espacio que ocupan, además de valorar el espacio que ocupan y su propiedad territorial. No importa que el terreno sea público, privado, y urbano o rural.

2.17.2. Geofísica

Es la ciencia que aplica los principios físicos al estudio de la tierra. Los geofísicos examinan los fenómenos naturales y sus relaciones en el interior terrestre.

2.17.3. Geodesia

Ciencia que tiene por objeto el estudio de la forma y dimensiones de la tierra, esto incluye la determinación del campo gravitatorio externo de la tierra y la superficie del fondo oceánico. Dentro de esta definición, se incluye también la orientación y posición de la tierra en el espacio.

2.17.4. La Forma de la Tierra

Para hacer cálculos sencillos y aproximados, normalmente se asocia la Tierra con una esfera. Sin embargo, la forma de nuestro planeta es más compleja.

- La Tierra está achatada por lo polos,
- El hemisferio sur es un poco más voluminoso que el norte.
- Tiene una cierta rugosidad debida al relieve del terreno.



Figura 51. Formas de la tierra

Fuente: Brondi, 2019

2.17.5. Superficie real de la Tierra.

Está constituida apenas por las partes sólidas, se encuentra en contacto con la troposfera. Es totalmente irregular, no puede ser representada en forma matemática, su forma no es rígida es variable.

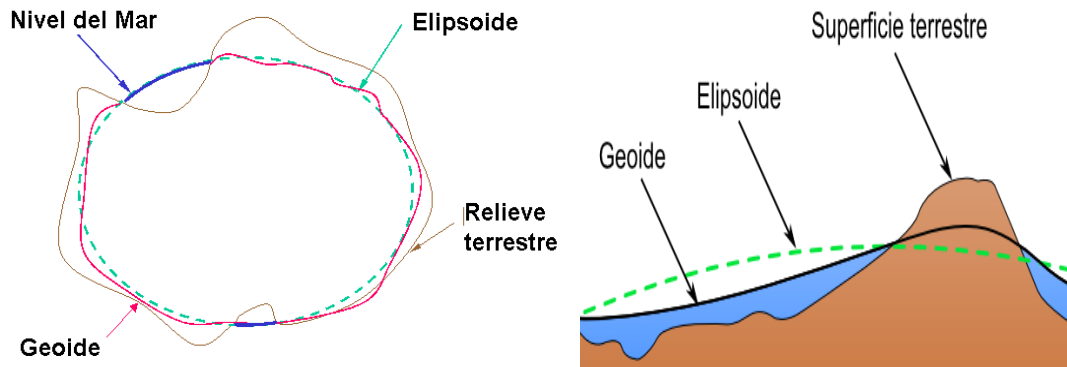


Figura 52. Relieve terrestre

Fuente: portillo, 2019

2.17.6. Geoide.

Es la superficie equipotencial en el campo de la gravedad de la tierra que coincide con la superficie media de los mares, extendida a través de los continentes.

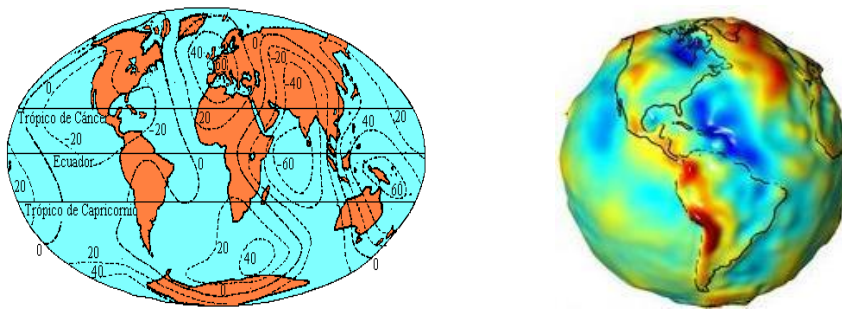


Figura 53. Geoide

Fuente: Brondi, 2019

2.17.7. Elipsoide

Es la figura que más se aproxima a la forma de la tierra. Es el modelo matemático que forma una elipse de revolución sobre su eje menor.

$$f = \frac{a - b}{a}$$

donde,

a: semieje mayor (radio ecuatorial)

b: semieje menor (radio polar)

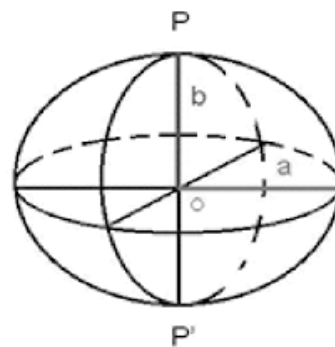


Figura 54. Geoide

Fuente: Brondi, 2019

2.17.8. Relación entre el Geoide y el Elipsoide.

La distancia entre el elipsoide y el geoide en una localización concreta se llama Ondulación del geoide (N) en ese punto. (Quirós, 2014, p.21)

$$N = h - H$$

donde,

h: altura o cota elipsoidal

H: altura sobre el geoide o cota ortométrica.

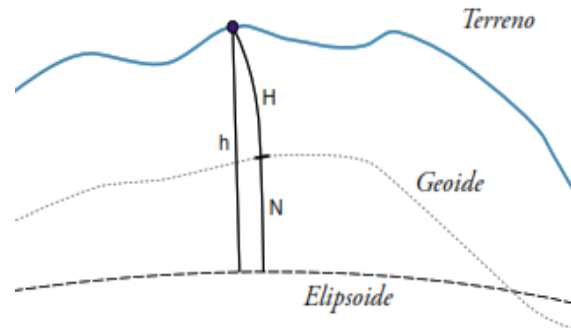


Figura 55. Ondulación del geoide

Fuente: Quirós, 2014

2.17.9. Sistema de Referencia

Para el sistema de referencia geocéntrico para las Américas (SIRGAS), son modelos o parámetros que sirven como base para la representación de la geometría de la superficie terrestre y su variación el tiempo, con origen en el geocentro.

Parámetros de referencia:

- PSAD 56
- SAD69
- WGS84

Nos permiten definir:

- Un origen concreto del sistema.
- Una dirección del espacio, en tres ejes.
- Una métrica.

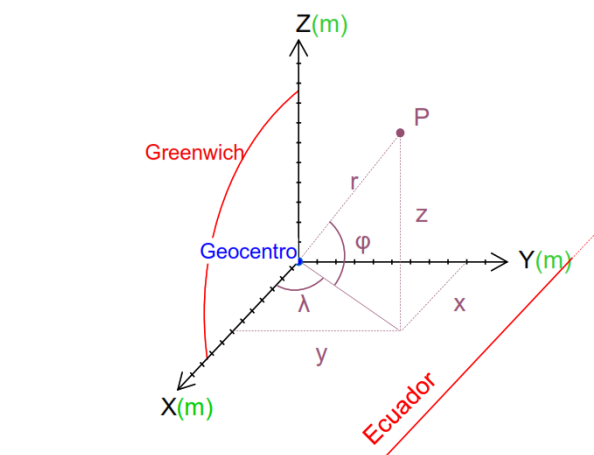


Figura 56. Sistema de referencia

Fuente: Portillo, 2019

2.17.10. Marcos de referencia

Materialización de un sistema de referencia, es el conjunto de elementos que determinan de forma práctica un sistema de referencia y está constituido por las coordenadas

de los puntos de definición, las técnicas aplicadas en las observaciones o medidas y los métodos de cálculo aplicados de los parámetros.

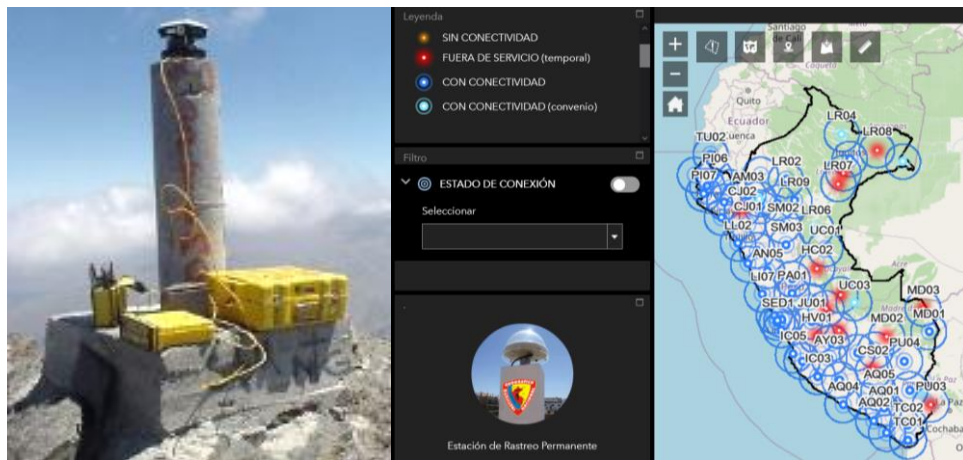


Figura 57. Marco de referencia

Fuente: Portillo, 2019

El sistema geodésico oficial de Perú, está conformado por la red geodésica horizontal oficial y la red geodésica vertical oficial, implementada y administrada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN); constituye el sistema de referencia único a nivel nacional, el cual se encuentra integrado al Sistema de Referencia Mundial.

- **Red geodésica horizontal oficial**, es la red geodésica geocéntrica nacional (REGGEN), la misma que tiene como base el sistema de referencia geocéntrico para las américas (SIRGAS) sustentado en el marco internacional de referencia terrestre 2000 – International Terrestrial Reference Frame 2000 (ITRF2000) del International Earth Rotation Service (IERS) para la época 2000.4 relacionado con el elipsoide del Sistema de Referencia Geodésico 1980 – Geodetic Reference System 1980 (GRS80).

La Red Geodésica Geocéntrica Nacional actualmente está conformada por las 67 Estaciones de Rastreo Permanente (ERP) de la Red Geodésica Peruana de Monitoreo Continuo, distribuidos dentro del ámbito del Territorio Nacional, los mismos que constituyen bienes del Estado. El elipsoide a ser utilizado es el World Geodetic System 1984 (WGS84).

- **Red Geodésica Vertical Oficial**, es la red geodésica de nivelación nacional, a cargo del IGN, la misma que tiene como superficie de referencia el nivel medio del mar, conformado por marcas de cota fija (MCF) o Bench Mark (BM) distribuidos dentro del

ámbito del territorio nacional a lo largo de las principales vías de comunicación terrestre, los mismos que constituyen bienes del Estado.

2.17.11. Datum

Es un modelo elipsoide que representa matemáticamente la forma de la tierra y con la cual se obtiene los datos geodésicos de puntos sobre la superficie terrestre entre los que se encuentran las coordenadas UTM.

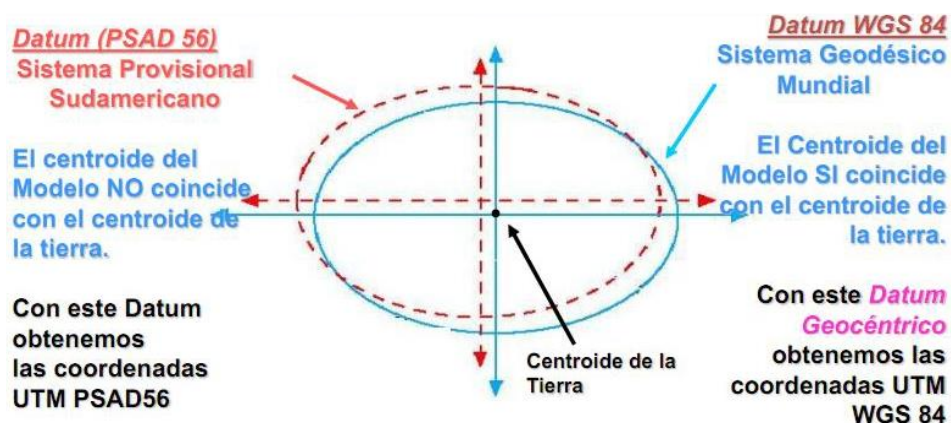


Figura 58. Modelo elipsoidal - Datum

Fuente: Brondi, 2019

- **Datum horizontal.** Punto de referencia geodésico para los levantamientos de control horizontal, del cual se conocen los valores: latitud, longitud y azimut de una línea a partir de este punto y los parámetros del elipsoide de referencia.
- **Datum vertical.** Cualquier superficie nivelada que se toma como superficie de referencia a partir de la cual se calculan las elevaciones. Usualmente se escoge el geode, el cual es la superficie equipotencial del campo gravitacional terrestre que mejor se aproxima al nivel medio del mar.

2.17.12. Sistema de Coordenadas

Un sistema de coordenadas es un sistema de referencia que se utiliza para representar la ubicación de entidades geográficas, imágenes y observaciones (como las localizaciones GPS) dentro de un marco geográfico común.

2.17.13. Coordenadas Geográficas

Es un método para describir la posición de una ubicación geográfica en la superficie de la Tierra utilizando mediciones esféricas de latitud y longitud.

El sistema de coordenadas geográficas consta de líneas de latitud y de longitud. Las líneas de longitud (meridianos) van de norte a sur y miden los grados hacia el este o el oeste desde el meridiano 0 de Greenwich. Los valores pueden ir de -180 a +180°. Las líneas de latitud (paralelos) van de este a oeste y miden los grados hacia el norte o el sur desde el ecuador. Los valores van de +90° en el Polo Norte a -90° en el Polo Sur.

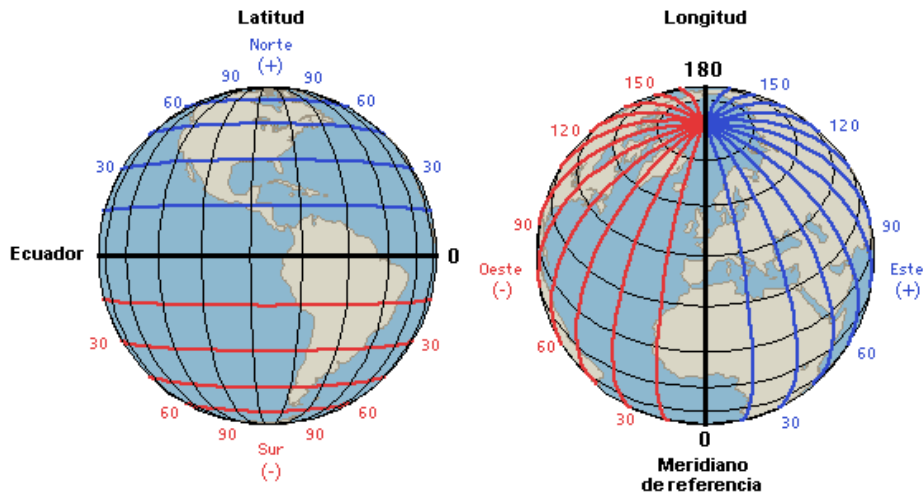


Figura 59. Descripción de coordenadas geográficas

Fuente: Brondi, 2019

2.17.14. Coordenadas Proyectadas

Son transformaciones matemáticas que permiten representar (proyectar) a la esfera en el plano, y convertir las coordenadas geográficas (latitud & longitud) en coordenadas cartesianas.

En función a la superficie auxiliar con que se realiza la proyección son:

- **Proyección cónica**, proyección de la superficie terrestre sobre un cono imaginario. La representación será exacta cerca de donde ambas figuras se tocan, pero tendrá deformaciones en los puntos más alejados.
- **Proyección acimutal o plana**, al proyectar la superficie del planeta en una hoja de papel que hace contacto en un solo punto. Se logra una buena aproximación, pero con la desventaja de que se representa sólo una mitad del globo terrestre.
- **Proyección cilíndrica**, supone que la Tierra está dentro de un cilindro y sobre éste se proyecta la forma de la superficie terrestre; los territorios cercanos al ecuador mantienen sus proporciones, pero al aproximarse a los polos la imagen proyectada se distorsiona de manera considerable.

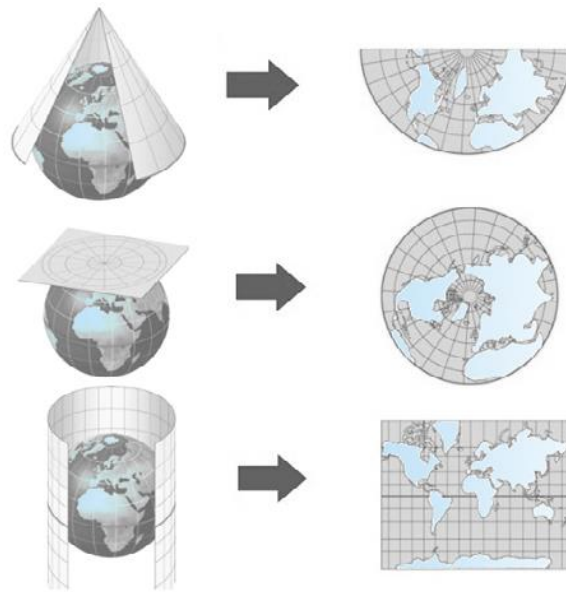


Figura 60. Proyección cónica, acimutal y cilíndrica

Fuente: Quirós, 2014

2.17.15. Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM)

Es una proyección cilíndrica, el geógrafo flamenco Gerardus Mercator en 1659 generó una malla matemática en donde los meridianos como los paralelos son líneas rectas y se cortan perpendicularmente. Mercator al desarrollar la proyección UTM, dividió la esfera de la tierra en 60 zonas de 6° grados.

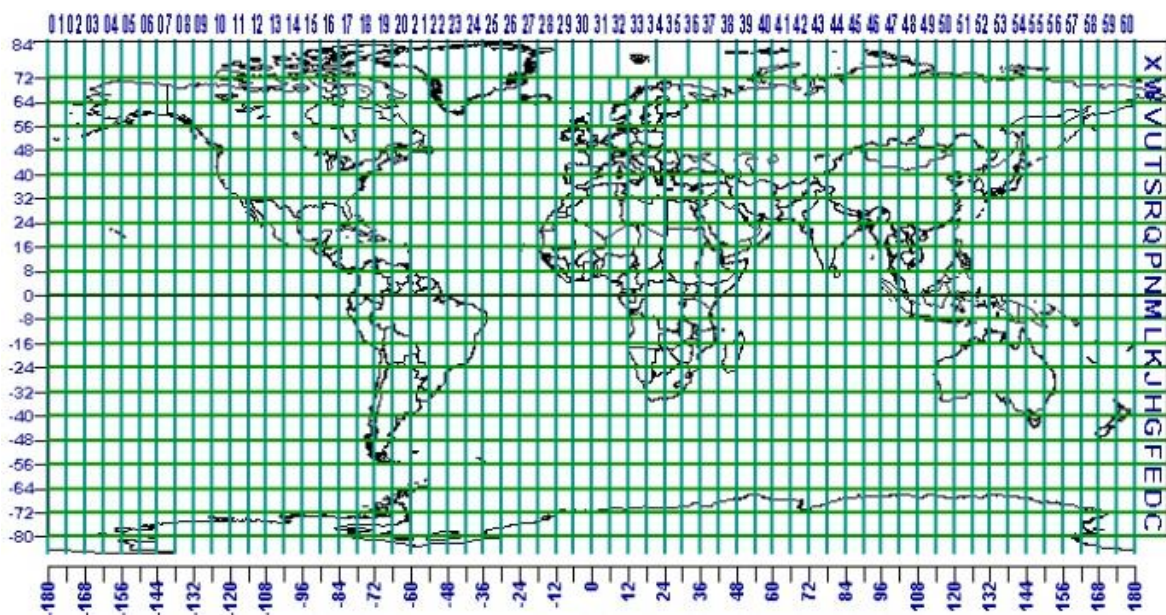


Figura 61. Cuadrícula UTM

Fuente: Brondi, 2019

2.17.16. Zonas UTM en Perú

Perú se encuentra ubicado entre las zonas 17, 18 y 19.

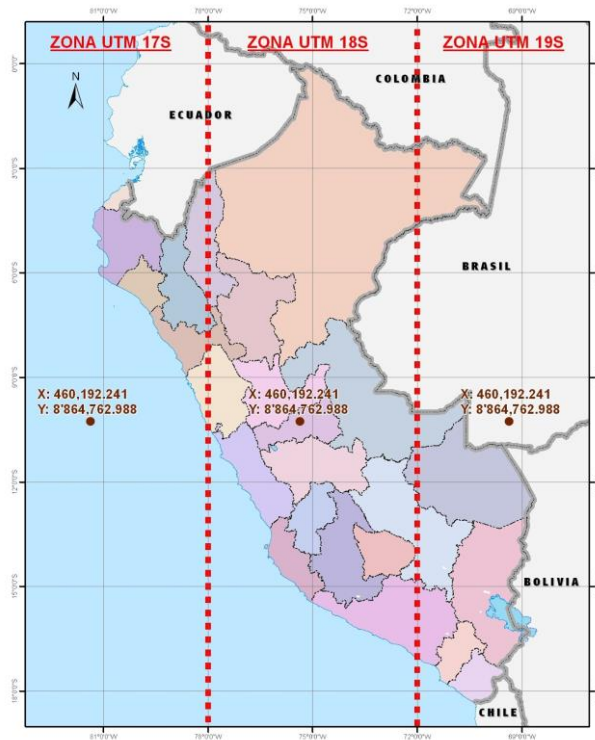


Figura 62. Zonas UTM de Perú

Fuente: Brondi, 2019

CAPITULO III

METODOS Y MATERIALES

CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA

El estudio se realizó en el departamento de Ayacucho, provincia de Vilcashuaman, distrito de Vischongo, en la Carretera Abra Tocto - Vilcashuaman, tramo: Condorcocha - Vilcashuaman.

Para llegar a Condorcocha, partiendo de Lima se sigue la Panamericana sur (Carretera 1S) hasta llegar al distrito de San Clemente en Pisco (Long. 230.1 km, aprox. 3h 12min), luego se toma la Carretera 28A hasta llegar a la provincia de Huamanga en Ayacucho (Long. 330.7 km, aprox. 6h 02 min.), a continuación, se sigue la Carretera 3S hasta llegar al cruce Abra Tocto (Long. 34.6 km, aprox. 55 min) finalmente se toma la ruta 32A hasta llegar al C.P. Condorcocha (Long. 13.7 km, aprox. 16 min).

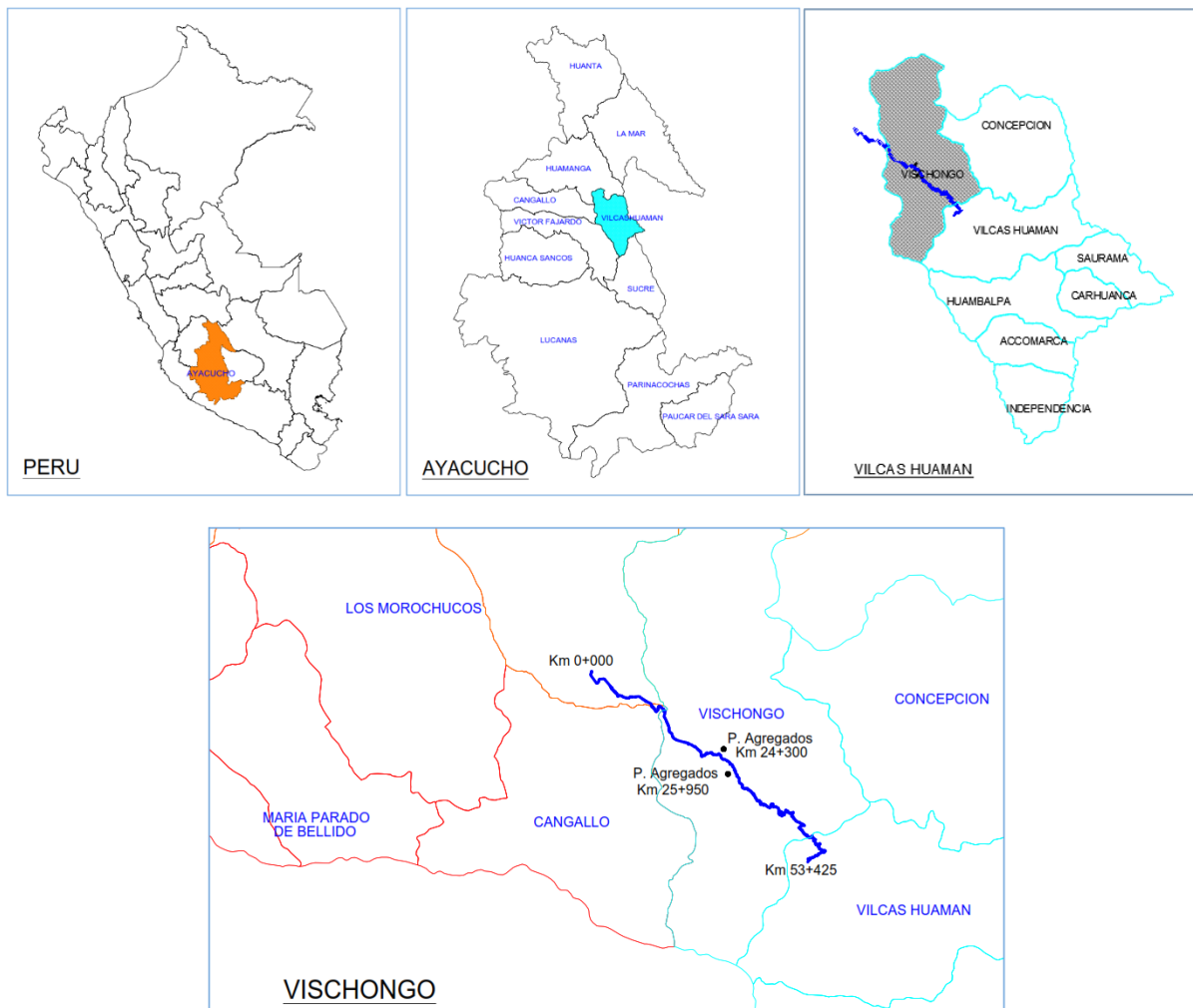


Figura 63. Ubicación geográfica del proyecto (Zona UTM 18S)

Fuente: Elaboración Propia

Los agregados cubricados son productos de las plantas de procesamiento de materiales, que están ubicadas el km 24+300 (lado izquierdo) y el km 25+950 (lado derecho) de la carretera Abra Toccto - Vilcashuaman, tramo: Condorcocha - Vilcashuaman.

Son 8 pilas de agregados, 06 en el km 24+300 y 02 en el km 25+950 distribuidos como se muestra en la siguiente imagen,

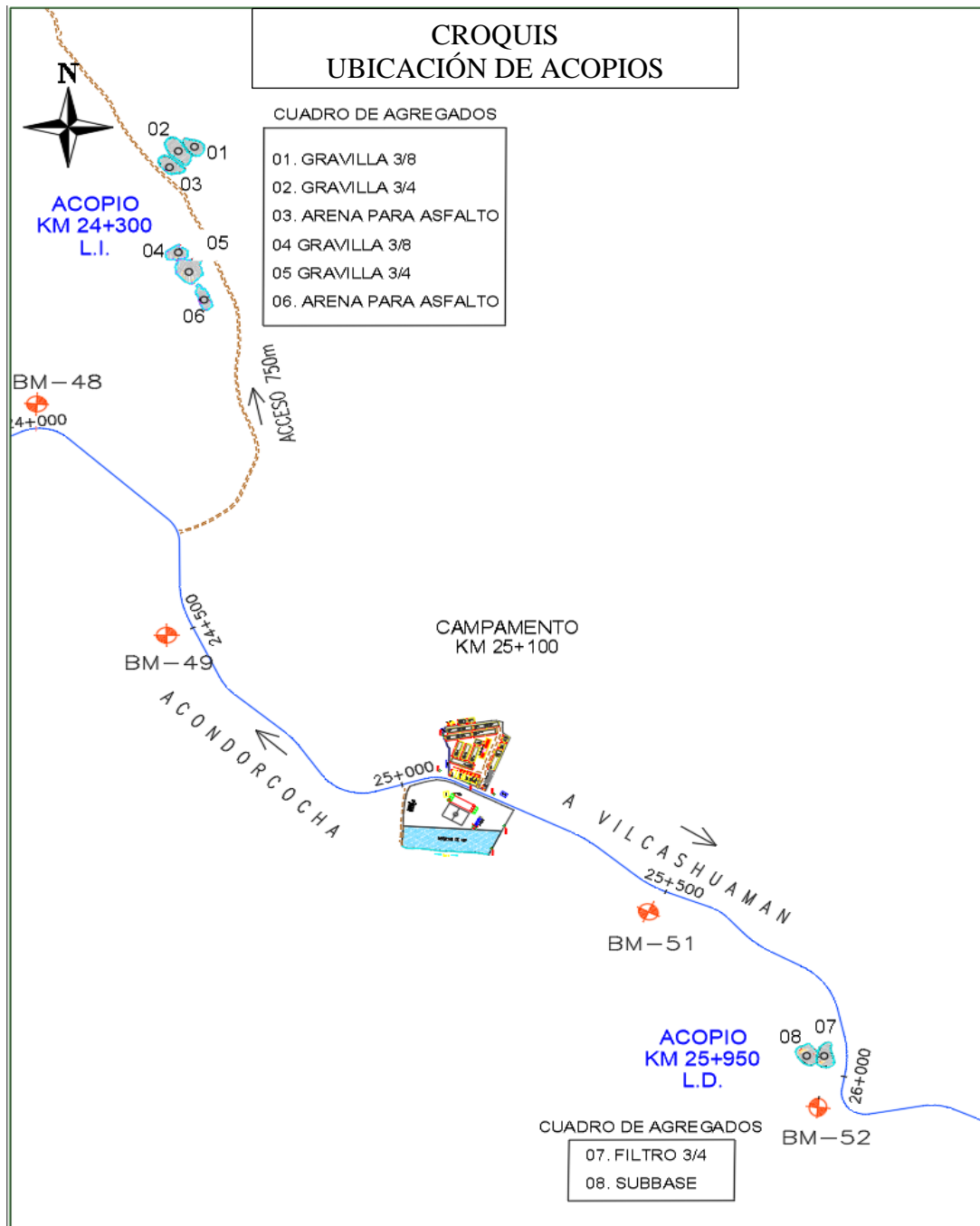


Figura 64. Ubicación de acopios km 24+300 (L.I.) y km 25+950 (L.D.)

Fuente: Elaboración Propia

- **Altitud**, las plantas de acopio se encuentra entre los 3000 - 3500 msnm.
- **Clima**, se encuentra en la región quechua (entre 2.300-3.500 msnm) lo que determina que su clima sea templado, seco; soleado durante el día, pero frío durante la noche.
- **Temperatura**, Su temperatura media anual es de 15,6 °C, siendo época de lluvias de noviembre a marzo, que coinciden con el cíclico fenómeno de El Niño, típico del norte tropical peruano.
- **Topografía**, es de relieve accidentado, típico de la sierra peruana.

3.2. MATERIALES

A continuación, se enumeran los materiales y equipos utilizados para el trabajo de campo y gabinete.

Materiales

- Pintura roja y blanca
- Disolvente Thinner
- Brochas de 4" y 2"
- Varillas de fierro de 1/2"
- Yeso
- Dianas (marcas para puntos de apoyo)
- Libreta de campo

Equipos y software

- Estación total

Marca: Trimble
 Modelo: 5603-DR200+
 Precisión: 3"

- Drone

Marca: DJI
 Modelo: Phantom 4 Pro
 Tiempo de vuelo: 30 minutos
 Velocidad máxima: 72 km/hora
 Resolución de video: 4K, 60fps
 Rango de control: 7 km

Detección obstáculos: 5 direcciones
Cámara (sensor): CMOS 1" de 20mp

- Laptop

Marca: Asus
Modelo: G701VO
CPU: Intel Core i7
RAM: 64GB
GPU: 8GB, Nvidia geforce gtx 980
Sistema: Windows 10 Home, 64 bit

- Celular Huawei P20-lite
- Jalones y prismas
- Trípode de madera
- Bípode para prisma.
- Camioneta Toyota Hi Lux
- Software para procesar datos topográficos Autodesk Civil 3D v.2019.
- Aplicación de vuelo de drones para celular Pix4Dcapture v.4.4
- Software para fotogrametría Pix4Dmapper v.4.4.12



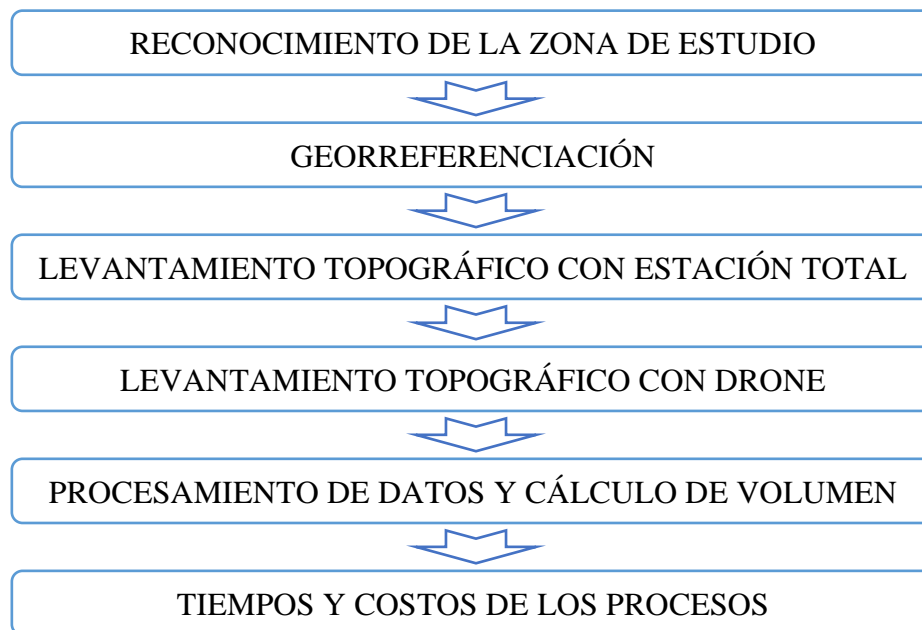
Figura 65. Equipos y personal que participaron en el estudio

Fuente: Elaboración Propia

3.3. PROCEDIMIENTO

A continuación, se describe el procedimiento realizado para el cálculo de volúmenes de materiales acopiados en el km 24+300 y el km 25+950, este cálculo de volúmenes de materiales acopiados se realizó primeramente con los datos obtenidos en el levantamiento topográfico con estación total y luego con datos obtenidos en el levantamiento topográfico con dron, de acuerdo al siguiente flujo de trabajo.

Flujo de trabajo



3.3.1. Reconocimiento de la zona de estudio

Esta etapa es muy importante y se realiza tanto para los levantamientos con estación total como para los levantamientos topográficos con dron, y nos ayuda a determinar:

- El área de estudio.
- Ubicación de los puntos de control terrestre.
- Lugares para posicionamiento de la estación total con la mejor visión hacia los acopios a levantar.
- Posibles Obstáculos para el vuelo fotogramétrico, como líneas de alta tensión, torres de alumbrado, antenas, etc.
- Seguridad del área de trabajo.
- Estado de accesos los puntos de acopio.
- Tiempos de traslado a la zona de acopios, entre otros.



Figura 66. Reconocimiento de la zona de estudio

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2. Georreferenciación

Esta etapa se determina la posición y ubicación de los puntos de apoyo de control terrestre, se marcan y señalizan para su fácil ubicación.

Se realiza la recolección de datos con el método directo y procedimiento taquimétrico para determinar las coordenadas de los puntos de apoyo de control terrestre.



Figura 67. Señalización de puntos de control terrestre

Fuente: Elaboración Propia

Con la Estación Total nos posicionamos en los BMs conocidos monumentados a lo largo de la vía y desde ahí medimos (visamos) los puntos de apoyo (PC) para determinar sus coordenadas, estos puntos de apoyo se usaron para posicionar la estación total y realizar los

levantamientos de los acopios de agregados, también se utilizan como GCP para georreferenciar las imágenes del vuelo fotogramétrico.

Los BMs fueron generados desde la red geodésica de la carretera (puntos de orden C), los BMs son considerados Puntos Fijos de Control Horizontal (PFCH), con una **precisión** horizontal = 10 mm y vertical = 15mm tal como lo establece el IGN en sus normas técnicas para posicionamiento, de ahí que los puntos de apoyo (PC) tendrán como máximo la misma precisión que los BMs.

- Con el BM48 y el BM49 se determinamos las coordenadas x, y, z de los puntos de apoyo PC1, PC2, PC3, PC4, PC5, PC6 y PC7.
- Con el BM51 y el BM52 se determinamos las coordenadas x, y, z de los puntos de apoyo PC1, PC2, PC3, PC4, PC5, PC6 y PC7.

Tabla 5. Cuadro de coordenadas de BMs y Puntos de Apoyo

CUADRO DE COORDENADAS DE BMs				
COORDENADAS UTM WGS84-18S				
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)	DESCRIPCION
1	8503624.301	602522.630	3275.902	BM-48
2	8503193.081	602737.463	3270.187	BM-49
3	8502675.428	603538.961	3268.485	BM-51
4	8502310.617	603820.219	3262.789	BM-52
CUADRO DE COORDENADAS DE PUNTOS DE APOYO				
COORDENADAS UTM WGS84-18S				
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)	DESCRIPCION
1	8504044.864	602763.904	3282.157	PC1
2	8504131.560	602760.033	3287.536	PC2
3	8504129.797	602825.525	3287.312	PC3
4	8503787.481	602804.376	3277.725	PC4
5	8503811.336	602842.629	3278.336	PC5
6	8503883.657	602800.696	3278.672	PC6
7	8503928.238	602767.723	3279.627	PC7
8	8502448.783	603858.225	3265.901	PC8
9	8502374.208	603837.513	3265.894	PC9
10	8502435.050	603777.918	3266.606	PC10

Fuente: Elaboración Propia

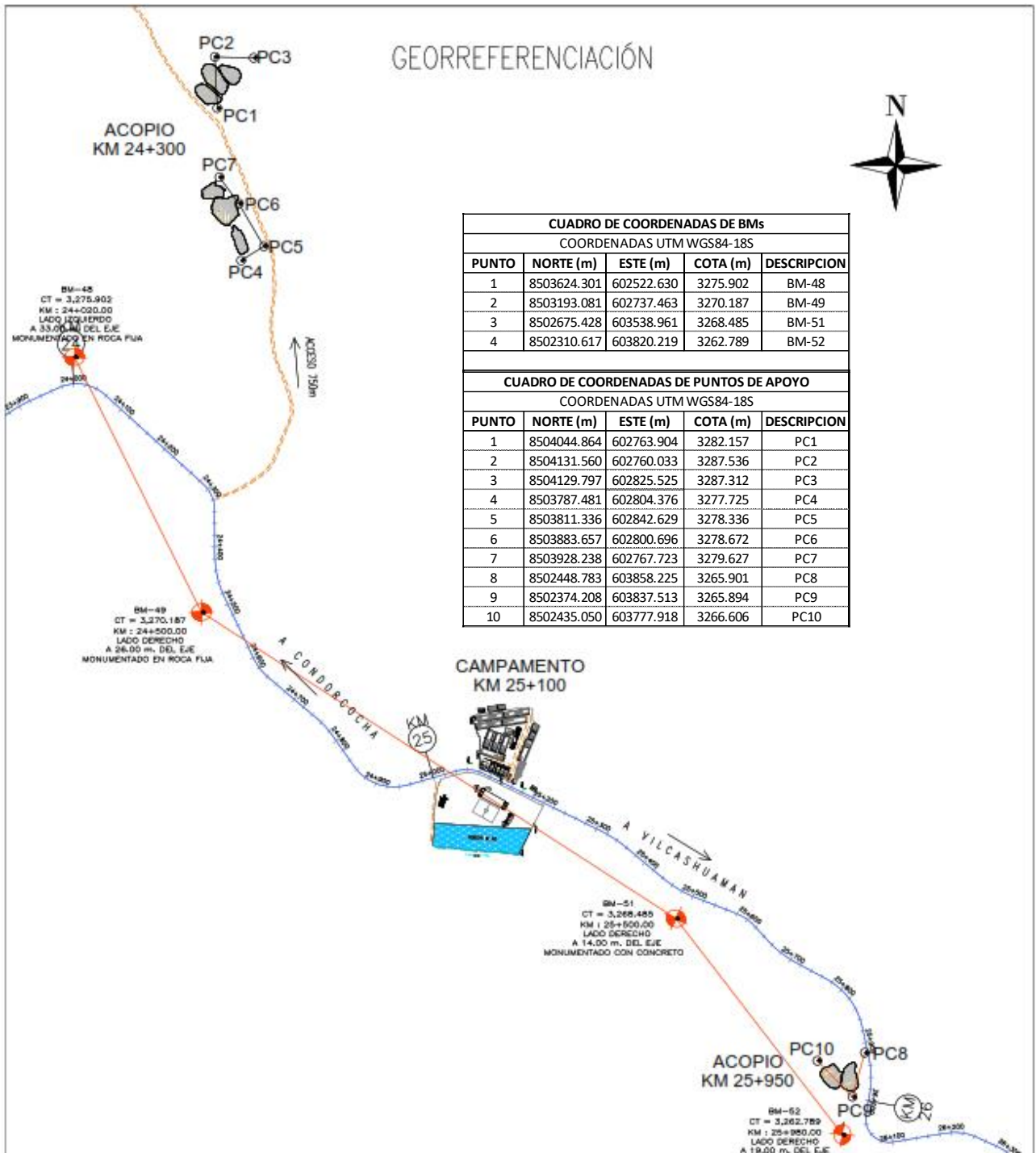


Figura 68. Croquis de BMs y Puntos de Apoyo

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3. Levantamiento topográfico con estación total

El levantamiento topográfico se realizó con la estación total Trimble 5603 y consistió en la toma de datos con el método directo y procedimiento taquimétrico para determinar las coordenadas x, y, z de los puntos de superficie de cada acopio de material.

- Primeramente, para la toma de datos, se estaciona la estación total en la zona de estudio referenciándose en los diferentes puntos de apoyo terrestre, cuyas coordenadas fueron determinadas en la etapa anterior, luego se procede a tomar puntos sobre la superficie de cada uno de los acopios.
- Luego de haber realizado la toma de datos de campo, estos se procesan en el software Autodesk Civil 3D v.2019, obteniendo un modelo digital de superficie en 3d y su respectivo volumen.



Figura 69. Levantamiento topográfico con estación total

Fuente: Elaboración Propia

El levantamiento topográfico con estación total se realizó en 3 días de 8 horas de jornada laboral con 01 topógrafo y 04 auxiliares de topografía.

- El primer día se realizó el levantamiento de los acopios ubicados en el km 24+300: 01 Gravilla 3/8, 02 Gravilla 3/4 y 03 Arena para asfalto
- El segundo día se realizó el levantamiento de los acopios: 04 Gravilla 3/8, 05 Gravilla 3/4 y 06 Arena para asfalto, también del Km 24+300.
- El tercer día se realizó el levantamiento de los acopios ubicados en el km 25+950: 07 Filtro 3/4 y 08 SubBase.

❖ Nota: Los datos de levantamientos se anexan en formato digital.

3.3.4. Levantamiento topográfico con dron

Levantamiento topográfico con Dron o Levantamiento Fotogramétrico, se realizó con un Dron Phantom 4 Pro, la toma de imágenes fue con el método indirecto y con procedimiento para fotogrametría digital aérea.

- En esta fase del estudio se elaboró el plan de vuelo para la toma de fotos, dicho plan de vuelo se realizó con la aplicación Pix4Dcapture, que nos permite configurar los diferentes tipos de vuelo y sus los parámetros de acuerdo al tipo de dron.
- Las fotos obtenidas del vuelo se procesan en el software Pix4Dmapper para obtener el modelo digital de superficies (MDS).
- Se exportan las curvas de nivel del MDS en formato dwg, luego se generó una superficie en Autodesk Civil 3D y se calculó los volúmenes.

3.3.4.1. Plan de vuelo

Para la toma de fotografías de los acopios fueron necesarios 03 vuelos fotogramétricos, 02 en el acopio del km 24+300 y 01 el acopio ubicado en el km 25+950.

Los 03 vuelos fotogramétricos se realizaron en 1 día, de 8 horas de jornada laboral con 01 piloto de dron y 01 auxiliares de topografía.

- Primeramente, se configuro la aplicación para el dron Phantom 4 Pro y se seleccionó la misión tipo doble rejilla (Double Grid) para todos los vuelos.

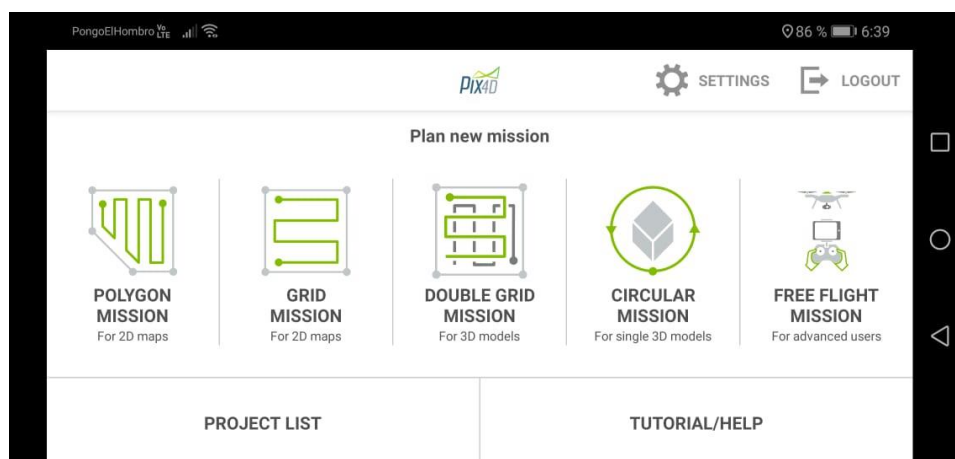


Figura 70. Tipos de vuelo en Pix4dcapture

Fuente: Elaboración Propia

- El Plan de Vuelo 01, se diseñó para la toma fotos sobre el acopio 01-Gravilla 3/8, 02-Gravilla 3/4 y el acopio 03-Arena para asfalto, con los siguientes parámetros.

H=22m, GSD=0.61cm/pix, Tvuelo=16min 00seg, y Overlap=80%

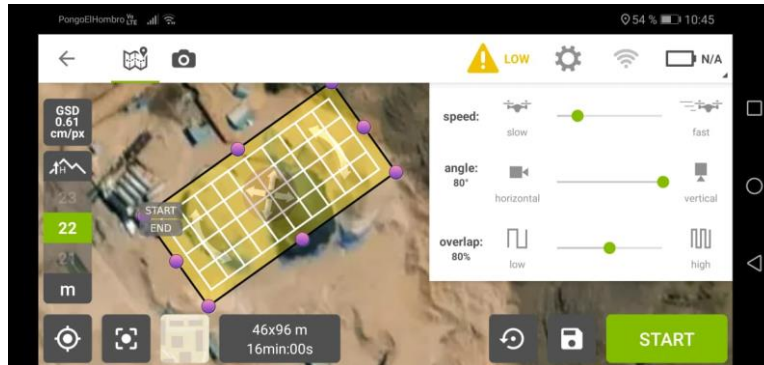


Figura 71. Plan de vuelo 01 (km 24+300)

Fuente: Elaboración Propia

- El Plan de Vuelo 02, se diseñó para la toma fotos sobre el acopio 04-Gravilla 3/8, 05-Gravilla 3/4 y el acopio 06-Arena para asfalto.

H=30m, GSD=0.83cm/pix, Tvuelo=17min 00seg, y Overlap=80%

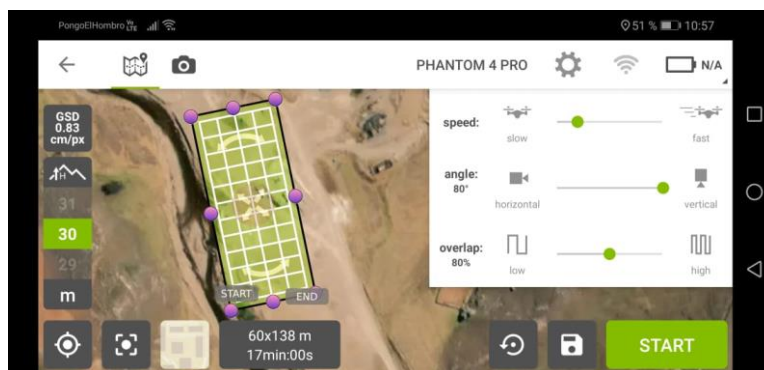


Figura 72. Plan de vuelo 02 (km 24+300)

Fuente: Elaboración Propia

- El Plan de Vuelo 03, fue sobre los acopios 07-Filtro 3/4 y 08-SubBase.

H=30m, GSD=0.83cm/pix, Tvuelo=16min 30seg, y Overlap=80%

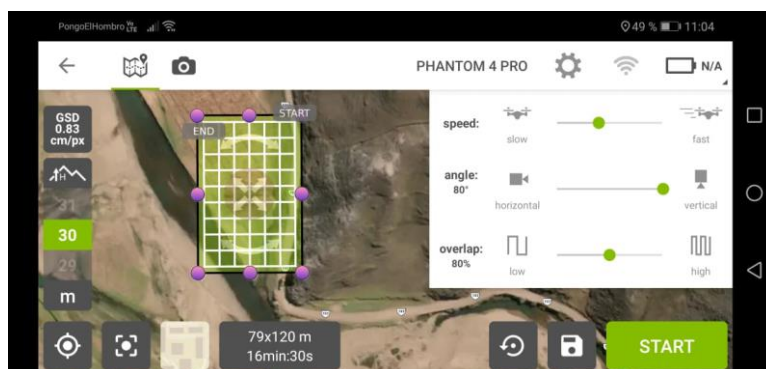


Figura 73. Plan de vuelo 03 (km 25+950)

Fuente: Elaboración Propia

3.3.4.2. Apoyo topográfico

Para la georreferenciación de las imágenes se midió las coordenadas x, y, z de puntos de control terrestre (GCP).

- Para georreferenciar las imágenes del vuelo 01 (acopios 01-Gravilla 3/8, 02-Gravilla 3/4 y 03-Arena para), se utilizó:

Tabla 6. Cuadro de GCP para el vuelo 01

CUADRO DE COORDENADAS DE PUNTOS DE APOYO				
COORDENADAS UTM WGS84-18S				
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)	DESCRIPCION
1	8504044.864	602763.904	3282.157	PC1
2	8504131.560	602760.033	3287.536	PC2
3	8504129.797	602825.525	3287.312	PC3

Fuente: Elaboración Propia

- Para georreferenciar las imágenes del vuelo 02 (acopios 04-Gravilla 3/8, 05-Gravilla 3/4 y 06-Arena para asfalto), se utilizó:

Tabla 7. Cuadro de GCP para el vuelo 02

CUADRO DE COORDENADAS DE PUNTOS DE APOYO				
COORDENADAS UTM WGS84-18S				
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)	DESCRIPCION
4	8503787.481	602804.376	3277.725	PC4
5	8503811.336	602842.629	3278.336	PC5
6	8503883.657	602800.696	3278.672	PC6
7	8503928.238	602767.723	3279.627	PC7

Fuente: Elaboración Propia

- Para georreferenciar las imágenes del vuelo 03 (acopios 07-Filtro 3/4 y 08-SubBase), se utilizó:

Tabla 8. Cuadro de GCP para el vuelo 03

CUADRO DE COORDENADAS DE PUNTOS DE APOYO				
COORDENADAS UTM WGS84-18S				
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)	DESCRIPCION
8	8502448.783	603858.225	3265.901	PC8
9	8502374.208	603837.513	3265.894	PC9
10	8502435.050	603777.918	3266.606	PC10

Fuente: Elaboración Propia

Para reforzar los puntos característicos conocidos en las imágenes que tomara el drone, se colocó dianas y marcas con yeso sobre las superficies de interés, de estos puntos de apoyo no se tomaron las coordenadas, sin embargo, ayudan significativamente durante el proceso de modelado del terreno en 3D.

3.3.4.3. Toma fotográfica

En esta etapa se toma imágenes, siguiendo el plan de vuelo definido previamente con la aplicación Pix4Dcapture



Figura 74. Despesque de drone Phantom 4 Pro

Fuente: Elaboración Propia

- ❖ Nota: Las imágenes tomadas por el drone se anexan en formato digital.

3.3.4.4. Procesado y cálculo

Después de haber realizado el vuelo fotogramétrico y conociendo las coordenadas de los puntos de apoyo, se procesa las imágenes en el software Pix4dmapper v4.4.12. hasta tener el MDS, del MDS se calcula el volumen en Autodesk Civil 3D.

3.3.5. Procesamiento de datos y cálculo de volumen

Primeramente, se procesó los datos obtenidos en el levantamiento topográfico con Estación Total (puntos con coordenadas x, y, z), son modelados en Autodesk Civil 3D v.2019 hasta obtener el volumen de los acopios de agregados.

Luego, los datos obtenidos en el levantamiento topográfico con Drone (Imágenes) son procesadas en Pix4dmapper v4.4.12 hasta obtener un modelo digital de superficie o MDS, este modelo se exporta a Autodesk Civil 3D, donde se calculó el volumen de los agregados.

3.3.5.1. Cálculo de volúmenes con datos obtenidos de la Estación Total

A partir de los datos obtenidos en el levantamiento topográfico con la Estación Total (puntos con coordenadas x, y, z), se calcula los volúmenes de los acopios como se indica a continuación.

- De la estación total descargamos los datos en un USB y la copiamos en el ordenador, esta información son los puntos medidos de la superficie de los acopios de agregados.
- Se inicia un nuevo dibujo en Autodesk Civil 3D 2019, se configura las unidades en metros, la zona de trabajo en UTM WGS84 y zona18S.

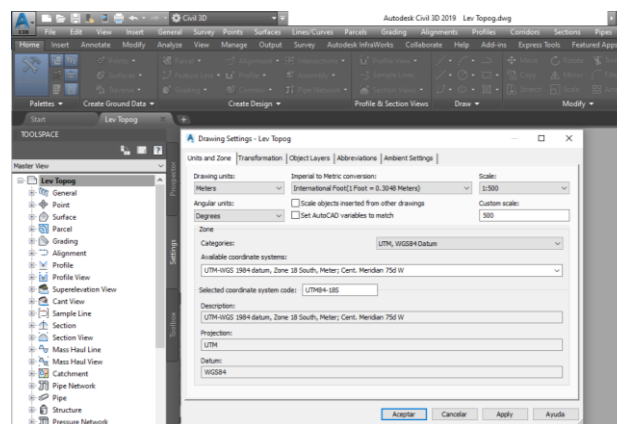


Figura 75. Configuración de dibujo

Fuente: Elaboración Propia

- Se importa los puntos descargados de la estación total.

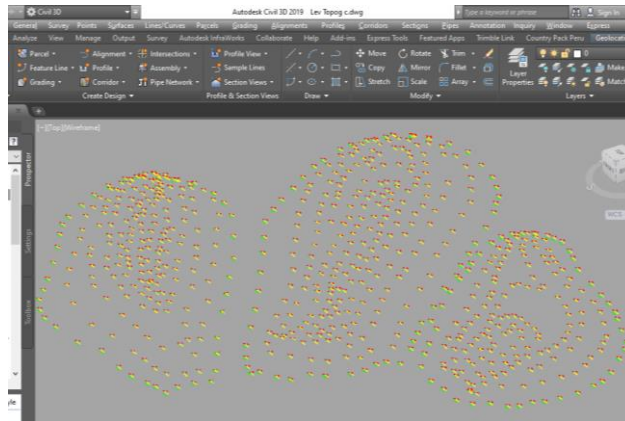


Figura 76. Importación de puntos

Fuente: Elaboración Propia

- Luego de importar los puntos se crea superficies de los acopios y superficies base para el cálculo de volúmenes.

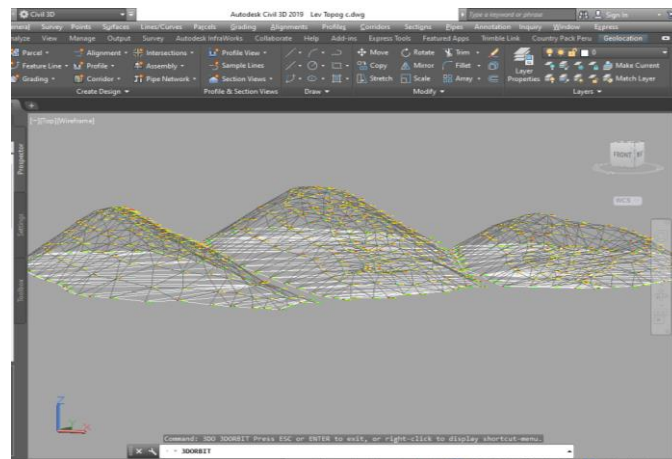


Figura 77. Creación de superficies

Fuente: Elaboración Propia

- Se calcula los volúmenes con la herramienta “Volumes Dashboard” mediante la comparación de superficies, en este caso las superficies comparadas son la superficie del acopio y su superficie base.

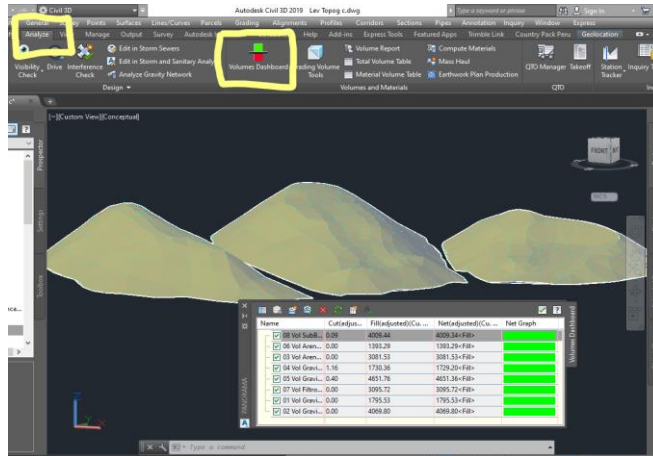


Figura 78. Cálculo de volúmenes

Fuente: Elaboración Propia

Luego de haber procesado los levantamientos topográficos realizados con estación total en los acopios del km 24+300 y km 25+950 se obtuvo el siguiente cuadro de volúmenes:

Tabla 9. Volúmenes resultados de Lev. Topográfico con estación total		
Id	Descripción	Volumen (m3)
01	Vol. Gravilla 3/8	1795.53
02	Vol. Gravilla 3/4	4069.80
03	Vol. Arena asf	3081.53
04	Vol. Gravilla 3/8	1750.97
05	Vol. Gravilla 3/4	4651.36
06	Vol. Arena asf	1393.29
07	Vol. Filtro 3/4	3095.72
08	Vol. SubBase	4009.34

Fuente: Elaboración Propia

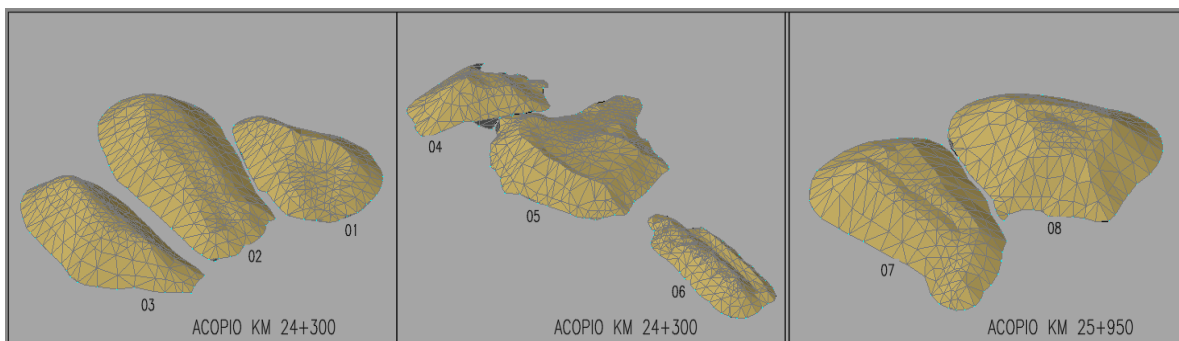


Figura 79. Vista de los acopios en Autodesk Civil 3D

Fuente: Elaboración Propia

3.3.5.2. Cálculo de volúmenes con datos obtenidos del Drone

A partir de los datos obtenidos en el levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro (imágenes), se calculó los volúmenes de los acopios como se indica a continuación.

- El dron almacena en un USB las fotografías de los acopios tomadas durante el vuelo, estas imágenes las copiamos en el ordenador.
- Se inicia un proyecto nuevo en pix4Dmapper, se importan las imágenes y el software detecta por defecto la localización del área de vuelo (para este estudio UTM wgs84-18s) que debemos revisar si es correcta.

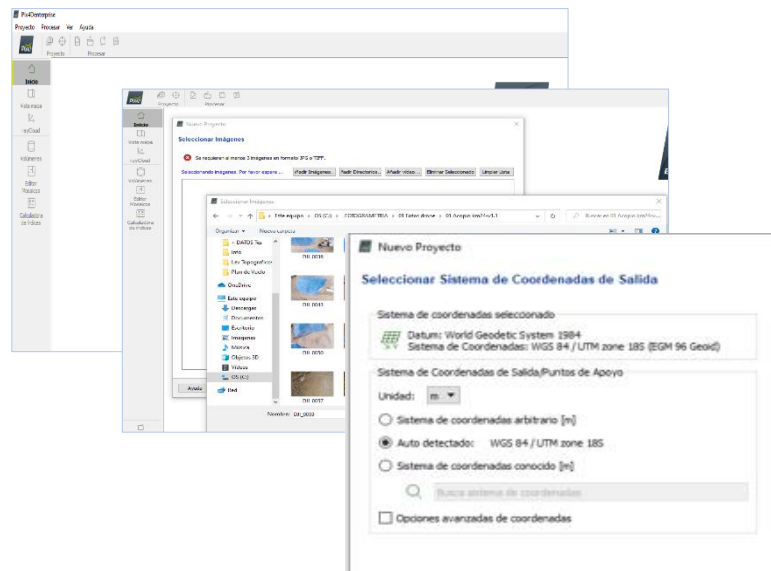


Figura 80. Proyecto nuevo y Selección de imágenes

Fuente: Elaboración Propia

- **Procesamiento Inicial**, en esta fase el software encontrara puntos característicos en las fotografías, para disminuir el tiempo de procesamiento tomamos la opción **Rápida** luego de damos iniciar el proceso.

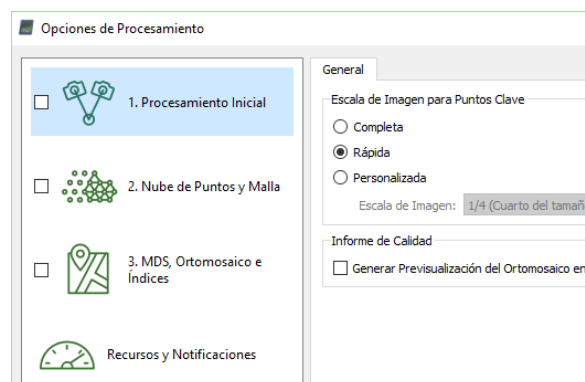


Figura 81. Configuración para procesamiento inicial

Fuente: Elaboración Propia

- Luego de procesamiento inicial se ingresan los puntos GCP, para georreferenciar la imagen, se crea puntos de paso con los puntos de apoyo marcados con dianas y yeso, antes de continuar con el paso siguiente se reoptimiza el proceso.

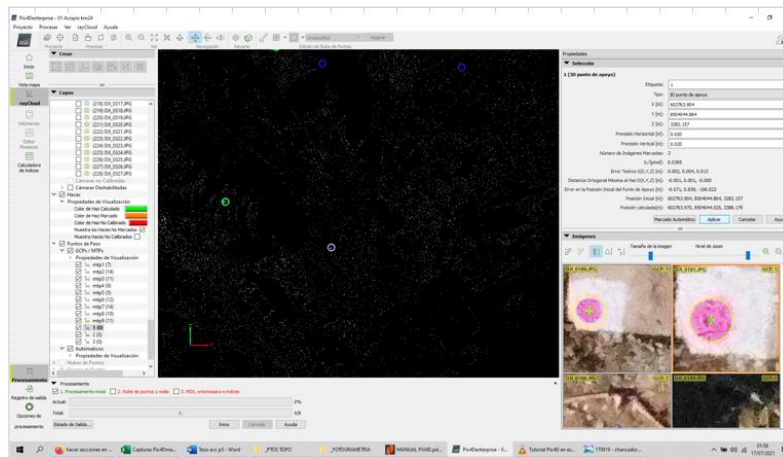


Figura 82. Georreferenciación de imágenes con los GCP

Fuente: Elaboración Propia

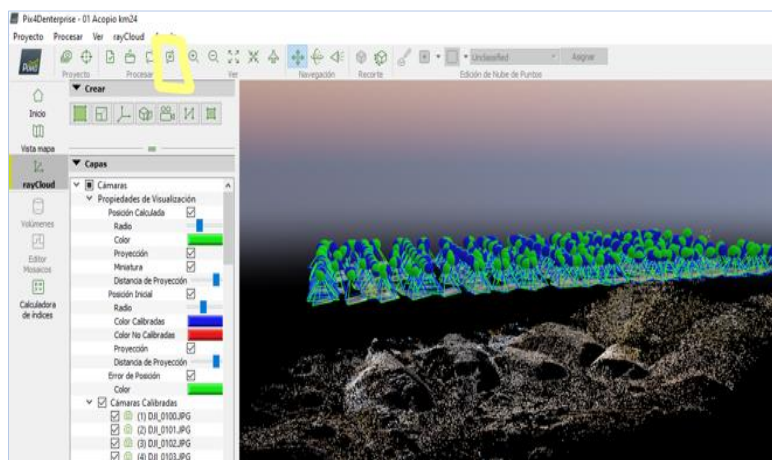


Figura 83. Reoptimización del proceso

Fuente: Elaboración Propia

- **Nube de puntos y malla**, en esta fase el software genera la nube de puntos, es la base del modelamiento de la superficie y luego poder realizar las mediciones de interés, en nuestro caso el cálculo de volúmenes, para el estudio se configuro tal como se muestra en la imagen siguiente.

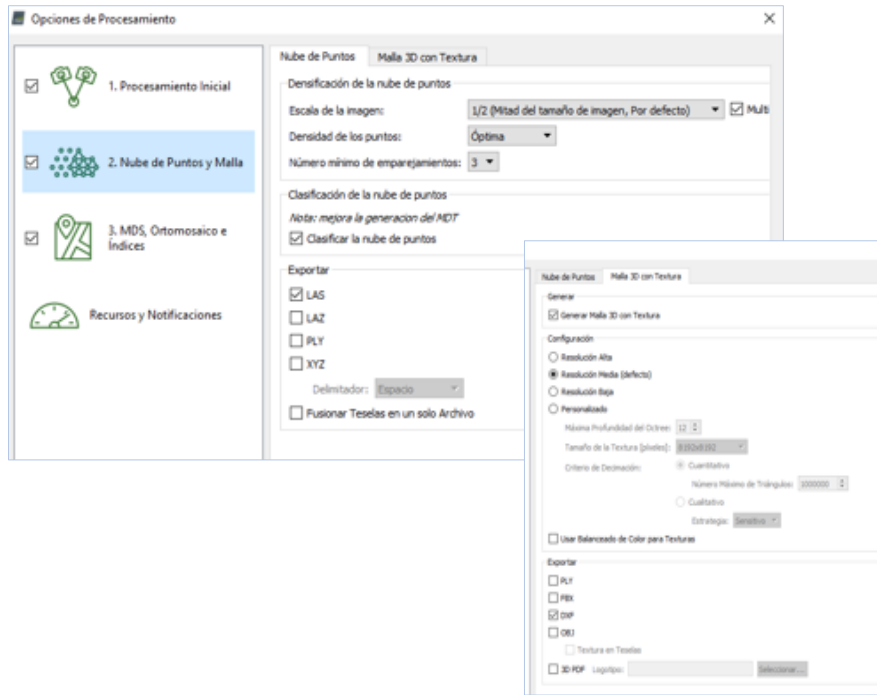


Figura 84. Configuración para Nube de puntos y malla

Fuente: Elaboración Propia

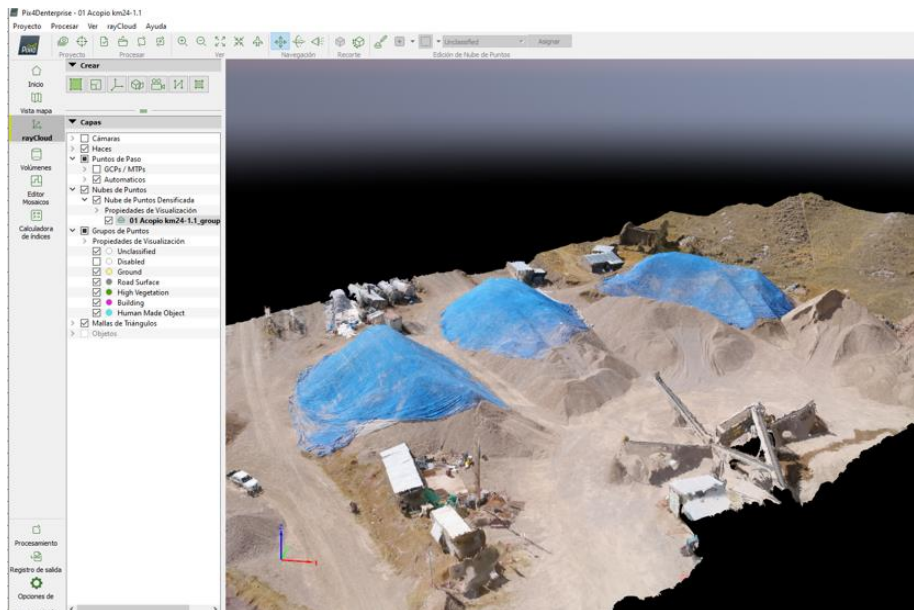


Figura 85. Nube de puntos generado del vuelo 01 (km 24+300)

Fuente: Elaboración Propia

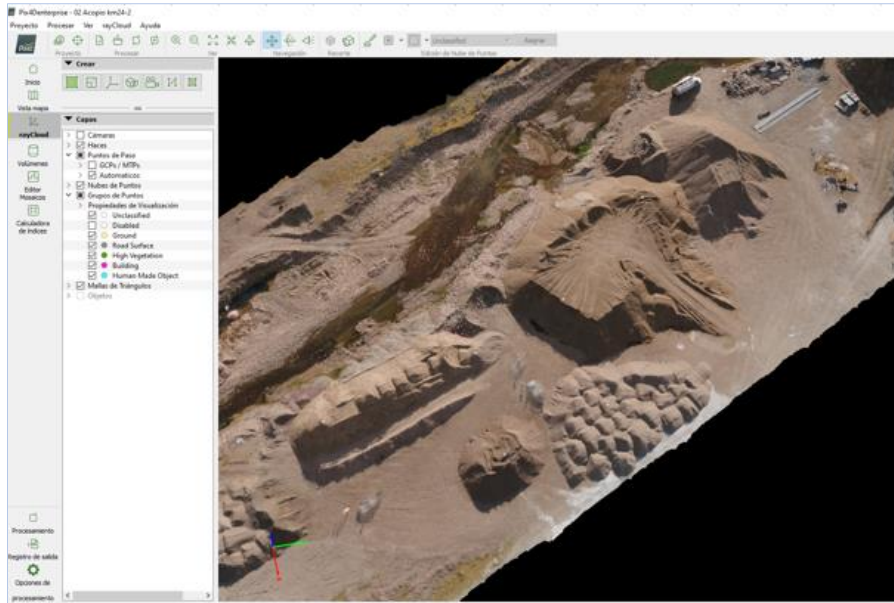


Figura 86. Nube de puntos generado del vuelo 02 (km 24+300)

Fuente: Elaboración Propia

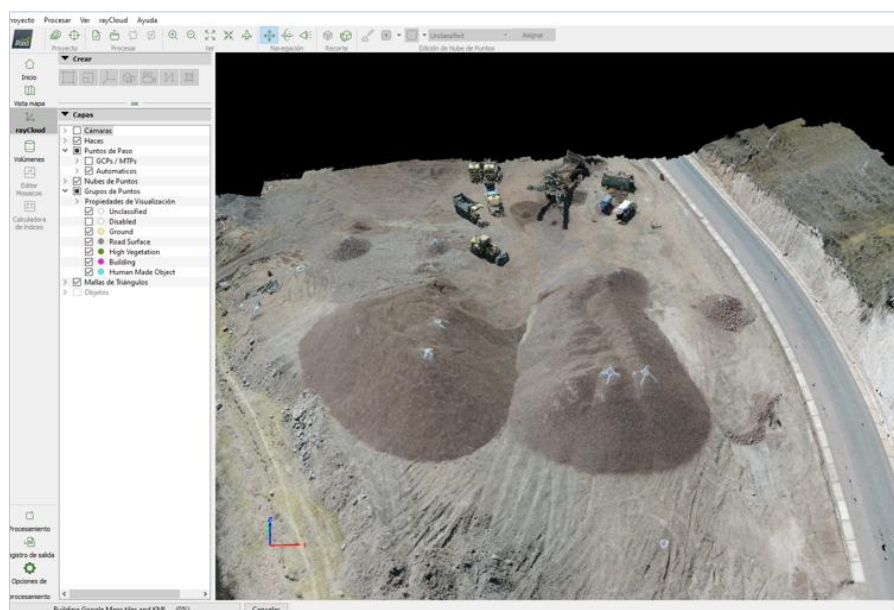


Figura 87. Nube de puntos generado del vuelo 03 (km 25+950)

Fuente: Elaboración Propia

- **MDS, Ortomosaico e Índices**, en esta fase el software crea el modelo digital de superficie y la ortofoto, también se genera el reporte de calidad, en donde presenta los resultados de cada proceso, **además los tiempos que le tomo en cada uno de ellos.**

Una vez terminado este proceso se exporta las curvas de nivel del MDS y con ayuda de Autodesk Civil 3D se modelará una superficie para el cálculo de volúmenes.

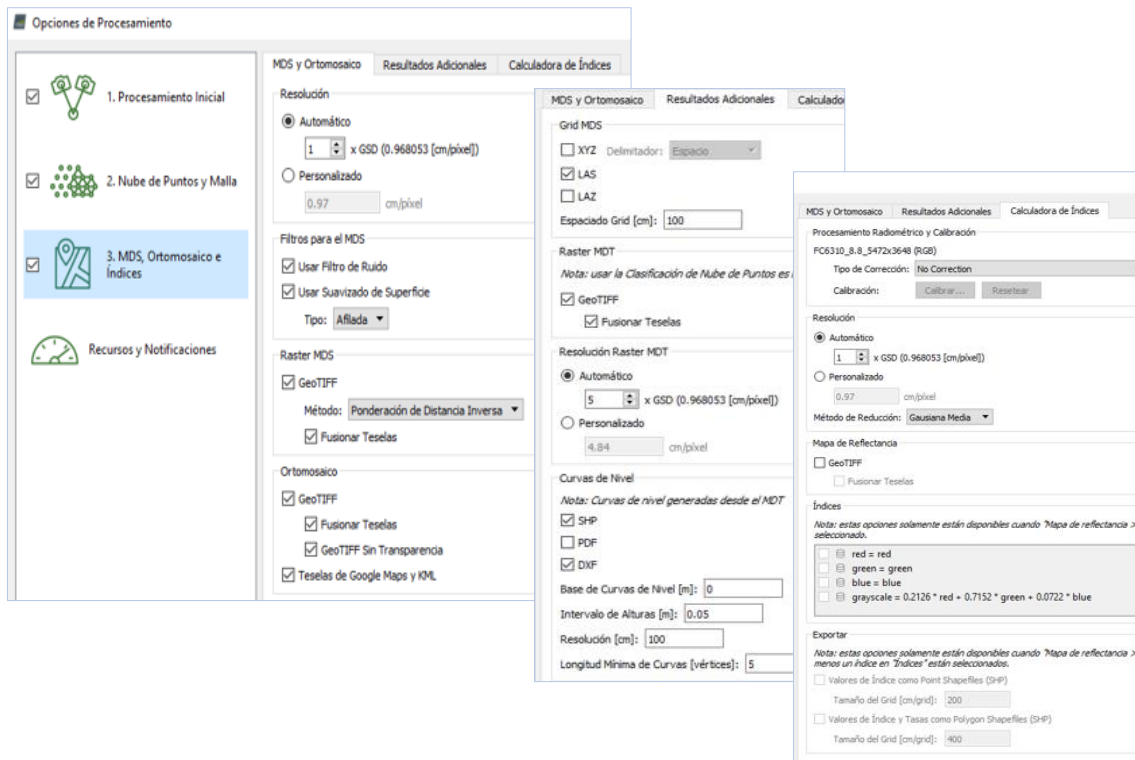


Figura 88. Configuración para MDS, Ortomosaico e Índices

Fuente: Elaboración Propia



Figura 89. Reporte de calidad del vuelo 01

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ Los reportes de calidad serán presentados en su totalidad en el apartado de anexos y también se adjuntan en formato digital.
- Luego delimitamos los acopios en la vista 3D, se traza una polilínea en la base de cada uno de los acopios, estas polilíneas servirán para generar la superficie base de los acopios en Autodesk civil 3D, las polilíneas al ser exportadas están en formato shx y con ayuda del ArcGIS se transforman en formato dwg.

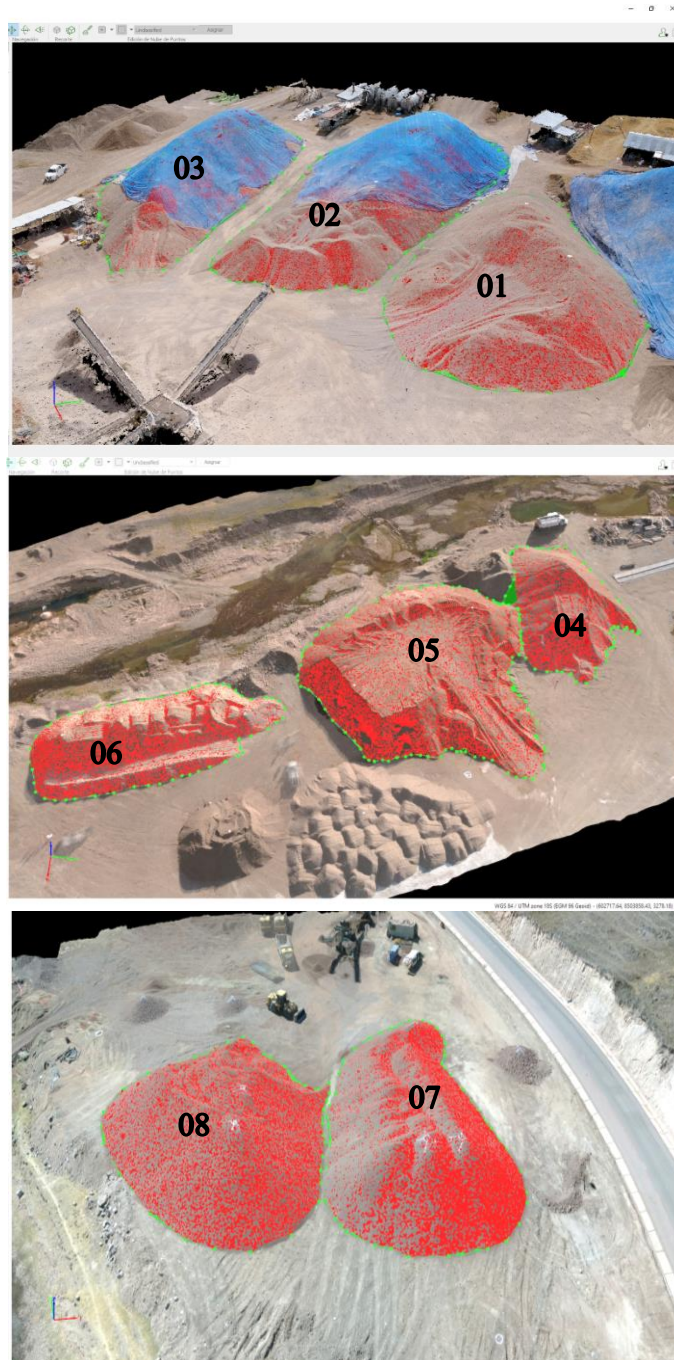


Figura 90. Delimitación de acopios

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo de volumen**, una vez terminado el proceso anterior abrimos Autodesk Civil 3D y creamos un dibujo nuevo, configurado las unidades y la zona (el presente estudio está en UTM wgs84-18S). Luego con las curvas de nivel del MDS creamos la superficie de cada uno de los acopios y procedemos al cálculo de volúmenes.

Tabla 10. Volúmenes Lev. Topográfico con Drone		
Id	Descripción	Volumen (m3)
01	Vol. Gravilla 3/8	1811.47
02	Vol. Gravilla 3/4	4114.35
03	Vol. Arena asf	3111.18
04	Vol. Gravilla 3/8	1773.77
05	Vol. Gravilla 3/4	4690.34
06	Vol. Arena asf	1418.07
07	Vol. Filtro 3/4	3124.92
08	Vol. SubBase	4025.32

Fuente: Elaboración propia.

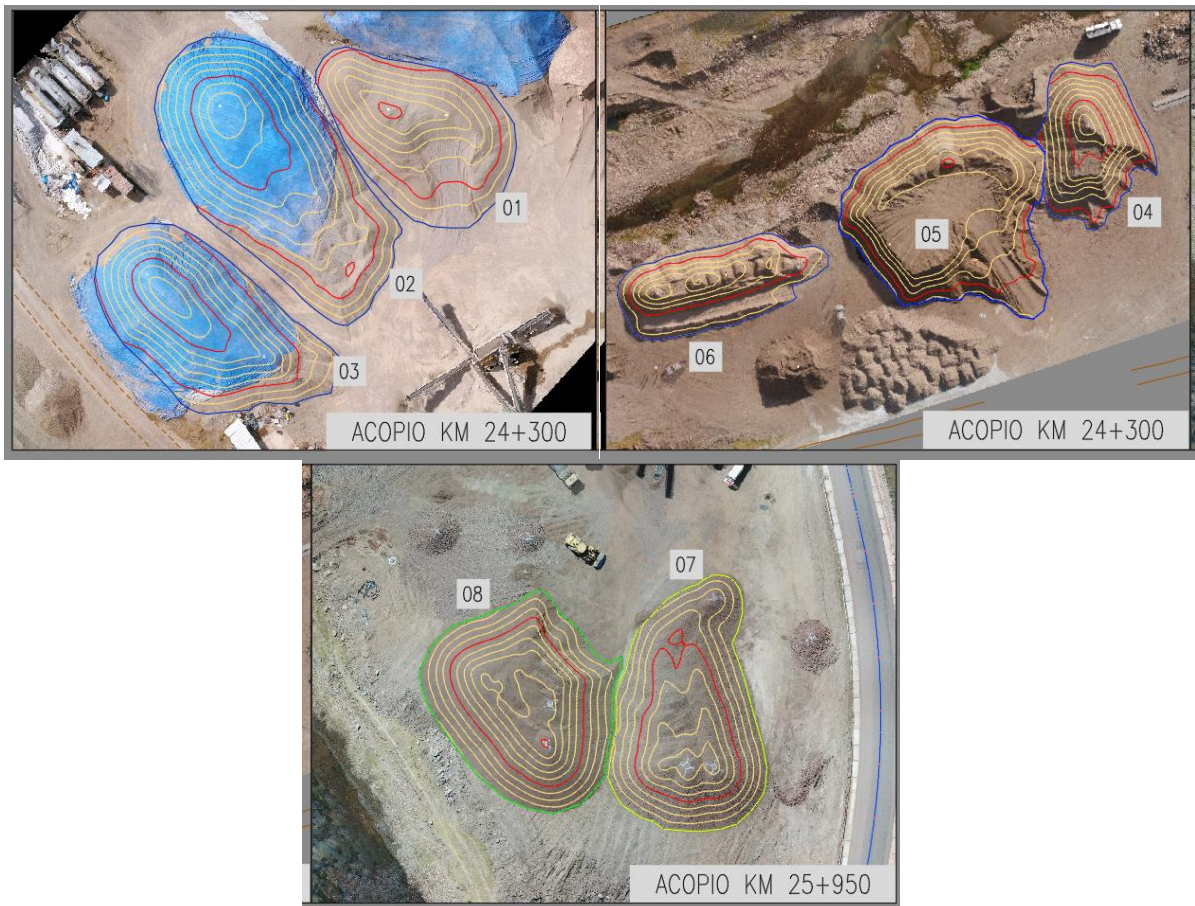


Figura 91. Acopios de agregados, procesados con Pix4Dmapper y Autodesk Civil 3D

Fuente: Elaboración propia.

3.3.6. Cálculo de Tiempos y Costos

Culminado el cálculo de volúmenes, se calcula los tiempos y costos que tomaron los diferentes procesos.

- **Cuadro de tiempos.**

A continuación, se presenta cuadro de tiempos que tomo para el cálculo de volúmenes con la estación total 5603-DR200+ y con Drone Phantom 4Pro, tomando en cuenta el tiempo requerido para los trabajos en campo y gabinete, además de los reportes de calidad para los vuelos fotogramétricos.

Tabla 11. Tiempos Proceso con Estación Total			
Id	Descripción	Tiempo h:mim:seg	Tiempo T1 h
01	Campo (Lev. Topográfico)	22:00:00	22.00
	Lev. Topográfico 1 (km 24+300)	8:00:00	
	Lev. Topográfico 2 (km 24+300)	8:00:00	
	Lev. Topográfico 3 (km 25+950)	6:00:00	
02	Gabinete (Procesamiento de datos)	6:00:00	6.00
	Lev. Topográfico 1,2 y 3 (Autodesk Civil 3D)	06:00:00	
T1: TIEMPO TOTAL (h)			28.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Tiempos Proceso con Drone			
Id	Descripción	Tiempo h:mim:seg	Tiempo T2 h
01	Campo (Lev. Topográfico)	6:00:00	6.00
	Vuelo 1 (km 24+300)	2:00:00	
	Vuelo 2 (km 24+300)	2:00:00	
	Vuelo 3 (km 25+950)	2:00:00	
02	Gabinete (Procesamiento de datos)	10:33:41	10.56
	Vuelos 1 (Pix4Dmapper)	01:57:06	
	Vuelos 2 (Pix4Dmapper)	02:37:47	
	Vuelos 3 (Pix4Dmapper)	02:28:48	
	Vuelos 1,2 y 3 (Autodesk Civil 3D)	3:30:00	
T2: TIEMPO TOTAL (h)			16.56

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo de costos.**

Los costos han sido cuantificados tomando como unidad el día de trabajo, considerando jornadas de 8 horas, y en función a los cuadros de tiempos.

Tabla 13. Costos: Proceso con Estación Total						
Id	Descripción	Unidad	Precio S/.	Cantidad recursos	Cantidad días	Costo parcial S/.
01	Levantamiento topográfico					
	Topógrafo	día	166.67	1.00	3.00	500.00
	Auxiliares de topografía	día	66.67	4.00	3.00	800.00
02	Proceso en gabinete					
	Proyectista civil (Tesista)	día	233.33	1.00	1.00	233.33
03	Equipos					
	Estación Total Trimble 5603 DR200 (con 4 prismas jalones y prismas)	día	120.00	1.00	3.00	360.00
	Camioneta	día	250.00	1.00	3.00	750.00
C1: COSTO TOTAL (S/.)						2643.33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Costos: Proceso con Drone						
Id	Descripción	Unidad	Precio S/.	Cantidad recursos	Cantidad días	Costo parcial S/.
01	Levantamiento topográfico					
	Piloto de Drone	día	166.67	1.00	1.00	166.67
	Auxiliares de topografía	día	66.67	1.00	1.00	66.67
02	Proceso en gabinete					
	Proyectista civil (Tesista)	día	233.33	1.00	2.00	466.67
03	Equipos					
	Drone DJI Phantom 4Pro	día	100.00	1.00	1.00	100.00
	Camioneta	día	250.00	1.00	1.00	250.00
C2: COSTO TOTAL (S/.)						1050.00

Fuente: Elaboración propia.

3.4. TRATAMIENTO ESTADISTICO, ANALISIS DE DATOS Y PRESENTACION DE RESULTADOS

Luego de haber calculado las variables volumen, tiempo y costo, tanto para el Proceso realizado con Estación Total (muestra A), como para el Proceso realizado con Drone (Muestra B), realizamos el contraste de resultados mediante el análisis estadístico descriptivo e inferencial, con un error permisible o nivel de confianza de para el estudio de 5%.

El tratamiento estadístico descriptivo será cualitativo de forma porcentual y el tratamiento estadístico inferencial será cuantitativo mediante la **Prueba “t” Student**, aplicada a muestras independientes, propuesta por William Sealy Gosset en 1908, prueba recomendable para la comparación de dos muestras pequeñas que detallamos a continuación.

Prueba “t” Student

Planteamiento de hipótesis:

Hipotesis Nula (H_0), $H_0: u_1 = u_2 \rightarrow$ No existe diferencia entre las muestras.

Hipotesis Alternativa (H_1), $H_1: u_1 \neq u_2 \rightarrow$ Existe diferencia entre las muestras.

Formulas:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}} \quad y \quad S_c^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

t: Estadístico calculado

\bar{x}_1, \bar{x}_2 : medias muestrales

s_c^2 : Varianza común.

Que sigue una distribución “t” con g. lib.= $n_1 + n_2 - 2$, grados de libertad

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si $t > t$ crítico, $t_c = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) (n_1 + n_2 - 2)$

Nivel de confianza o significancia $\alpha = 0.05$ o (5%)



3.4.1. Análisis de la variable Volumen

- Análisis estadístico con Prueba “t” Student

A: LEV. CON ESTACION TOTAL			
B: LEV. CON DRONE			
Id	Descripción	Volumen (m3) A	Volumen (m3) B
01	Vol. Gravilla 3/8	1795.53	1811.47
02	Vol. Gravilla 3/4	4069.80	4114.35
03	Vol. Arena asf	3081.53	3111.18
04	Vol. Gravilla 3/8	1750.97	1773.77
05	Vol. Gravilla 3/4	4651.36	4690.34
06	Vol. Arena asf	1393.29	1418.07
07	Vol. Filtro 3/4	3095.72	3124.92
08	Vol. SubBase	4009.34	4025.32
	promedio (X)	2980.94	3008.68
	n1	8	
	n2		8
	Variancia S	1499353.43	1513773.72

$$H_0: u_1 = u_2$$

$$H_1: u_1 \neq u_2$$

$$s_c^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$s_c^2 = 1506563.576$$

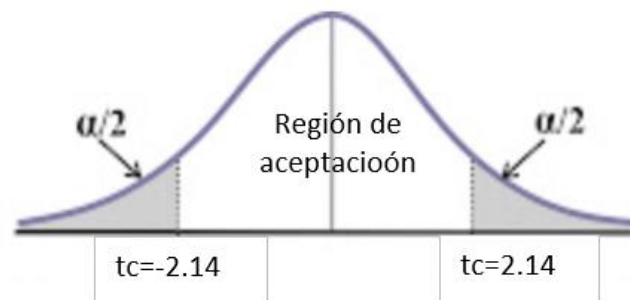
$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_c^2}{n_1} + \frac{s_c^2}{n_2}}}$$

$$t = -0.0451923$$

$$g.lib = n_1 + n_2 - 2$$

$$g.lib = 14$$

$$\alpha = 0.05$$



$$t_c = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)(n_1 + n_2 - 2)$$

$$tc = 2.1447867$$

$$p\text{-valor} = 0.9645923$$

- ❖ Se concluye que las muestras son similares, cumplen la hipótesis nula $H_0: u_1 = u_2$, donde $t = -0.0451923$ y se encuentra dentro de la región de aceptación.

- A continuación, se presenta el análisis cualitativo en el siguiente cuadro.

DIFERENCIA DE VOL.= A (LEV. ESTACION TOTAL) - B (LEV. DRONE)					
Id	Descripción	Volumen (m3) A	Volumen (m3) B	Diferencia V (m3) D = A - B	% D respecto a A = (D/A)100
01	Vol. Gravilla 3/8	1795.53	1811.47	-15.94	-0.89%
02	Vol. Gravilla 3/4	4069.80	4114.35	-44.55	-1.09%
03	Vol. Arena asf	3081.53	3111.18	-29.65	-0.96%
04	Vol. Gravilla 3/8	1750.97	1773.77	-22.80	-1.30%
05	Vol. Gravilla 3/4	4651.36	4690.34	-38.98	-0.84%
06	Vol. Arena asf	1393.29	1418.07	-24.78	-1.78%
07	Vol. Filtro 3/4	3095.72	3124.92	-29.20	-0.94%
08	Vol. SubBase	4009.34	4025.32	-15.98	-0.40%

- ❖ Se aprecia que los resultados de ambos procedimientos son similares, las variaciones del procedimiento con Drone (muestra B) respecto al procedimiento con Estación Total (muestra A) son mínimos, y van del 0.40% al 1.30%

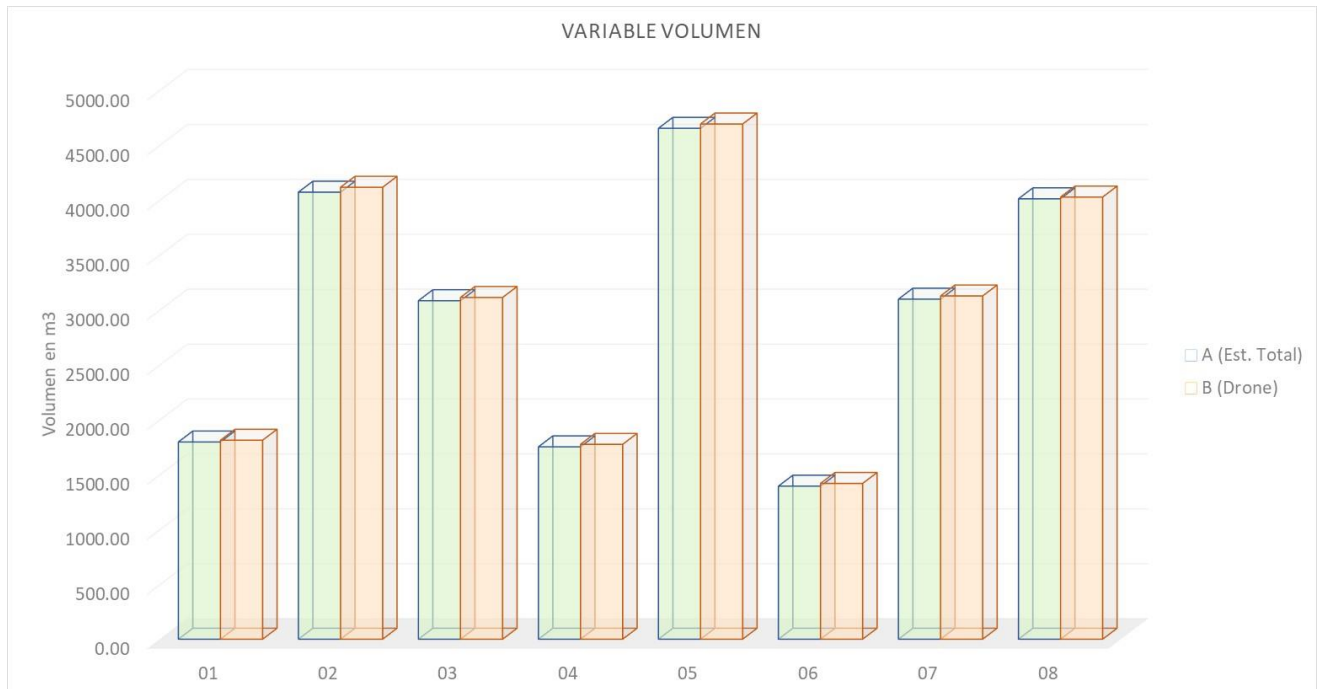


Figura 92. Volúmenes de los procesos A (V. Estación Total) y B (V. Drones)

Figura 93. Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Análisis de la variable Tiempo

Para el Tiempo realizamos un análisis estadístico descriptivo cualitativo, debido a las notables diferencias entre las muestras, tal como presenta a continuación.

De las muestras (Tablas 11 y 12):

A: TIEMPOS PROCESO CON ESTACION TOTAL			
Id	Descripción	Tiempo h:min:seg	Tiempo T1 h
01	Campo (Lev. Topográfico)	22:00:00	22.00
	Lev. Topográfico 1 (km 24+300)	8:00:00	
	Lev. Topográfico 2 (km 24+300)	8:00:00	
	Lev. Topográfico 3 (km 25+950)	6:00:00	
02	Gabinete (Procesamiento de datos)	6:00:00	6.00
	Lev. Topográfico 1,2 y 3 (Autodesk Civil 3D)	06:00:00	
A: TIEMPO TOTAL (h)			28.00

B: TIEMPOS PROCESO CON DRONE			
Id	Descripción	Tiempo h:min:seg	Tiempo T2 h
01	Campo (Lev. Topográfico)	6:00:00	6.00
	Vuelo 1 (km 24+300)	2:00:00	
	Vuelo 2 (km 24+300)	2:00:00	
	Vuelo 3 (km 25+950)	2:00:00	
02	Gabinete (Procesamiento de datos)	10:33:41	10.56
	Vuelos 1 (Pix4Dmapper)	01:57:06	
	Vuelos 2 (Pix4Dmapper)	02:37:47	
	Vuelos 3 (Pix4Dmapper)	02:28:48	
	Vuelos 1,2 y 3 (Autodesk Civil 3D)	3:30:00	
B: TIEMPO TOTAL (h)			16.56

Se tiene,

DIFERENCIA DE TIEMPOS: A (T ESTACION TOTAL) - B (T. DRONE)			
Id	Descripción	Dif. Tiempo (h) Dt=A-B	% Dt respecto de A = (D/A)100
01	Diferencia de tiempos totales (h)	11.44	40.85%

- ❖ Se observa que los tiempos de ambos procedimientos son diferentes, donde el tiempo que toma el proceso con Drone (muestra B) es 40.85% menor al tiempo que requiere el proceso con Estación Total (muestra A).

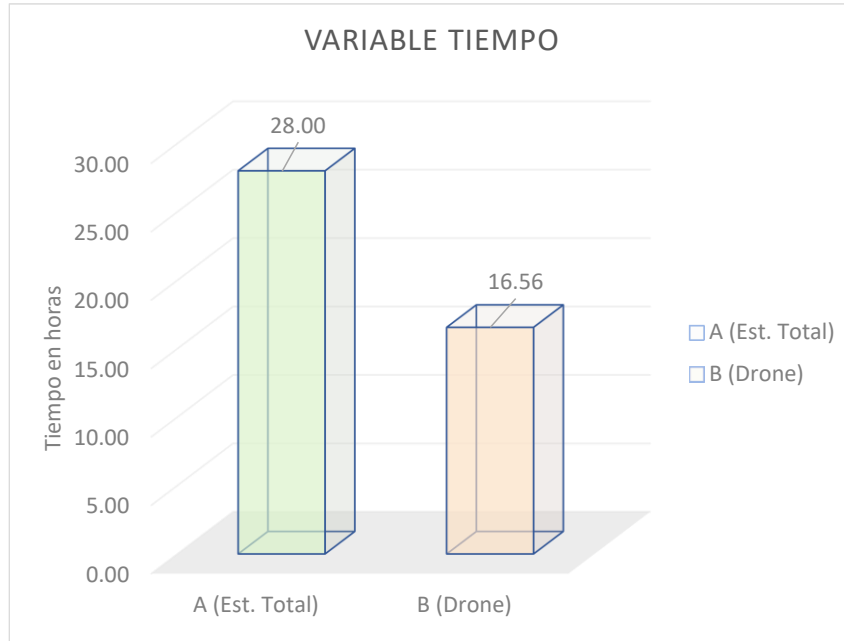


Figura 94. Tiempos de procesos muestra A y B.

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Análisis de la variable el Costo

Para la variable Costo realizamos un análisis estadístico descriptivo cualitativo, debido a las notables diferencias entre las muestras, tal como presenta a continuación.

De las muestras (Tablas 13 y 14):

A: COSTOS PROCESO CON ESTACION TOTAL						
Id	Descripción	Unidad	Precio S/.	Cantidad recursos	Cantidad días	Costo parcial S/.
01	Levantamiento topográfico					
	Topógrafo	día	166.67	1.00	3.00	500.00
	Auxiliares de topografía	día	66.67	4.00	3.00	800.00
02	Proceso en gabinete					
	Proyectista civil (Tesisista)	día	233.33	1.00	1.00	233.33
03	Equipos					
	Estación Total Trimble 5603 DR200 (con 4 prismas jalones y prismas)	día	120.00	1.00	3.00	360.00
	Camioneta	día	250.00	1.00	3.00	750.00
A: COSTO TOTAL (S/.)						2643.33

B: COSTOS PROCESO CON DRONE						
Id	Descripción	Unidad	Precio S/.	Cantidad recursos	Cantidad días	Costo parcial S/.
01	Levantamiento topográfico					
	Piloto de Drone	día	166.67	1.00	1.00	166.67
	Auxiliares de topografía	día	66.67	1.00	1.00	66.67
02	Proceso en gabinete					
	Proyectista civil (Tesista)	día	233.33	1.00	2.00	466.67
03	Equipos					
	Drone DJI Phantom 4Pro	día	100.00	1.00	1.00	100.00
	Camioneta	día	250.00	1.00	1.00	250.00
B: COSTO TOTAL (S/.)						1050.00

Se tiene,

DIFERENCIA DE COSTOS: A (C. ESTACION TOTAL) – B (C. DRONE)			
Id	Descripción	Dif. Costo (S/.) Dc= A-B	% Dc respecto de A = (D/A)100
01	Diferencia de Costos	1593.33	60.28%

- ❖ Los costos de ambos procedimientos son diferentes, siendo el costo del proceso con Drone (muestra B) un 60.28% menor que el proceso con Estación Total (muestra A).

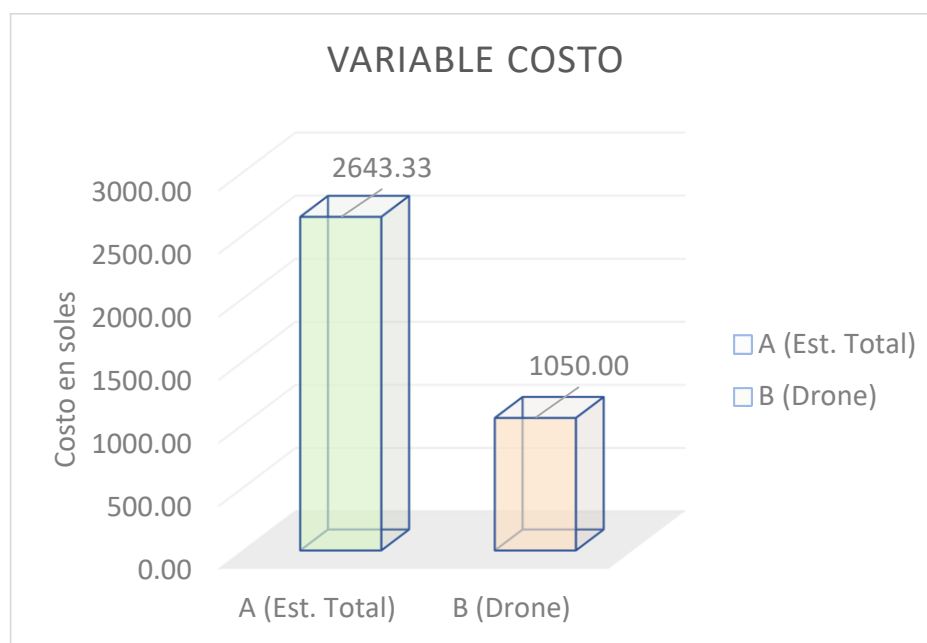


Figura 95. Costos de procesos muestra A y B.

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se hará la comparación e interpretación de resultados obtenidos del cálculo de volumen, tiempo y costos al realizar el levantamiento topográfico con Drone y el levantamiento topográfico con Estación Total.

Los resultados del levantamiento topográfico realizado con un Drone serán contrastados respecto a los resultados del levantamiento topográfico realizado con Estación Total, puesto que los levantamientos topográficos tradicionalmente o en su mayoría se realizan con equipos de estación total.

4.1. PARA LA VARIABLE VOLUMEN

Se analizó la precisión de los volúmenes obtenidos en el levantamiento topográfico con dron respecta a los obtenidos con estación total.

Para la variable volumen se agruparon las muestras como,

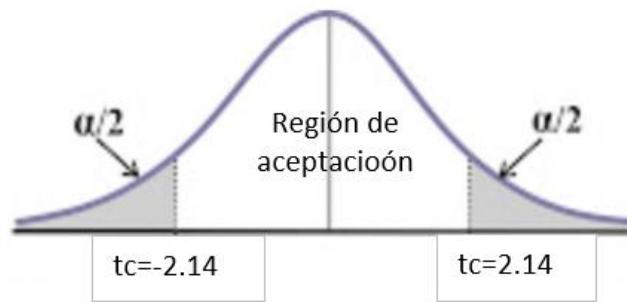
A: Volumen obtenido del proceso con estación total

B: Volumen obtenido del proceso con dron.

Es así que luego de haber realizado Prueba “t” Student se obtuvieron los siguientes resultados:

	<i>Volumen (m3)</i> <i>A</i>	<i>Volumen (m3)</i> <i>B</i>
Media	2980.94	3008.68
Varianza	1499353.43	1513773.72
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	1506563.576	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-0.045192299	
P(T<=t) una cola	0.482296162	
Valor crítico de t (una cola)	1.761310136	
P(T<=t) dos colas	0.964592323	
Valor crítico de t (dos colas)	2.144786688	

De donde el estadístico con “t” = -0.04519 se encuentra dentro del rango de aceptación.



- El resultado de la Prueba “t” Student, cumplen la hipótesis nula $H_0: u_1 = u_2$, que indica que no hay variación significativa en los volúmenes muestreados y los considera que son iguales o similares.
 - Además, los volúmenes del levantamiento topográfico con dron e eran mayores a los obtenidos en el levantamiento topográfico con estación total, en pequeños porcentajes que van del 0.40% al 1.30%.
- ❖ Entonces con el análisis realizado, se puede decir que el volumen obtenido de un levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro es tan preciso como el volumen obtenido de un levantamiento topográfico con estación total Trimble 5603-DR200+.

4.2. PARA LA VARIABLE TIEMPO

Se analizó el tiempo que toma calcular los volúmenes obtenidos de un levantamiento topográfico con dron e respecto a los obtenidos de un levantamiento topográfico con estación total.

La variable tiempo agrupa el tiempo requerido para los trabajos de campo y gabinete.

En la variable tiempo se agruparon las muestras como,

A: Tiempo obtenido del proceso con estación total

B: Tiempo obtenido del proceso con dron e.

De los cálculos realizados se obtuvo que:

- El tiempo requerido para A (T. Estación Total) fue de 28.00 horas.
- El tiempo requerido para B (T. Drone) fue de 16.56 horas.

Procediendo a calcular su diferencia como se indica en el siguiente cuadro.

DIFERENCIA DE TIEMPOS: A (T ESTACION TOTAL) - B (T. DRONE)			
Id	Descripción	Dif. Tiempo (h) Dt=A-B	% Dt respecto de A = (D/A)100
01	Diferencia de tiempos totales (h)	11.44	40.85%

- Se obtiene, que el tiempo requerido para B (T. Drone) es menor que el tiempo requerido para A (T. con Estación Total) en 11.44 horas.
- El tiempo requerido para B (T. Drone) es 48.85% menos que el tiempo requerido para A (T. con Estación Total)
- ❖ Entonces con el análisis realizado, se puede decir que el tiempo para calcular el volumen obtenido de un levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro es mucho menor que el tiempo cuando se realiza un levantamiento topográfico con estación total Trimble 5603-DR200+.

4.3. PARA LA VARIABLE COSTO

Se analizó el costo requerido para calcular los volúmenes obtenidos de un levantamiento topográfico con drone respecto a los obtenidos de un levantamiento topográfico con estación total.

La variable costo agrupa los principales recursos como el personal y equipos requeridos para los trabajos de campo y gabinete.

En la variable costo se agruparon las muestras como,

A: Costo requerido para el proceso con estación total

B: Costo requerido para el proceso con drone.

De los cálculos realizados se obtuvo que:

- El Costo requerido para A (C. Estación Total) fue de 2,643.33 soles.
- El Costo requerido para B (T. Drone) fue de 1,050.00 soles.

Procediendo a calcular su diferencia como se indica en el siguiente cuadro.

DIFERENCIA DE COSTOS: A (C. ESTACION TOTAL) – B (C. DRONE)			
Id	Descripción	Dif. Costo (S/.) Dc= A-B	% Dc respecto de A = (D/A)100
01	Diferencia de Costos	1593.33	60.28%

- Se obtiene, que el costo requerido para B (C. Drone) es menor que el costo requerido para A (C. con Estación Total) en 1,593.33 soles.
- El costo requerido para B (C. Drone) es 60.28% menos que el costo requerido para A (C. con Estación Total).
- ❖ Del análisis realizado, se puede decir que el Costo para calcular el volumen obtenido de un levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro es mucho menor que el Costo cuando se realiza un levantamiento topográfico con estación total Trimble 5603-DR200+.

4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Según los resultados obtenidos se demuestra la hipótesis general:

El volumen de material apilado obtenido de un levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro tiene una variación menor al 5% respecto al volumen obtenido de un levantamiento topográfico con Estación Total Trimble 5603-DR200, siendo los volúmenes de ambos procedimientos estadísticamente similares.

y las hipótesis específicas:

- El cálculo de volumen de material apilado con un levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro, requiere menor tiempo que realizarlo con una Estación Total Trimble 5603 DR200+.
- El cálculo de volumen de material apilado con un levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro, resulta más económico que realizarlo con una Estación Total Trimble 5603 DR200+.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los levantamientos topográficos realizados con Drone DJI Phantom 4 Pro para el cálculo de volúmenes de agregados son estadísticamente iguales o similares a los volúmenes obtenidos de un levantamiento topográfico con Estación Total Trimble 5603-DR200+. El estadístico $t = -0.04519$ de la prueba “t” Student está dentro de la región de aceptación para un error permisible de 5%, cumpliendo la hipótesis nula $H_0: u_1 = u_2$, indicando que ambos volúmenes son iguales o similares, además las variaciones de los volúmenes obtenidos con Drone tienen mínima variación porcentual respecto a los volúmenes obtenidos con Estación Total, variaciones que van del 0.40% al 1.30%.

DIFERENCIA DE VOL.= A (LEV. ESTACION TOTAL) - B (LEV. DRONE)					
Id	Descripción	Volumen (m3) A	Volumen (m3) B	Diferencia Vol. (m3) D = A - B	% D respecto a A = (D/A)100
01	Vol. Gravilla 3/8	1795.53	1811.47	-15.94	-0.89%
02	Vol. Gravilla 3/4	4069.80	4114.35	-44.55	-1.09%
03	Vol. Arena asf	3081.53	3111.18	-29.65	-0.96%
04	Vol. Gravilla 3/8	1750.97	1773.77	-22.80	-1.30%
05	Vol. Gravilla 3/4	4651.36	4690.34	-38.98	-0.84%
06	Vol. Arena asf	1393.29	1418.07	-24.78	-1.78%
07	Vol. Filtro 3/4	3095.72	3124.92	-29.20	-0.94%
08	Vol. SubBase	4009.34	4025.32	-15.98	-0.40%

- El tiempo para calcular volúmenes de agregados con datos obtenidos de un levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro es mucho menor que el tiempo empleado con datos de un levantamiento topográfico con Estación Total Trimble 5603-DR200+. El proceso con Dron tomo 16.56 horas y con Estación Total tomo 28.00 horas, tomando el proceso con Dron 11.44 horas (48.85%) menos que el proceso con Estación Total.
- El costo para calcular volúmenes de agregados de un levantamiento topográfico con Drone DJI Phantom 4 Pro es mucho menor que cuando se realiza con una estación total

Trimble 5603-DR200+. El proceso con Dron costo 1,050.00 soles y con Estación Total costo 2,643.33 soles, costando el proceso con Dron 1,593.33 soles (60.28%) menos que el proceso con Estación Total.

En general podríamos decir que, el cálculo de volumen de agregados realizados con Drone DJI Phantom 4 Pro resulta igual o similar al realizado con Estación Total Trimble 5603-DR200+, además toma menos tiempo y es de menor costo.

5.2. RECOMENDACIONES

Habiendo realizado el presente estudio se recomienda:

- Antes de realizar cualquier trabajo con el dron, realizar vuelos de prueba, conocer las sus ventajas y limitaciones del equipo.
- Realizar un planeamiento adecuado para la toma de datos, es de vital importancia verificar las condiciones climáticas de la zona de estudio, puesto que esto nos permitirá la captura de imágenes adecuadas para cualquier proceso fotogramétrico.
- Realizar estudios aplicando la tecnología Drone en diferentes procesos de ingeniería.
- Es recomendable tener un volumen conocido, de cualquier forma, para usarla como base de comparación, y poder determinar la precisión en cada modelamiento, tanto en los levantamientos con Drone y con Estación Total.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Alberto Soler, J. (2017). Curso: Topografía con drones. Disponible en <https://www.udemy.com/>
2. Brondi Rueda, F. (2019). Diplomado en geomática, modulo VI: Procesamiento digital de imágenes de aeronaves pilotadas remotamente. Lima, Perú. Centro de altos estudios nacionales (CAEN), instituto geográfico nacional (IGN).
3. Carlos Sani, J., Tierra Criollo, A.; Robayo Nieto, A. (2014). Seminario: Vehículos aéreos no tripulados-UAV para la elaboración de cartografía escalas grandes referidas al marco de referencia SIRGAS-Ecuador. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/274385188>
4. Casanova Matera, L. (2012). Topografía plana. Mérida, Venezuela. Universidad de Los Andes (ULA), Taller de Publicaciones de Ingeniería.
5. Centro de Geociencias Aplicadas. (2011). Cátedra Fotointerpretación: Apuntes de teoría, Principios de Fotogrametría. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Disponible en <https://www.unne.edu.ar/index.php?lang=es>
6. Corredor Daza, J. (2015). Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector Tulua – Rio Frio. Tesis de licenciatura en la Universidad Militar Nueva Granada de Bogotá, Colombia.
7. Fuerza Aérea de Chile, SAF. (2003). El Vuelo Fotogramétrico. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Disponible en <http://bibliotecadigital.ciren.cl/>
8. Ingeniería Civil & Geología, ICGEO. (2017). Seminario Virtual: Fotogrametría aérea con UAS / Drone, aplicado a la topografía. Disponible en <https://icgeo.wordpress.com/>
9. Instituto Nacional Geográfico, IGN. (2011). Especificaciones técnicas para la producción de cartografía básica. Disponible en <https://www.gob.pe/ign#publicaciones>
10. Knisely, T. (2020). DJI Enterprise. Disponible en <https://enterprise-insights.dji.com/es/blog/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-topografia-con-drones>
11. Mena Ramirez, M. (2018). Los Drones en la Ley. Jurídica. Disponible en <https://elperuano.pe/suplemento/juridica>
12. Pérez Álvarez, J. A. (2001). Apuntes de Fotogrametría II. Merida, España. Universidad de Extremadura. Disponible en <https://www.academia.edu/32873573>

13. Polidori, L. (2020). On laussedat's contribution to the emergence of photogrammetry. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, XXIV ISPRS congress, p. 893,897. Disponible en <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLIII-B2-2020/893/2020/>
14. Portillo Romero, F. (2019). Diplomado en geomática, modulo V: Geodesia Satelital. Lima, Perú. Centro de altos estudios nacionales (CAEN), instituto geográfico nacional (IGN).
15. Quirós Rosado, E. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil. Cáceres, España. Universidad de Extremadura.
16. R. Wolf, P.; D. Ghilani, C. (2016). Topografía. Ciudad de Mexico, Mexico. Alfaomega Grupo Editor SA.
17. Santamaria Peña, J.; Sanz Méndez, T. (2011). Fundamentos de Fotogrametría. La Rioja, España. Universidad de la Rioja.
18. Tacca Qquelca, H. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional. Puno, Perú. Disponible en de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3882>
19. Torres Nieto, Á.; Villate Bonilla, E. (2000). Topografía. Bogotá, Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería.

ANEXOS

**ANEXOS 1: REPORTE DE CALIDAD DE LOS PROCESOS
FOTOGRAMETRICOS.**

Important: Click on the different icons for:

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

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

Summary

Project	01 Acopio km24-1.1
Processed	2021-07-20 10:18:49
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.93 cm / 0.37 in
Time for Initial Processing (without report)	04m:02s

Quality Check

Images	median of 4197 keypoints per image	✓
Dataset	164 out of 164 images calibrated (100%), 43 images disabled	✓
Camera Optimization	9.11% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	⚠
Matching	median of 1218.56 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 3 GCPs (3 3D), mean RMS error = 0.001 m	✓

Calibration Details

Number of Calibrated Images	164 out of 207
Number of Geolocated Images	207 out of 207

Initial Image Positions

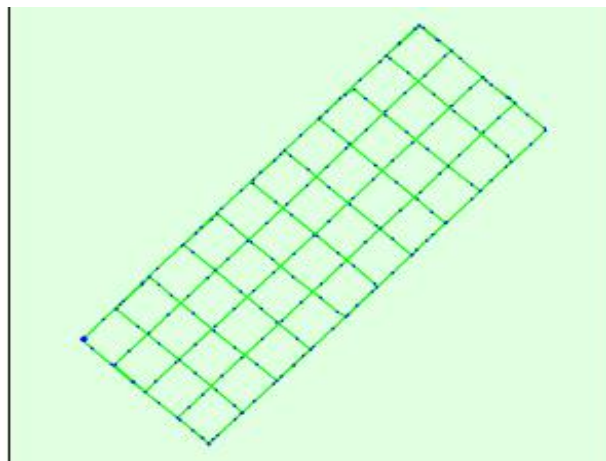
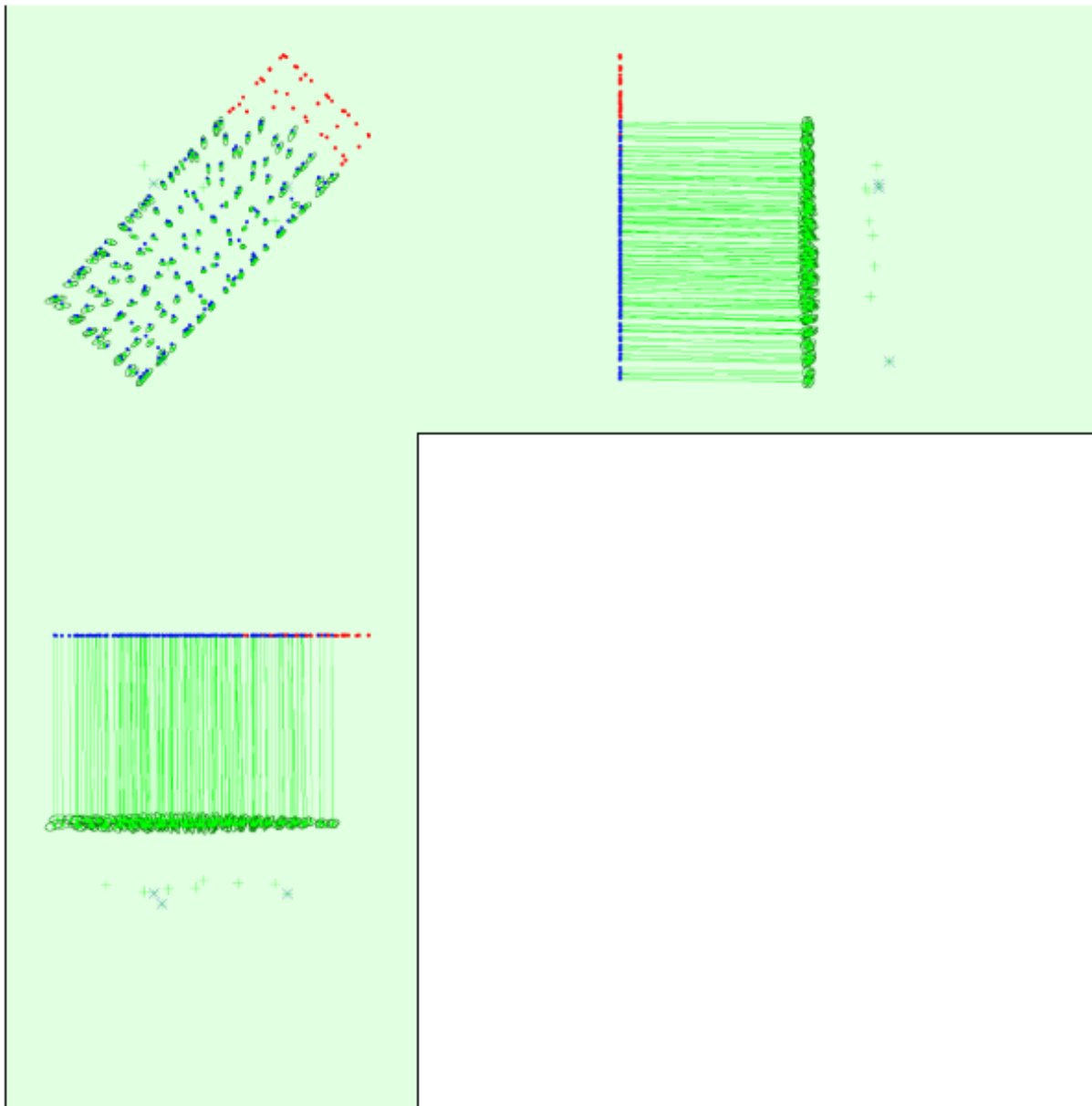


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 100x magnified

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). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.018	0.018	0.028	0.030	0.026	0.008
Sigma	0.008	0.007	0.007	0.012	0.010	0.002

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	202353
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	76715
Mean Reprojection Error [pixels]	0.115

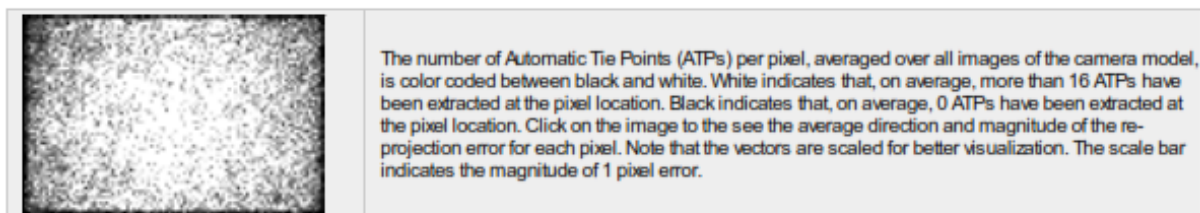
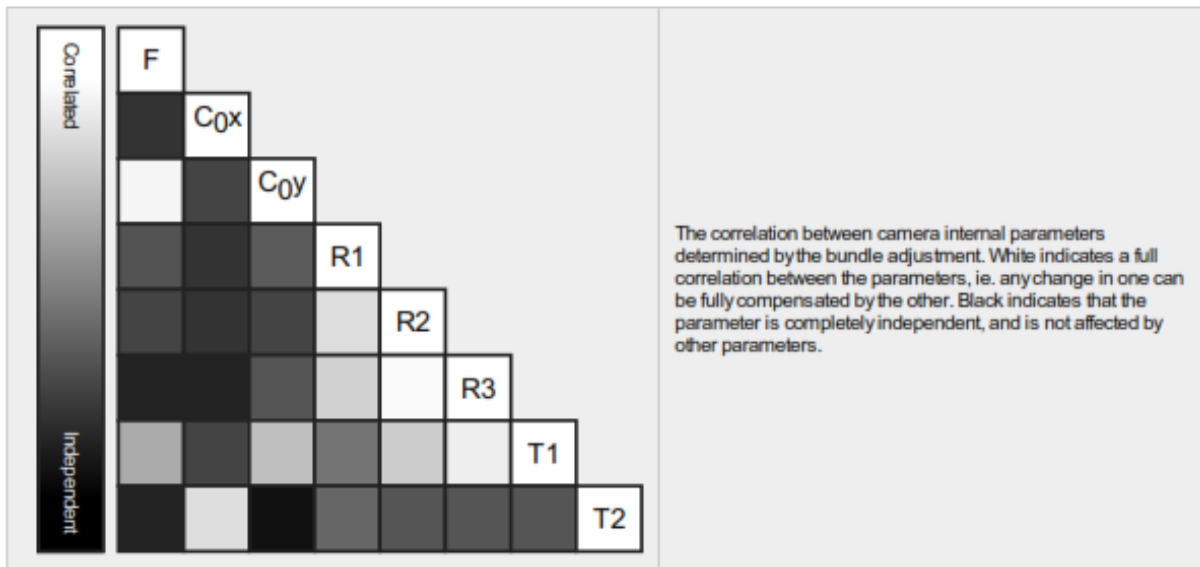
Internal Camera Parameters

FC6310_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]



EXIF ID: FC6310_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	4003.098 [pixel] 9.388 [mm]	2723.708 [pixel] 6.388 [mm]	1711.097 [pixel] 4.013 [mm]	0.001	-0.019	0.023	-0.000	0.000
Uncertainties (Sigma)	2.689 [pixel] 0.006 [mm]	0.318 [pixel] 0.001 [mm]	0.933 [pixel] 0.002 [mm]	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000



2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	4197	1219
Mn	3335	450
Max	5627	2037
Mean	4189	1234

3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	56196
In 3 Images	10662
In 4 Images	4163
In 5 Images	2104
In 6 Images	1142
In 7 Images	700
In 8 Images	478
In 9 Images	335
In 10 Images	202
In 11 Images	164
In 12 Images	133
In 13 Images	103
In 14 Images	86
In 15 Images	69
In 16 Images	53
In 17 Images	32
In 18 Images	33
In 19 Images	19
In 20 Images	17
In 21 Images	9
In 22 Images	8
In 23 Images	6
In 24 Images	1

2D Keypoint Matches



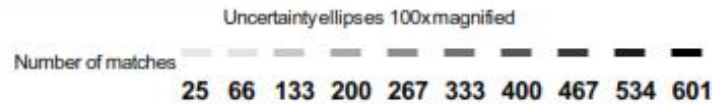
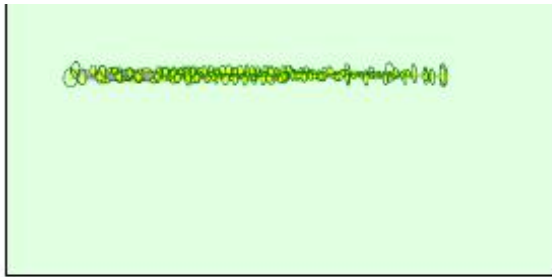


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.010	0.010	0.015	0.042	0.033	0.009
Sigma	0.002	0.002	0.008	0.021	0.015	0.003

Manual Tie Points

MTP Name	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
mtp4	0.430	6 / 6
mtp5	0.455	16 / 16
mtp6	0.370	11 / 11
mtp7	1.250	2 / 2
mtp8	0.803	12 / 12
mtp9	0.420	6 / 6
mtp10	0.053	2 / 2

Projection errors for manual tie points. The last column counts the number of images where the manual tie point has been automatically verified vs. manually marked.

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020 / 0.020	-0.002	0.000	0.000	0.642	6 / 6
2 (3D)	0.020 / 0.020	0.001	-0.003	0.000	1.344	6 / 6
3 (3D)	0.020 / 0.020	0.001	0.002	0.000	0.821	6 / 6
Mean [m]		0.000019	-0.000004	0.000184		
Sigma [m]		0.001355	0.002079	0.000091		
RMS Error [m]		0.001355	0.002079	0.000205		

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



Min 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	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	45.12	51.22	44.51
0.00	3.00	54.88	48.78	55.49
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
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]		-0.463742	1.647428	91.974682
Sigma [m]		0.734976	0.729781	1.121581
RMS Error [m]		0.869049	1.801832	91.981521

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]	-0.463742	1.647428	91.974682

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]	100.00	100.00	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.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.688
Phi	0.822
Kappa	5.101

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-6820HK CPU @ 2.70GHz RAM: 64GB GPU: NVIDIA GeForce GTX 980 (Driver: 27.21.14.6589)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 18S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 18S (EGM96 Geoid)

Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Rapid, Image Scale: 0.25
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
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: Auto, yes

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	01h:02m:44s
Time for Point Cloud Classification	01m:27s
Time for 3D Textured Mesh Generation	09m:01s

Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	19139704
Average Density (per m ³)	4266.03

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (0.927 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 100
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 0.05 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 4
Time for DSM Generation	18m:29s
Time for Orthomosaic Generation	20m:51s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	32s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s



- Important:** Click on the different icons for:
- Help to analyze the results in the Quality Report
 - Additional information about the sections

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

Summary

Project	02 Acopio km24-2
Processed	2021-07-19 13:51:22
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.02 cm / 0.40 in
Time for Initial Processing (without report)	06m:13s

Quality Check

Images	median of 3929 keypoints per image	
Dataset	214 out of 214 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	8.27% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 1561.05 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 4 GCPs (4 3D), mean RMS error = 0.005 m	

Calibration Details

Number of Calibrated Images	214 out of 214
Number of Geolocated Images	214 out of 214

Initial Image Positions

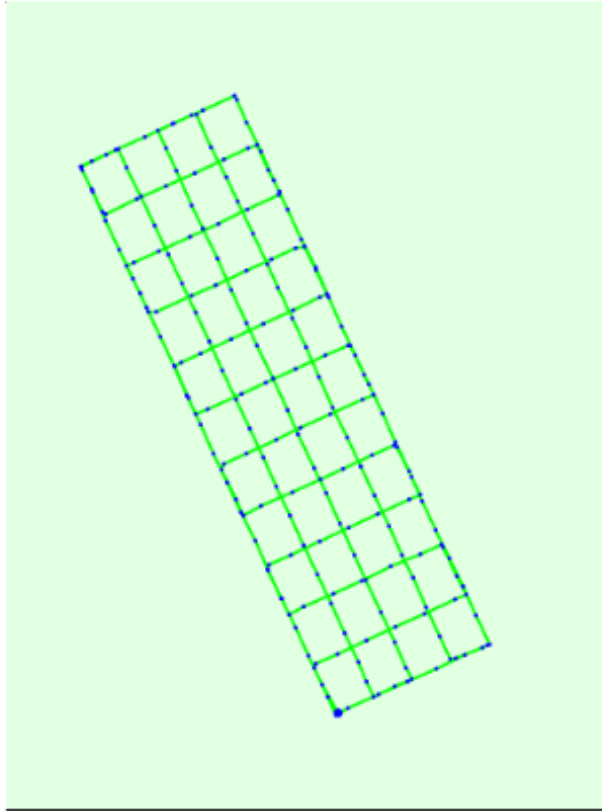
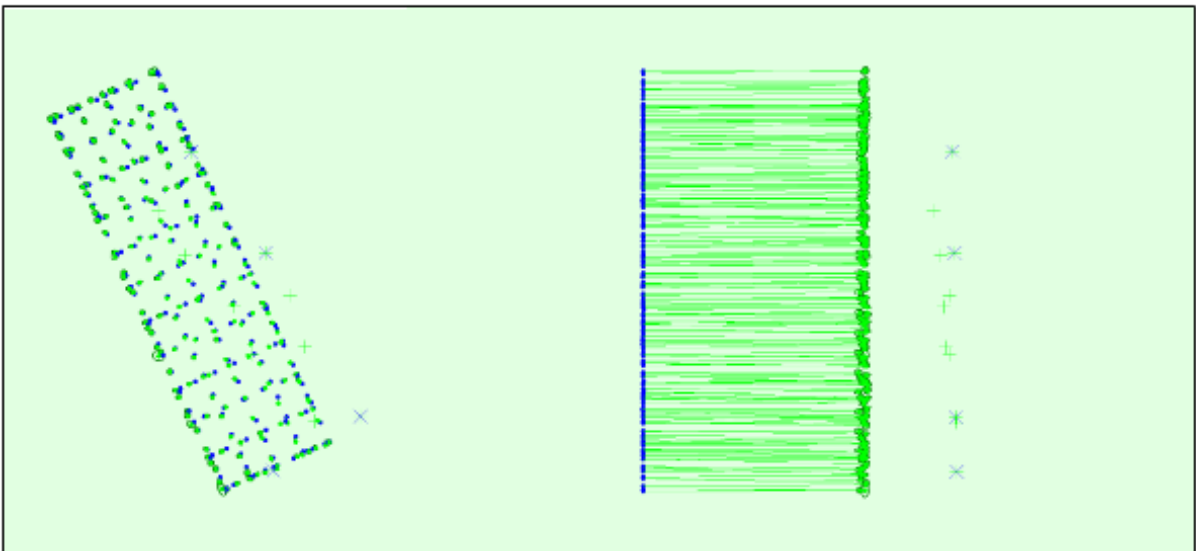
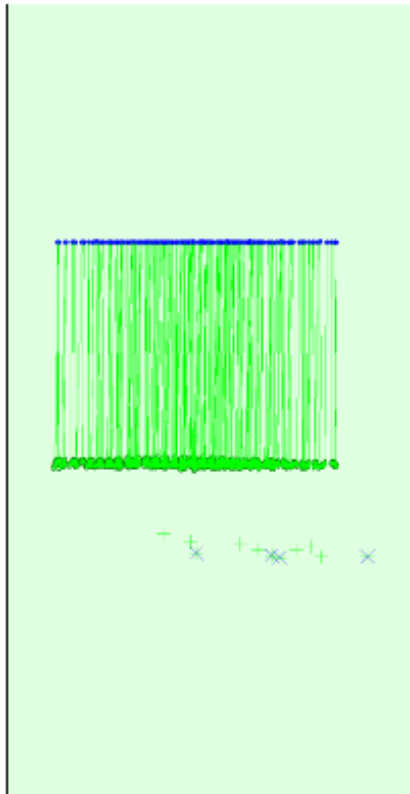


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 50x magnified

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). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

🔍 Absolute camera position and orientation uncertainties ℹ️

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.022	0.021	0.033	0.030	0.029	0.010
Sigma	0.005	0.006	0.002	0.007	0.008	0.003

Bundle Block Adjustment Details ℹ️

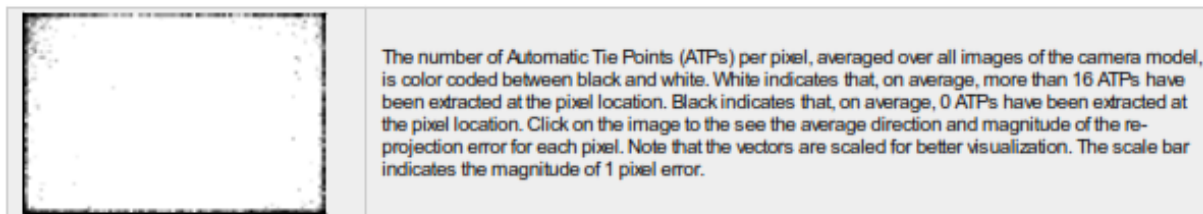
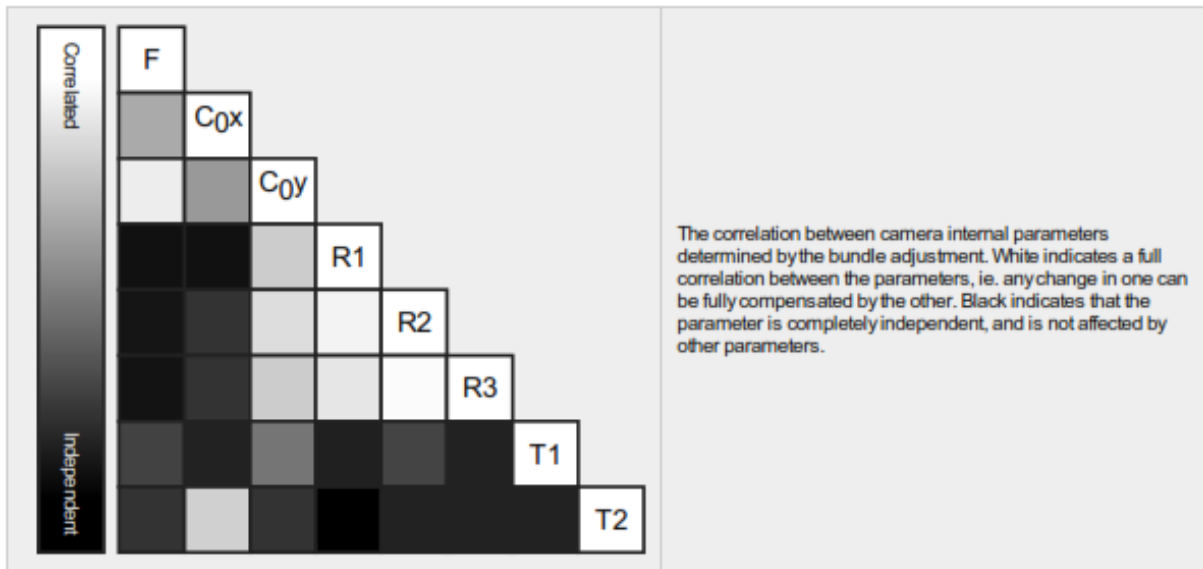
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	329404
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	104315
Mean Reprojection Error [pixels]	0.125

🔍 Internal Camera Parameters

📷 FC6310_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm] ℹ️

EXIF ID: FC6310_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3972.344 [pixel] 9.316 [mm]	2726.180 [pixel] 6.394 [mm]	1716.142 [pixel] 4.025 [mm]	0.002	-0.018	0.020	-0.001	0.000
Uncertainties (Sigma)	2.777 [pixel] 0.007 [mm]	0.426 [pixel] 0.001 [mm]	0.925 [pixel] 0.002 [mm]	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000



2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	3929	1561
Mn	3381	460
Max	4607	2053
Mean	3945	1539

3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	66736
In 3 Images	16261
In 4 Images	7199
In 5 Images	4073
In 6 Images	2570
In 7 Images	1655
In 8 Images	1260
In 9 Images	887
In 10 Images	691
In 11 Images	541
In 12 Images	425
In 13 Images	345
In 14 Images	312
In 15 Images	241
In 16 Images	224
In 17 Images	160
In 18 Images	119
In 19 Images	116
In 20 Images	96
In 21 Images	77
In 22 Images	62
In 23 Images	53

In 24 Images	44
In 25 Images	43
In 26 Images	33
In 27 Images	23
In 28 Images	16
In 29 Images	15
In 30 Images	8
In 31 Images	4
In 32 Images	8
In 33 Images	8
In 34 Images	7
In 35 Images	2
In 36 Images	1

2D Keypoint Matches

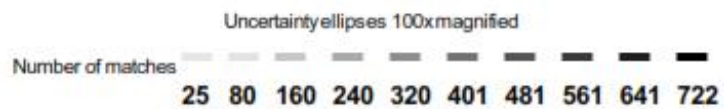
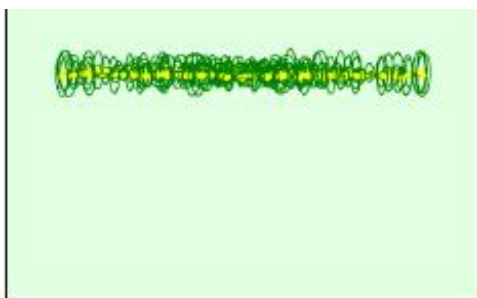
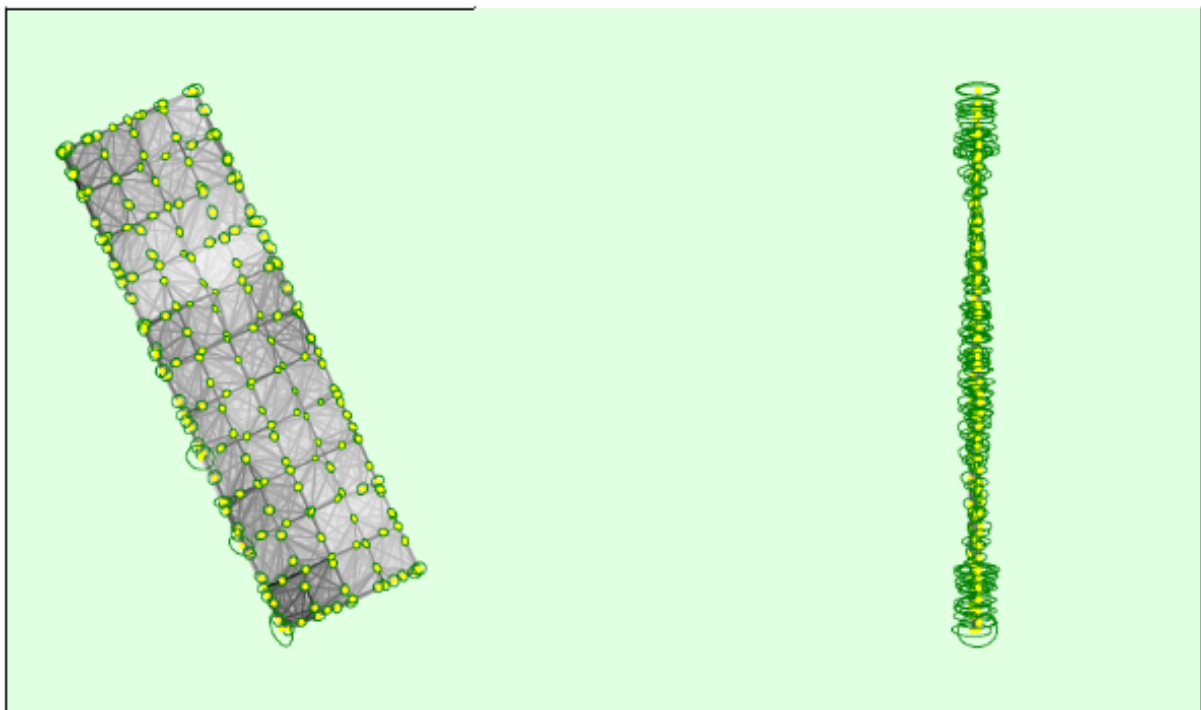


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.018	0.018	0.035	0.070	0.056	0.014
Sigma	0.005	0.005	0.018	0.033	0.028	0.005

Manual Tie Points



MTP Name	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
mp5	0.388	21 / 21
mp6	0.335	23 / 23
mp7	0.279	5 / 5
mp8	0.374	20 / 20
mp9	0.300	12 / 12
mp10	0.403	8 / 8
mp11	0.292	14 / 14

Projection errors for manual tie points. The last column counts the number of images where the manual tie point has been automatically verified vs. manually marked.

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	-0.012	-0.000	0.376	17 / 18
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	0.008	-0.003	0.623	8 / 8
3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	0.013	0.002	0.494	12 / 12
4 (3D)	0.020/ 0.020	0.008	-0.008	-0.002	0.448	11 / 11
Mean [m]		0.000338	0.000165	-0.000738		
Sigma [m]		0.004786	0.010331	0.001852		
RMS Error [m]		0.004798	0.010332	0.001994		

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



Min 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	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	54.67	51.40	42.06
0.00	3.00	45.33	48.60	57.94
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
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]		0.670009	0.224929	97.074698
Sigma [m]		0.995866	0.957344	0.935122
RMS Error [m]		1.200275	0.983413	97.079202

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]	0.670009	0.224929	97.074698

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]	100.00	100.00	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.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.817
Phi	0.949
Kappa	6.060

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-6820HK CPU @ 2.70GHz RAM: 64GB GPU: NVIDIA GeForce GTX 980 (Driver: 27.21.14.6589)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 18S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 18S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Rapid, Image Scale: 0.25
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
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: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	01h:23m:30s
Time for Point Cloud Classification	01m:45s
Time for 3D Textured Mesh Generation	12m:00s

Results



Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	21140484
Average Density (per m ³)	3329.49

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1.02 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 100
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (1.02 [cm/pixel])
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 0.05 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 4
Time for DSM Generation	20m:23s
Time for Orthomosaic Generation	27m:19s
Time for DTM Generation	06m:27s
Time for Contour Lines Generation	10s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

! **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	03 Acopio km25
Processed	2021-07-21 00:08:22
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.01 cm / 0.40 in
Area Covered	0.019 km ² / 1.9141 ha / 0.01 sq. mi. / 4.7324 acres
Time for Initial Processing (without report)	03m:18s

Quality Check i

? Images	median of 3854 keypoints per image	✔
? Dataset	190 out of 190 images calibrated (100%), 155 images disabled	✔
? Camera Optimization	10.7% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	⚠
? Matching	median of 1309.99 matches per calibrated image	✔
? Georeferencing	yes, 3 GCPs (3 3D), mean RMS error = 0.001 m	✔

? Preview i

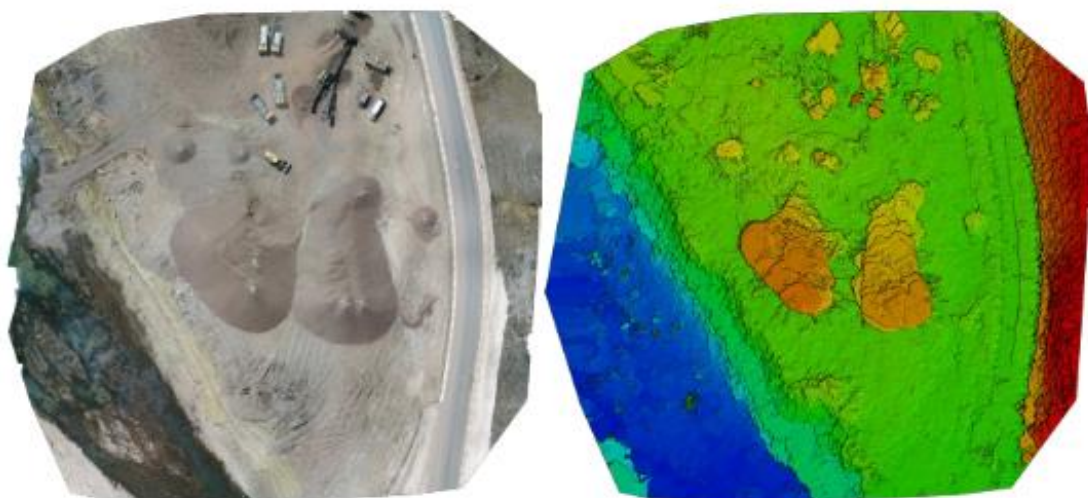


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	190 out of 345
Number of Geolocated Images	345 out of 345

Initial Image Positions

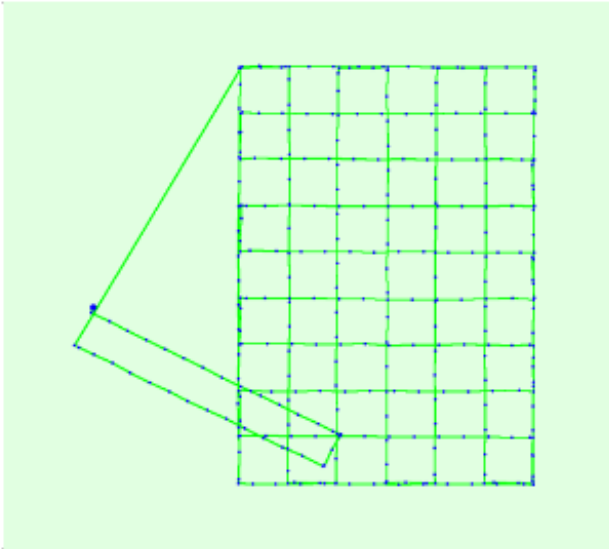
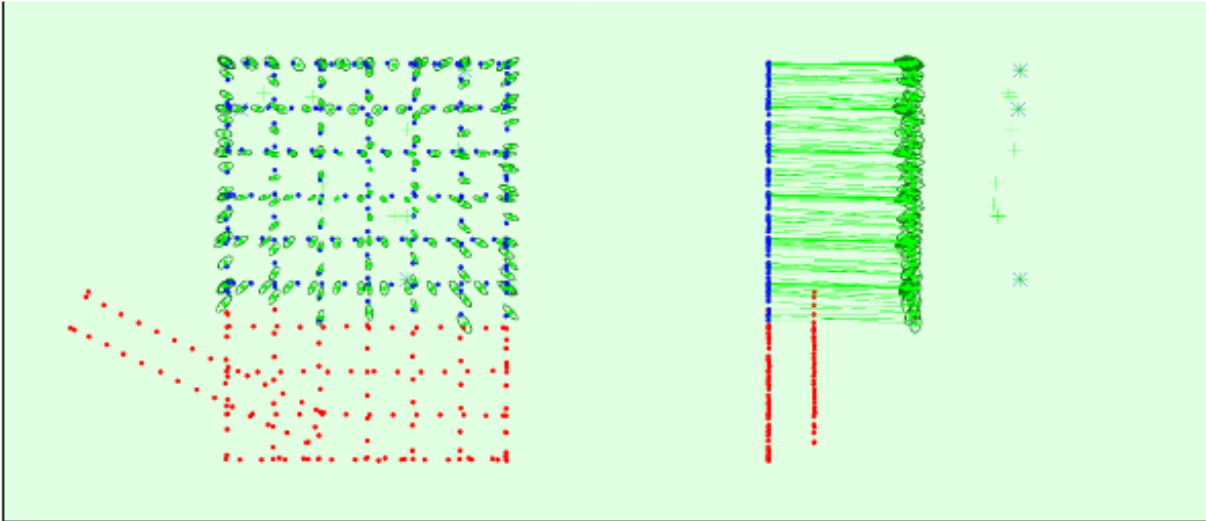
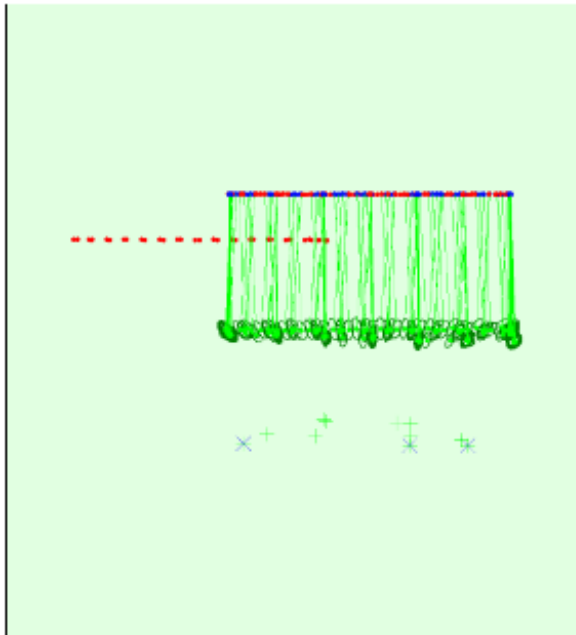


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 100x magnified

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). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

🔍 Absolute camera position and orientation uncertainties ℹ

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.020	0.017	0.029	0.024	0.027	0.007
Sigma	0.006	0.005	0.005	0.009	0.008	0.002

🔍 Overlap ℹ

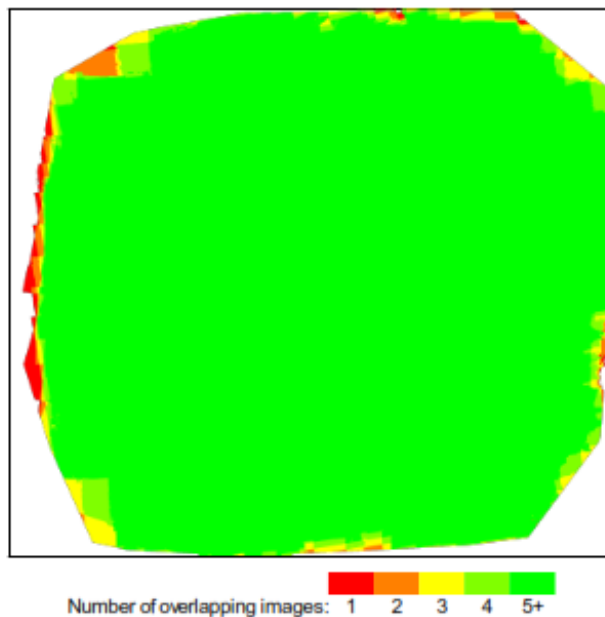


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint 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	248509
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	88471
Mean Reprojection Error [pixels]	0.116

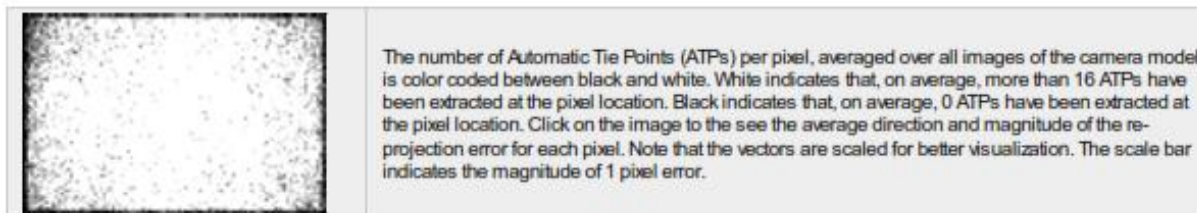
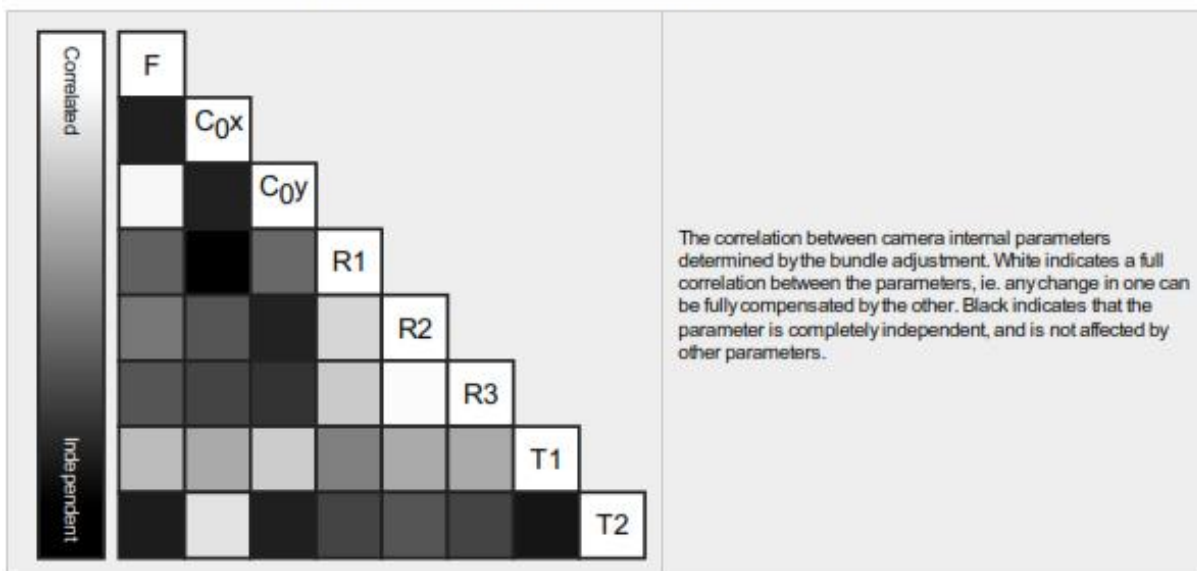
Internal Camera Parameters

FC6310_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]



EXIF ID: FC6310_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	4061.410 [pixel] 9.525 [mm]	2731.796 [pixel] 6.407 [mm]	1687.812 [pixel] 3.958 [mm]	0.006	-0.019	0.022	-0.001	0.000
Uncertainties (Sigma)	2.743 [pixel] 0.006 [mm]	0.297 [pixel] 0.001 [mm]	0.977 [pixel] 0.002 [mm]	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000



2D Keypoints Table



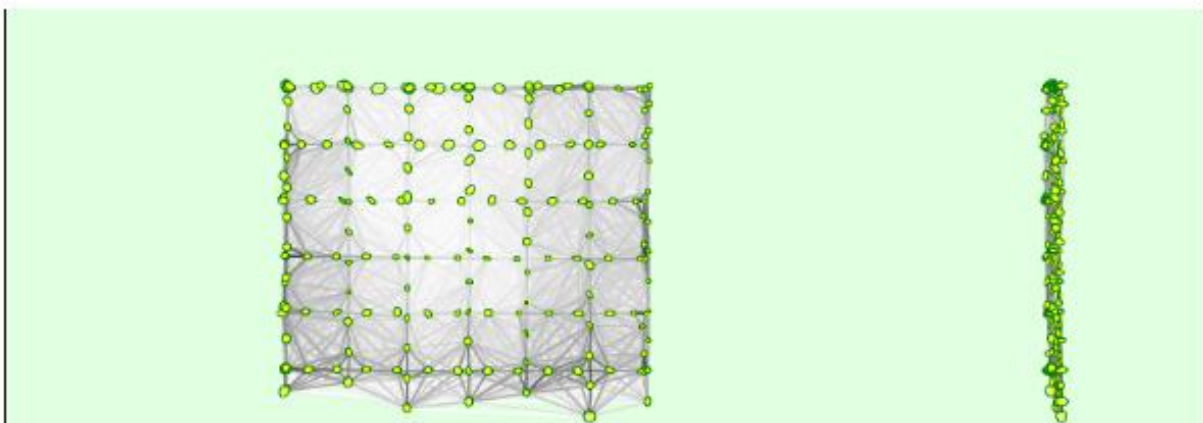
	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	3854	1310
Mn	2803	528
Max	5578	2287
Mean	3925	1308

3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	61264
In 3 Images	13369
In 4 Images	5478
In 5 Images	2832
In 6 Images	1705
In 7 Images	1043
In 8 Images	697
In 9 Images	498
In 10 Images	382
In 11 Images	238
In 12 Images	188
In 13 Images	137
In 14 Images	133
In 15 Images	79
In 16 Images	72
In 17 Images	72
In 18 Images	49
In 19 Images	48
In 20 Images	31
In 21 Images	30
In 22 Images	21
In 23 Images	17
In 24 Images	19
In 25 Images	10
In 26 Images	13
In 27 Images	10
In 28 Images	9
In 29 Images	3
In 30 Images	9
In 31 Images	4
In 32 Images	5
In 33 Images	1
In 34 Images	2
In 35 Images	1
In 37 Images	1
In 38 Images	1

2D Keypoint Matches



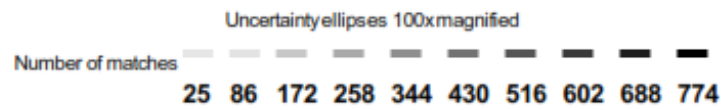
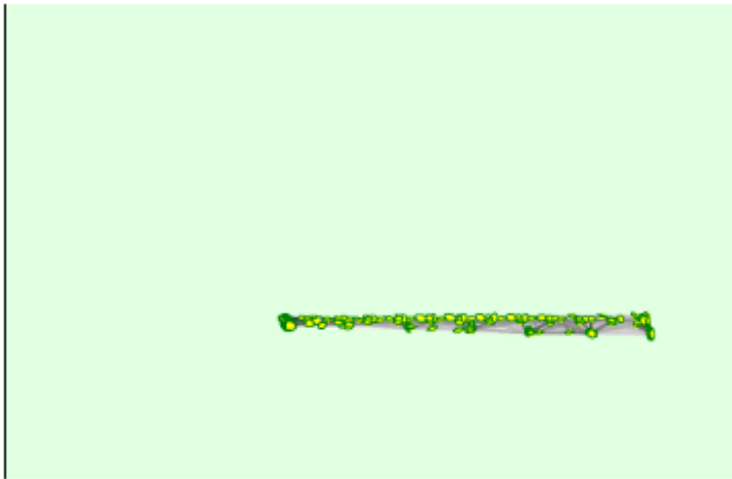


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.011	0.010	0.009	0.026	0.029	0.008
Sigma	0.003	0.003	0.004	0.010	0.010	0.002

Manual Tie Points



MTP Name	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
mtp4	2.061	5 / 5
mtp5	0.723	14 / 14
mtp6	1.336	11 / 11
mtp7	0.111	2 / 2
mtp8	0.855	18 / 18
mtp9	1.065	13 / 13
mtp10	1.275	7 / 7
mtp11	1.605	8 / 8

Projection errors for manual tie points. The last column counts the number of images where the manual tie point has been automatically verified v.s. manually marked.

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	-0.002	-0.000	0.564	15 / 15
2 (3D)	0.020/ 0.020	-0.000	0.004	0.000	0.294	9 / 9
3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	-0.002	0.000	0.447	6 / 6
Mean [m]		-0.000047	-0.000001	0.000223		
Sigma [m]		0.002631	0.002528	0.000183		
RMS Error [m]		0.002631	0.002528	0.000288		

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



Min 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	0.00	3.68	0.00
-3.00	0.00	61.58	38.42	53.16
0.00	3.00	29.47	55.79	45.79
3.00	6.00	8.95	2.11	1.05
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]		-0.125188	0.648083	49.934141
Sigma [m]		1.752341	1.732711	1.523827
RMS Error [m]		1.756807	1.849945	49.957386

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]	-0.125188	0.648083	49.934141

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]	100.00	100.00	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.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.654
Phi	0.918
Kappa	5.031

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-6820HK CPU @ 2.70GHz RAM: 64GB GPU: NVIDIA GeForce GTX 980 (Driver: 27.21.14.6589)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 18S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 18S (EGM96 Geoid)

Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Rapid, Image Scale: 0.25
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
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: Auto, yes

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	01h:24m:12s
Time for Point Cloud Classification	01m:40s
Time for 3D Textured Mesh Generation	10m:37s

Results



Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	20308298
Average Density (per m ³)	3688.52

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1.01 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp

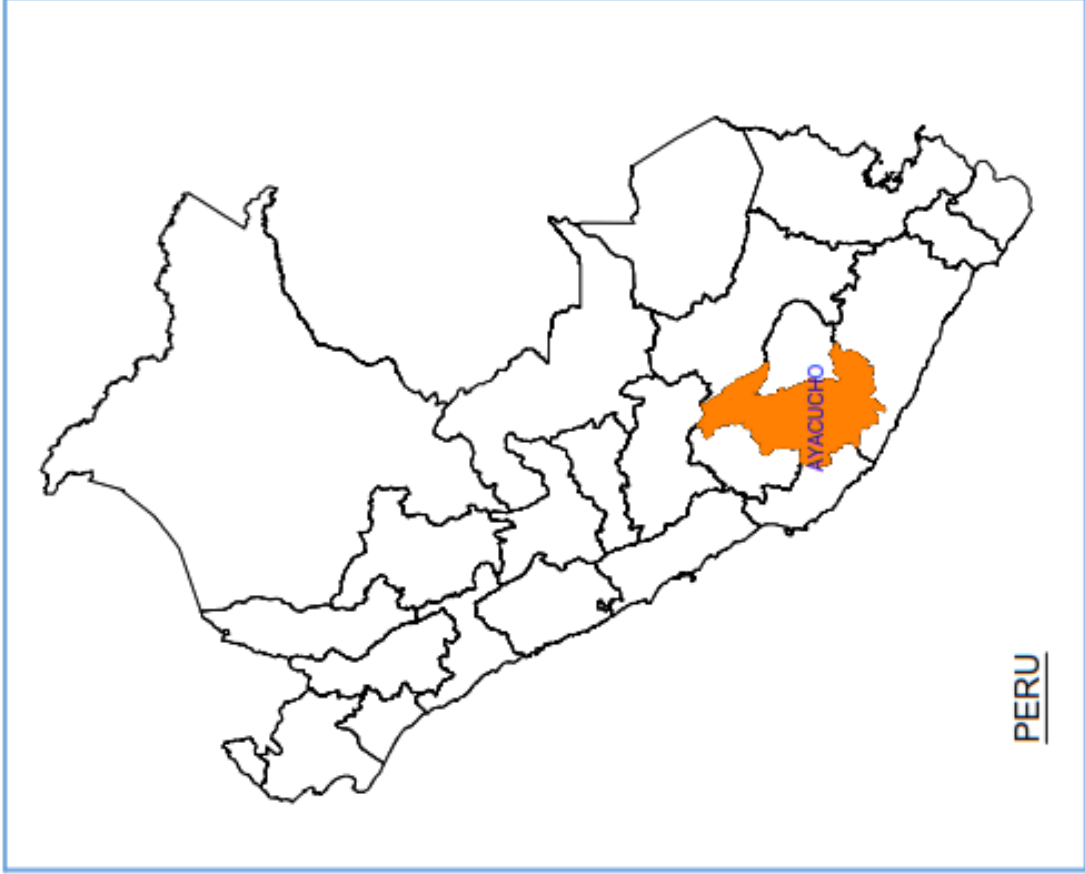
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: yes
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 100
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (1.01 [cm/pixel])
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 0.05 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 4
Time for DSM Generation	22m:07s
Time for Orthomosaic Generation	22m:39s
Time for DTM Generation	04m:04s
Time for Contour Lines Generation	11s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Camera Radiometric Correction

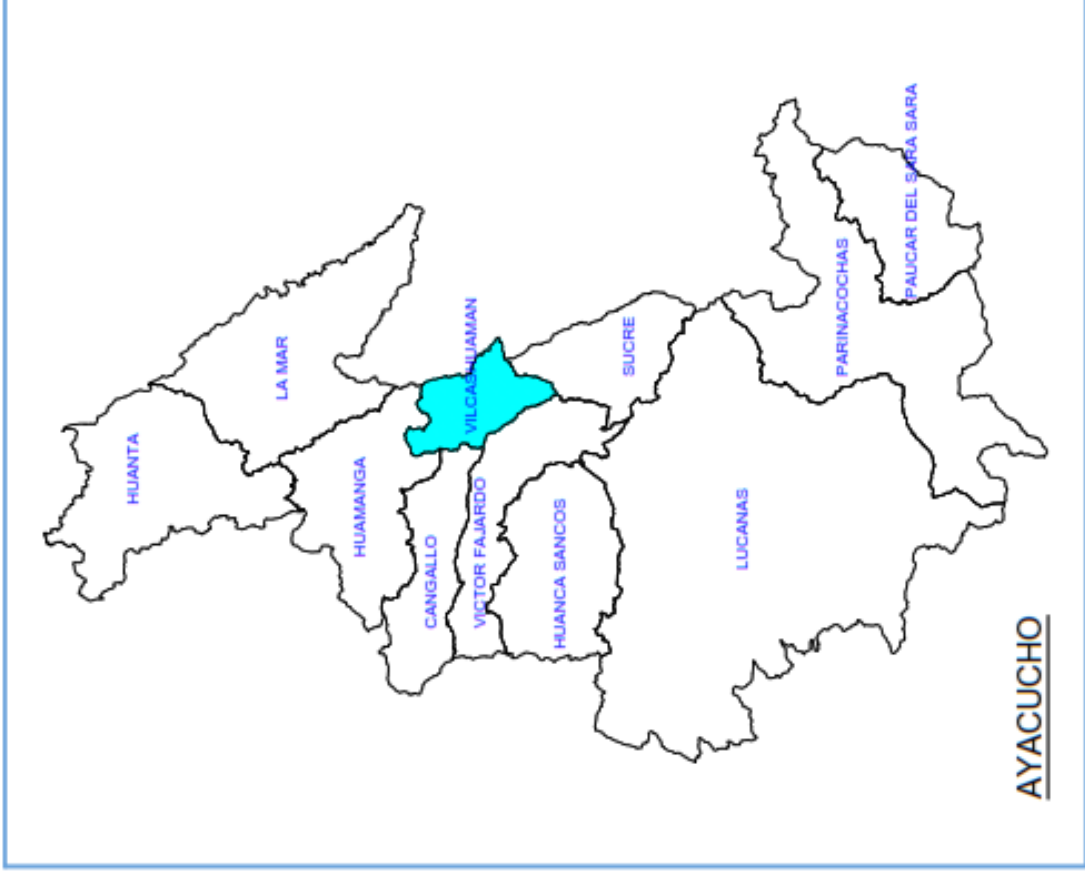


Camera Name	Band	Radiometric Correction Type	Reflectance target
FC6310_8.8_5472x3648	Red Green Blue	Camera Only	n/a

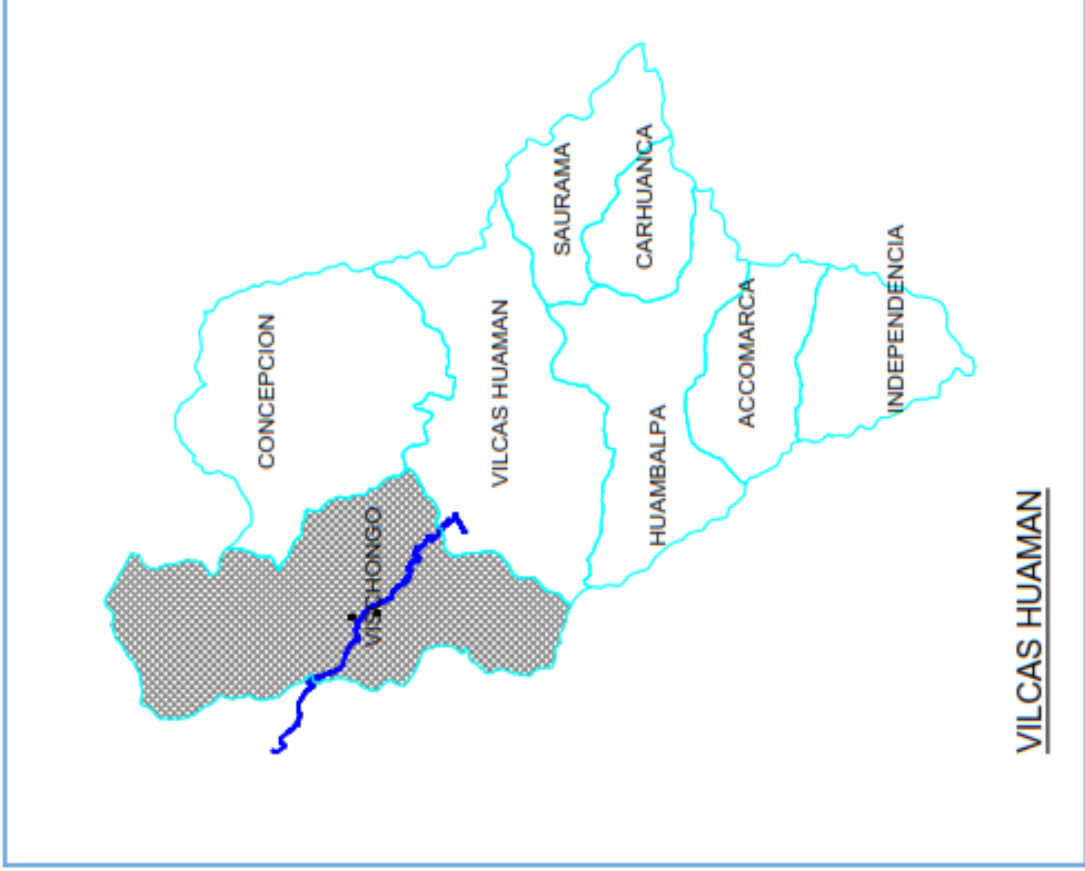
ANEXOS 2: PLANO DE UBICACIÓN



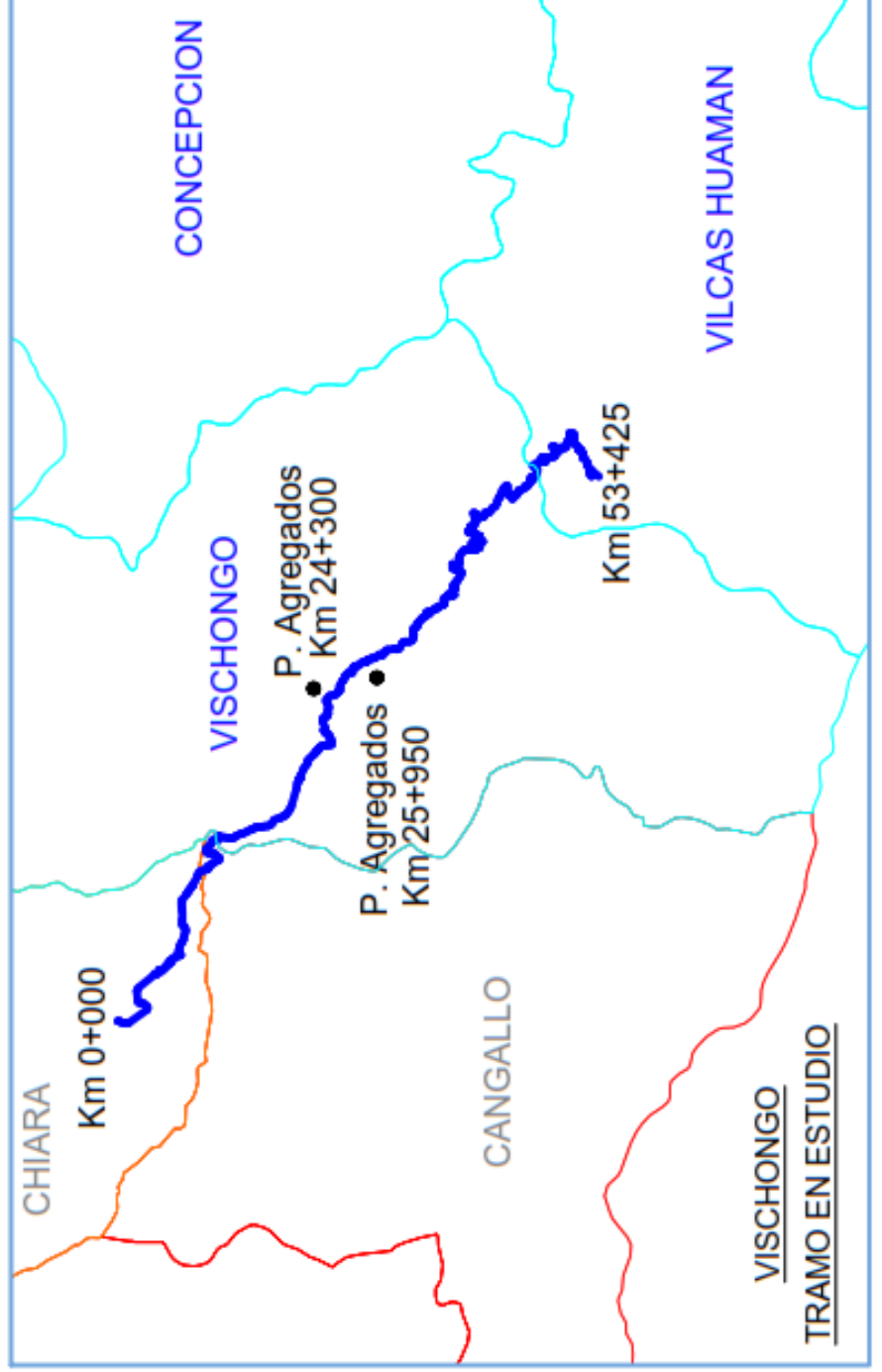
PERU



AYACUCHO



VILCAS HUAMAN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS:

"ANÁLISIS DEL VOLUMEN DE MATERIAL
APILADO OBTENIDO DE UN LEVANTAMIENTO
TOPOGRÁFICO CON DRONE COMPARADO
CON EL VOLUMEN OBTENIDO DE UN
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON
ESTACION TOTAL"

AUTOR:

BACH. ALEXANDER VÁSQUEZ CASTAÑEDA

ASESOR:

ING. WILLIAM P. QUIROZ GONZALES

FECHA:
29-07-2021

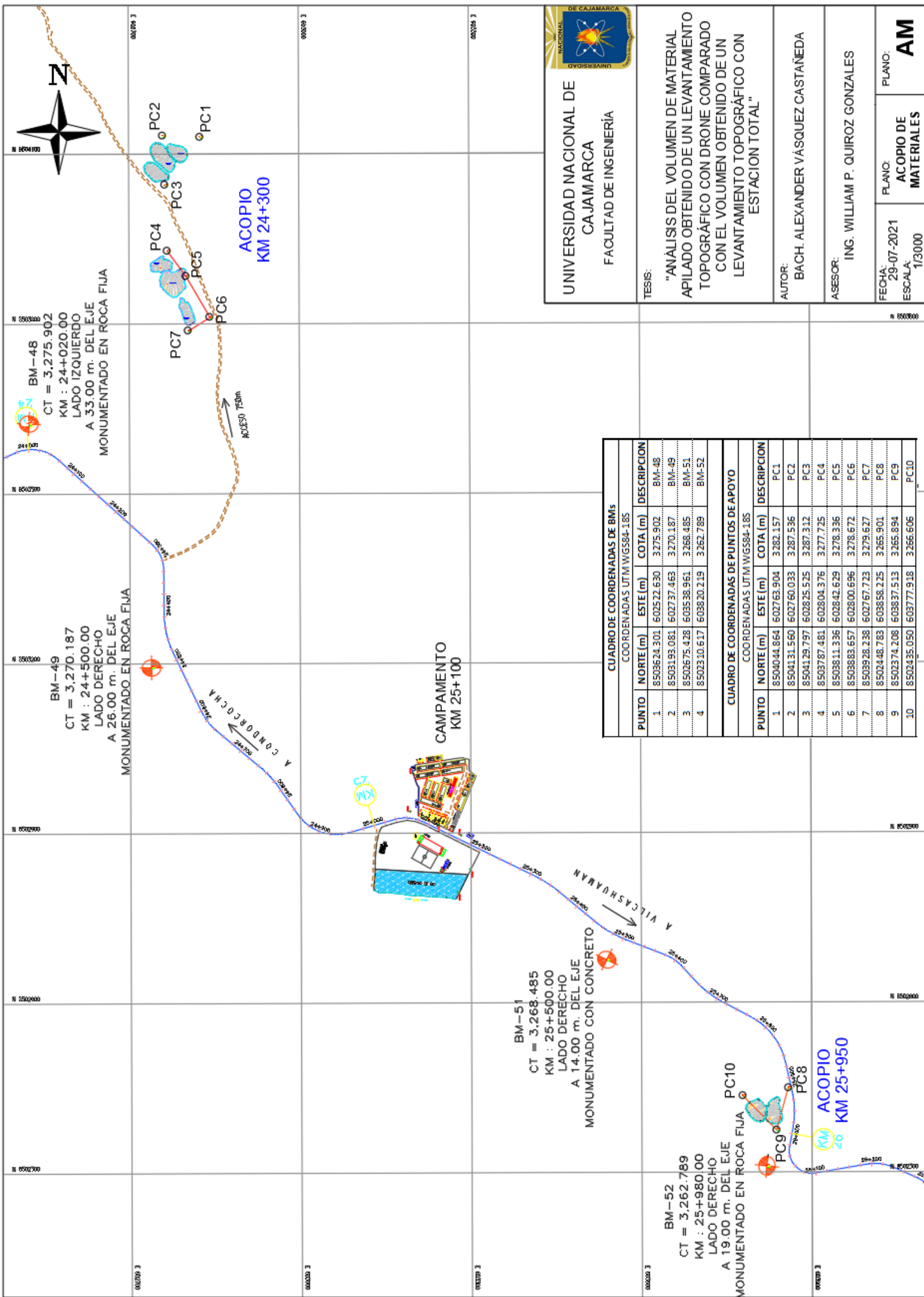
PLANO:

UBICACIÓN

ESCALA:
S/E

U

ANEXOS 2: PLANO DE ACOPIOS DE MATERIALES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS:
 "ANÁLISIS DEL VOLUMEN DE MATERIAL APILADO OBTENIDO DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRONE COMPARADO CON EL VOLUMEN OBTENIDO DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACION TOTAL"

AUTOR:
 BACH. ALEXANDER VÁSQUEZ CASTAÑEDA

ASESOR:
 ING. WILLIAM P. QUIROZ GONZALES

FECHA:
 29-07-2021

ESCALA:
 1/3000

FLANO:
 ACOPIO DE MATERIALES

PLANO:
 AM

CUADRO DE COORDENADAS DE BMs			
COORDENADAS UTM WGS84-18S			
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)
1	8503624.301	602522.630	3275.902
2	8503193.081	602737.463	3270.187
3	8502675.428	603538.961	3268.485
4	8502310.617	603820.219	3262.789

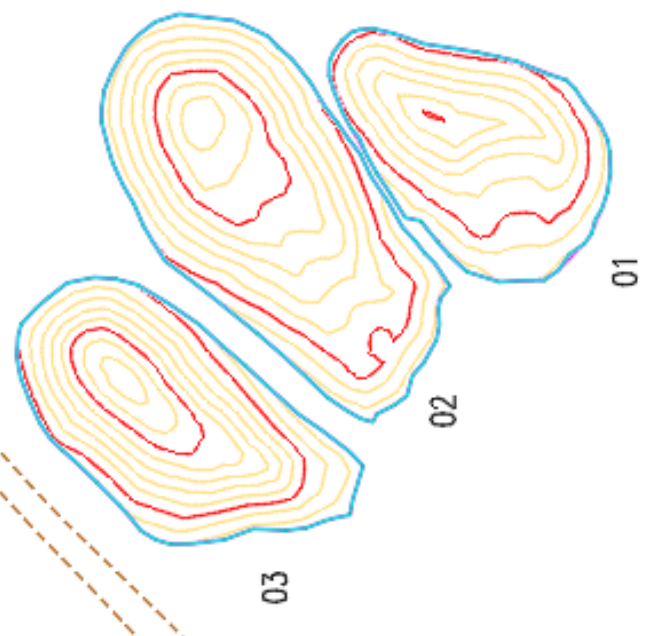
CUADRO DE COORDENADAS DE PUNTOS DE APOYO			
COORDENADAS UTM WGS84-18S			
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)
1	8504044.864	602763.904	3282.157
2	8504131.560	602760.033	3287.536
3	8504129.797	602825.525	3287.312
4	8503787.481	602804.376	3277.725
5	8503811.336	602842.629	3278.336
6	8503883.657	602800.696	3278.672
7	8503928.238	602767.723	3279.627
8	8502448.783	603858.225	3265.901
9	8502374.208	603837.513	3265.894
10	8502435.050	603777.918	3266.606

CUADRO DE COORDENADAS DE BMs			
COORDENADAS UTM WGS84-18S			
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)
1	8503624.301	602522.630	3275.902
2	8503193.081	602737.463	3270.187
3	8502675.428	603538.961	3268.485
4	8502310.617	603820.219	3262.789

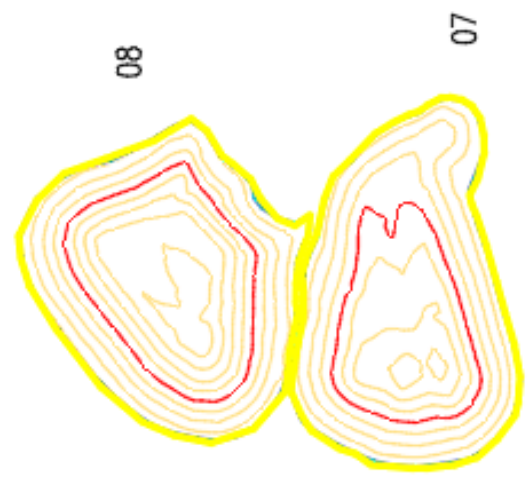
CUADRO DE COORDENADAS DE PUNTOS DE APOYO			
COORDENADAS UTM WGS84-18S			
PUNTO	NORTE (m)	ESTE (m)	COTA (m)
1	8504044.864	602763.904	3282.157
2	8504131.560	602760.033	3287.536
3	8504129.797	602825.525	3287.312
4	8503787.481	602804.376	3277.725
5	8503811.336	602842.629	3278.336
6	8503883.657	602800.696	3278.672
7	8503928.238	602767.723	3279.627
8	8502448.783	603858.225	3265.901
9	8502374.208	603837.513	3265.894
10	8502435.050	603777.918	3266.606

**ANEXOS 3: PLANO DE VOLUMENES CON DATOS DE
ESTACION TOTAL**

ACOPIO
KM 24+300



ACOPIO
KM 25+950



VOLUMENES: LEV. CON ESTACION TOTAL Y PROCESO EN AUTODESK CIVIL 3D		Volumen (m3) A
Id	Descripción	
01	Vol. Gravilla 3/8	1795.53
02	Vol. Gravilla 3/4	4069.80
03	Vol. Arena asf	3081.53
04	Vol. Gravilla 3/8	1750.97
05	Vol. Gravilla 3/4	4651.36
06	Vol. Arena asf	1393.29
07	Vol. Filtro 3/4	3095.72
08	Vol. SubBase	4009.34



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS:
"ANÁLISIS DEL VOLUMEN DE MATERIAL APILADO OBTENIDO DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRONE COMPARADO CON EL VOLUMEN OBTENIDO DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACION TOTAL"

AUTOR:
BACH. ALEXANDER VÁSQUEZ CASTAÑEDA

ASESOR:
ING. WILLIAM P. QUIROZ GONZALES

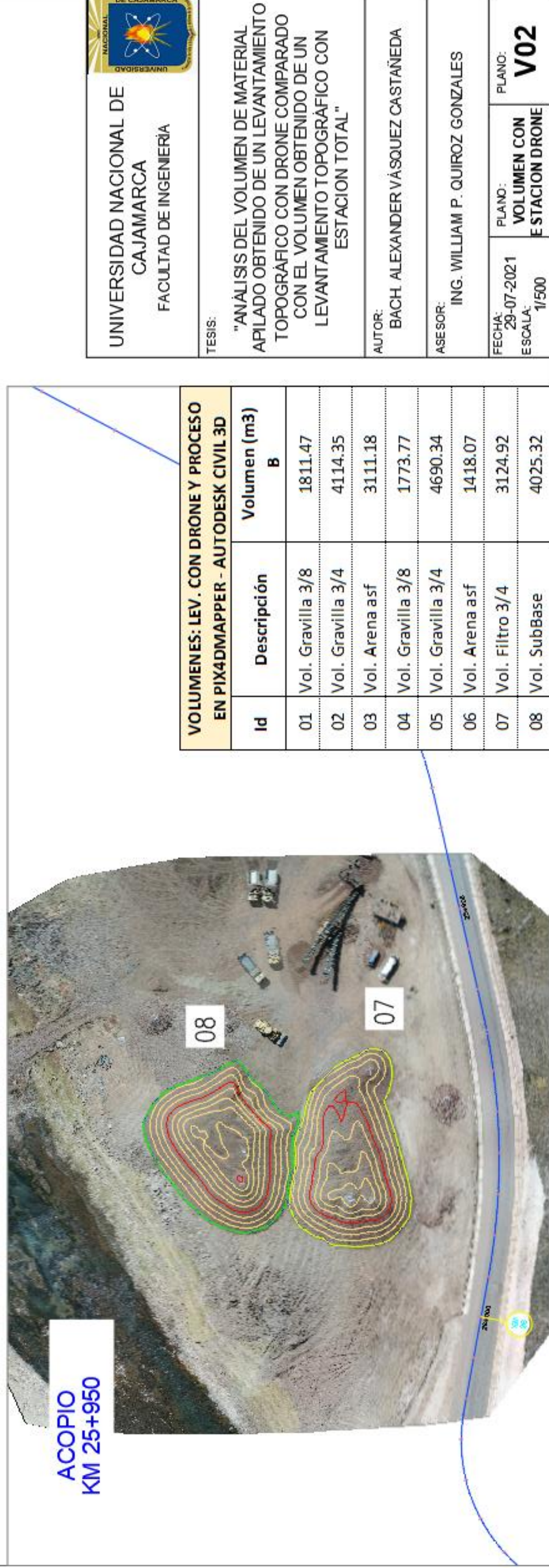
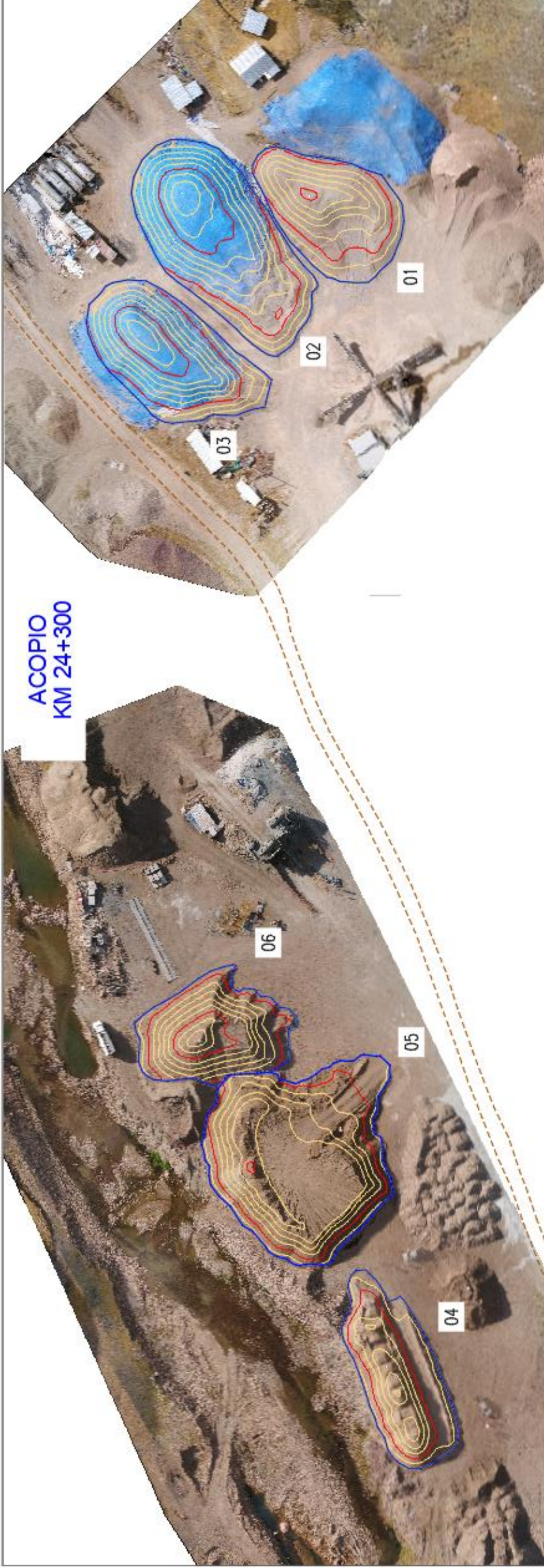
FECHA:
29-07-2021

ESCALA:
1/500

PLANO:
VOLUMEN CON ESTACION TOTAL

V01

**ANEXOS 4: PLANO DE VOLUMENES CON DATOS DE
DRONE**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

TESIS:

"ANÁLISIS DEL VOLUMEN DE MATERIAL APILADO OBTENIDO DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRONE COMPARADO CON EL VOLUMEN OBTENIDO DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACION TOTAL"

AUTOR:
BACH. ALEXANDER VÁSQUEZ CASTAÑEDA

ASESOR:
ING. WILLIAM P. QUIROZ GONZALES

FECHA:
29-07-2021

ESCALA:
1/500

PLANO:
VOLUMEN CON ESTACION DRONE

PLANO:
V02

VOLUMENES: LEV. CON DRONE Y PROCESO EN PIX4DMAPPER - AUTODESK CIVIL 3D

Id	Descripción	Volumen (m3) B
01	Vol. Gravilla 3/8	1811.47
02	Vol. Gravilla 3/4	4114.35
03	Vol. Arena asf	3111.18
04	Vol. Gravilla 3/8	1773.77
05	Vol. Gravilla 3/4	4690.34
06	Vol. Arena asf	1418.07
07	Vol. Filtro 3/4	3124.92
08	Vol. SubBase	4025.32

ANEXOS 5: PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía 1. Vista del acopio de materiales 01 - km 24+300.



Fotografía 2. Vista del acopio de materiales 02 - km 24+300.



Fotografía 3. Vista del acopio de materiales 03 - km 25+950.



Fotografía 4. Inspeccion de zona de estudio – km 24+300.



Fotografía 5. Vista de planta procesadora de agregados – km 24+300.



Fotografía 6. Vista del personal y equipos para trabajos de campo.



Fotografía 7. Ubicación para puntos de control terrestre GCP.



Fotografía 8. Ubicación para puntos de control terrestre GCP.



Fotografía 9. Demarcacion y pintado de GCP.



Fotografía 10. Demarcacion y pintado de GCP.



Fotografía 11. Posicionamiento (estacionamiento) de la Estacion Total.



Fotografía 12. Toma de datos de los GCP.



Fotografía 13. Levantamiento topograficos con estacion total.



Fotografía 14. Levantamiento topograficos con estacion total.



Fotografía 15. Colocacion de puntos de apoyo con dianas de prefabricadas.



Fotografía 16. Puntos de apoyo con marcas de yeso.



Fotografía 17. Montaje y configuración de Drone.



Fotografía 18. Inicio del plan de vuelo con Drone.



Fotografía 19. El Drone siguiendo el plan de vuelo.



Fotografía 20. Toma de datos (imágenes) con Drone.

APENDICES

**APENDICE 1: LEY N° 30740 (USO Y OPOERACIONES CON
RPA)**

LEY N° 30740

LEY QUE REGULA EL USO Y LAS OPERACIONES DE LOS SISTEMAS DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA (RPAS)

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 acuática.

Artículo 2. Licencias, requisitos y limitaciones

2.1. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), es el ente encargado de otorgar las licencias a las personas naturales o jurídicas u organizaciones civiles para el uso de aeronaves pilotadas a distancia (RPA) y de regular los requisitos y limitaciones para las operaciones de los sistemas de aeronave pilotada a distancia (RPAS).

2.2. Todas las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) para uso civil, diferentes a la práctica aerodeportiva o recreativa, hechas por personas naturales o jurídicas u organizaciones civiles requieren de la licencia otorgada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).

2.3. Toda persona natural o jurídica u organización civil que opere un sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), para uso diferente a la práctica aerodeportiva o recreativa, debe contar con una licencia de operador/piloto, que es otorgada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).

2.4. Los procedimientos de las referidas licencias, requisitos y limitaciones, así como las condiciones, características y otras especificaciones técnicas para la operación de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia, (RPAS) son elaboradas por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, aplicándose para este efecto y de forma complementaria las disposiciones contenidas en la Norma Técnica Complementaria NTC 001-2015, aprobada mediante la Resolución Directoral 501-2015-MTC/12.

2.5 En ámbitos donde se encuentren bienes integrantes del Patrimonio Cultural de la Nación y Pueblos en aislamiento voluntario, será necesaria la opinión favorable del Ministerio de Cultura.

Artículo 3. Exclusiones

Están excluidas de los alcances de la presente ley, las aeronaves del Estado pilotadas a distancia que sean para uso en servicios militares, policiales y aduaneros, así como las aeronaves pilotadas a distancia que sean de uso recreativo y aerodeportivo con un peso inferior a los dos (2) kilogramos.

Artículo 4. Registro de aeronaves pilotadas a distancia (RPA), de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) y de sus propietarios

La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones constituye un registro de las aeronaves pilotadas a distancia (RPA) y de sus propietarios, así como de los propietarios de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS).

Este registro es de acceso público y gratuito y es incorporado en el portal web del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Los propietarios de dichas aeronaves y sistemas están obligados a registrarlos, bajo sanción de multa que es dispuesta y ejecutada por la autoridad competente.

Artículo 5. Operaciones no permitidas

De conformidad con el párrafo 2.4 del artículo 2 de la presente ley, la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones no autoriza las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) y sanciona a los responsables cuando corresponda:

- a) Si se pone en peligro la seguridad y la regularidad de las operaciones aéreas tripuladas.
- b) Si se sobrevuela espacios urbanos o con alta densidad poblacional o áreas naturales protegidas, zonas peligrosas, zonas restringidas y zonas prohibidas, salvo que cuente con la autorización excepcional expedida por la autoridad competente.
- c) Si se viola la privacidad de los ciudadanos.

La autoridad competente, mediante normas administrativas, determina otros casos para la no autorización de dichas operaciones y las correspondientes sanciones.

Artículo 6. Infracciones y sanciones

Las infracciones y las sanciones relacionadas con el uso de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) son determinadas por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en concordancia con lo dispuesto en la Ley 27261, Ley de Aeronáutica Civil del Perú, su reglamento, aprobado por el Decreto Supremo 050-2011-MTC, y en la Resolución Ministerial 361-2011-MTC/02, Reglamento de Infracciones y Sanciones Aeronáuticas, así como en concordancia con sus correspondientes normas modificatorias.

Los daños causados al patrimonio cultural son sancionados por el Ministerio de Cultura. En caso de daños a terceros, se puede accionar por la vía civil o penal, según corresponda.

Artículo 7. Zonas geográficas para ensayos

En el reglamento de la presente ley se determinan las condiciones necesarias para fijar las zonas geográficas para ensayos de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) con el fin de promover la investigación científica y realizar pruebas para aplicaciones de nuevas

tecnologías o estudios tecnológicos relacionados a los actuales y futuros escenarios, como control y comunicación, colisiones, reutilización del espectro radioeléctrico, vuelos a baja y alta altura y compatibilidad con las reglas de tránsito. La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, otorga todas las facilidades a fin de emitir las licencias necesarias, que son gratuitas.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera. Definiciones de términos básicos

A efectos de la presente ley y, en concordancia con los convenios firmados por el Perú y la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), se identifica a la aeronave pilotada a distancia con las siglas RPA (Remotely Piloted Aircraft) y al sistema de aeronaves pilotadas a distancia con las siglas RPAS (Remote Piloted Aircraft System).

a) AERONAVE PILOTADA A DISTANCIA (Remotely Piloted Aircraft - RPA): es una aeronave pilotada por un “piloto remoto” quien monitorea la aeronave en todo momento y tiene responsabilidad directa de la conducción segura de la aeronave durante todo su vuelo.

b) SISTEMA DE AERONAVE PILOTADA A DISTANCIA (Remote Piloted Aircraft System RPAS): es el conjunto de elementos configurables integrado por una aeronave pilotada a distancia, sus estaciones de piloto remoto conexas, los necesarios enlaces de mando y control y cualquier otro elemento de sistema que pueda requerirse en cualquier punto durante la operación de vuelo.

Segunda. Beneficios tributarios de la Ley 30309

Los gastos en aeronaves pilotadas a distancia (RPA) y en los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) podrán aplicar el beneficio tributario contenido en la Ley 30309, Ley que promueve la investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación tecnológica norma, siempre que formen parte de proyectos que sean calificados por CONCYTEC como proyectos de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación tecnológica y cumplan con los requisitos establecidos en el artículo 3 de dicha ley.

Tercera. Adecuación del Reglamento de Infracciones y Sanciones Aeronáuticas

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) adecua el Reglamento de Infracciones y Sanciones Aeronáuticas (RISA) a fin de establecer la tipificación de nuevas conductas sancionables afines a las particularidades de las operaciones realizables por los sistemas de aeronave pilotada a distancia (RPAS), de conformidad con el principio de tipicidad de la potestad sancionadora administrativa señalada en el numeral 4 del artículo 230 de la Ley 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General.

Cuarta. Reglamentación

El Poder Ejecutivo reglamenta la presente ley en un plazo máximo de ciento veinte días contados a partir del día siguiente de su publicación.

POR TANTO:

Habiendo sido reconsiderada la Ley por el Congreso de la República, aceptándose las observaciones formuladas por el señor presidente de la República, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 108 de la Constitución Política del Perú, ordeno que se publique y cumpla.

En Lima, a los veintiún días del mes de marzo de dos mil dieciocho.

LUIS GALARRETA VELARDE
Presidente del Congreso de la República

MARIO MANTILLA MEDINA
Primer vicepresidente del Congreso de la República

1629081-1

**APENDICE 2: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DRONE
DJI PHANTOM 4 PRO**



Aeronave

Peso (batería y hélices incluidas)	1388 g
Tamaño diagonal (hélices excluidas)	350 mm
Velocidad máxima de ascenso	Modo S: 6 m / s Modo P: 5 m / s
Velocidad máxima de descenso	Modo S: 4 m / s Modo P: 3 m / s
Máxima velocidad	Modo S: 72 kph (45 mph) Modo A: 36 mph (58 kph) Modo P: 50 kph (31 mph)
Ángulo de inclinación máximo	Modo S: 42 ° Modo A: 35 ° Modo P: 25 °
Velocidad angular máxima	Modo S: 250 ° / s Modo A: 150 ° / s
Techo de servicio máximo sobre el nivel del mar	19685 pies (6000 m)
Resistencia máxima a la velocidad del viento	10 m / s
Tiempo máximo de vuelo	Aprox. 30 minutos
Rango de temperatura de funcionamiento	32 ° a 104 ° F (0 ° a 40 ° C)
Sistemas de posicionamiento por satélite	GPS / GLONASS
Rango de precisión de desplazamiento	Vertical: ± 0,1 m (con posicionamiento visual) ± 0,5 m (con posicionamiento GPS) Horizontal: ± 0,3 m (con posicionamiento visual) ± 1,5 m (con posicionamiento GPS)

Sistema de visión

Sistema de visión	Sistema de visión hacia adelante Sistema de visión hacia atrás Sistema de visión hacia abajo
Rango de velocidad	≤31 mph (50 kph) a 6,6 pies (2 m) sobre el suelo
Rango de altitud	0 - 33 pies (0 - 10 m)
Rango de operación	0 - 33 pies (0 - 10 m)
Rango sensorial del obstáculo	2 - 98 pies (0,7 - 30 m)
FOV	Adelante: 60 ° (horizontal), ± 27 ° (vertical) Hacia atrás: 60 ° (horizontal), ± 27 ° (vertical) Hacia abajo: 70 ° (delantero y trasero), 50 ° (izquierda y derecha)
Frecuencia de medición	Adelante: 10 Hz Hacia atrás: 10 Hz Hacia abajo: 20 Hz
Entorno operativo	Superficie con patrón claro e iluminación adecuada (lux > 15)
Cámara	
Sensor	1'' CMOS Píxeles efectivos: 20 M
Lente	FOV 84 ° 8,8 mm / 24 mm (equivalente al formato de 35 mm) f / 2,8 - f / 11 enfoque automático a 1 m - ∞
Rango ISO	Video: 100 - 3200 (automático) 100 - 6400 (Manual) Foto: 100 - 3200 (automático) 100- 12800 (Manual)
Velocidad de obturación mecánica	8-1 / 2000 s
Velocidad de obturación electrónica	8 - 1/8000 s
Tamaño de la imagen	Relación de aspecto 3: 2: 5472 × 3648 Relación de aspecto 4: 3: 4864 × 3648 Relación de aspecto 16: 9: 5472 × 3078 4096 × 2160 (4096 × 2160 24/25/30/48 / 50p) 3840 × 2160 (3840 × 2160 24/25/30/48/50 / 60p)
Tamaño de imagen PIV	2720 × 1530 (2720 × 1530 24/25/30/48/50 / 60p) 1920 × 1080 (1920 × 1080 24/25/30/48/50/60 / 120p) 1280 × 720 (1280 × 720 24/25/30/48/50/60 / 120p)
Modos de fotografía fija	Un solo tiro Disparo en ráfaga: 3/5/7/10/14 fotogramas Horquillado de exposición automática (AEB): 3/5 fotogramas horquillados con sesgo de 0,7 EV Intervalo: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s

	H.265
	C4K: 4096 × 2160 24/25 / 30p a 100 Mbps
	4K: 3840 × 2160 24/25 / 30p a 100 Mbps
	2.7K: 2720 × 1530 24/25 / 30p @ 65Mbps
	2.7K: 2720 × 1530 48/50 / 60p @ 80Mbps
	FHD: 1920 × 1080 24/25 / 30p a 50 Mbps
	FHD: 1920 × 1080 48/50 / 60p @ 65Mbps
	FHD: 1920 × 1080 120p a 100 Mbps
	HD: 1280 × 720 24/25 / 30p a 25 Mbps
	HD: 1280 × 720 48/50 / 60p @ 35Mbps
	HD: 1280 × 720 120p a 60 Mbps
Modos de grabación de video	
	H.264
	C4K: 4096 × 2160 24/25/30/48/50 / 60p a 100 Mbps
	4K: 3840 × 2160 24/25/30/48/50 / 60p a 100 Mbps
	2.7K: 2720 × 1530 24/25 / 30p @ 80Mbps
	2.7K: 2720 × 1530 48/50 / 60p @ 100Mbps
	FHD: 1920 × 1080 24/25 / 30p a 60 Mbps
	FHD: 1920 × 1080 48/50/60 @ 80 Mbps
	FHD: 1920 × 1080 120p a 100 Mbps
	HD: 1280 × 720 24/25 / 30p @ 30Mbps
	HD: 1280 × 720 48/50 / 60p a 45 Mbps
	HD: 1280 × 720 120p a 80 Mbps
Tasa de bits de video máxima	100 Mbps
Sistemas de archivos compatibles	FAT32 (≤32 GB); exFAT (> 32 GB)
Foto	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Video	MP4 / MOV (AVC / H.264; HEVC / H.265)
Tarjetas SD compatibles	Micro SD Capacidad máxima: 128 GB Velocidad de escritura ≥15 MB / s, se requiere clasificación Clase 10 o UHS-1
Rango de temperatura de funcionamiento	32 ° a 104 ° F (0 ° a 40 ° C)
Cargador	
Voltaje	17,4 V
Potencia nominal	100 W.
Aplicación / Vista en vivo	
Aplicación movil	DJI GO 4
Frecuencia de trabajo de visualización en vivo	ISM de 2,4 GHz, ISM de 5,8 GHz
Calidad de visualización en vivo	720P a 30 fps

Latencia	Phantom 4 Pro: 220 ms (según las condiciones y el dispositivo móvil) Phantom 4 Pro +: 160 - 180 ms
-----------------	---

Rastas

Estabilización	3 ejes (cabeceo, balanceo, guiñada)
Rango controlable	Paso: -90 ° a + 30 °
Velocidad angular máxima controlable	Paso: 90 ° / s
Rango de vibración angular	±0.02°

Sistema de detección de infrarrojos

Rango sensorial del obstáculo	0,6 - 23 pies (0,2 - 7 m)
FOV	70° (Horizontal), ±10° (Vertical)
Frecuencia de medición	10 Hz
Entorno operativo	Superficie con material de reflexión difusa y reflectividad > 8% (como paredes, árboles, humanos, etc.)

Control remoto

Frecuencia de operación	2.400 - 2.483 GHz y 5.725 - 5.825 GHz 2.400 - 2.483 GHz (sin obstáculos, sin interferencias) FCC: 7 km (4,3 mi) EC: 3,5 km
Distancia de transmisión máxima	SRRC: 4 km 5.725 - 5.825 GHz (sin obstrucciones, sin interferencias) FCC: 7 km (4,3 mi) EC: 2 km SRRC: 5 km
Rango de temperatura de funcionamiento	32 ° a 104 ° F (0 ° a 40 ° C)
Batería	6000 mAh LiPo 2S 2.400 - 2.483 GHz FCC: 26 dBm CE: 17 dBm SRRC: 20 dBm
Potencia del transmisor (EIRP)	MICRÓFONO: 17 dBm 5.725 - 5.825 GHz FCC: 28 dBm CE: 14 dBm SRRC: 20 dBm PEQUEÑO: -

Corriente / voltaje de funcionamiento	1,2 A@7,4 V
Puerto de salida de video	GL300E: HDMI GL300F: USB
Soporte para dispositivo móvil	GL300E: dispositivo de visualización integrado (pantalla de 5,5 pulgadas, 1920×1080 , $1000 \text{ cd} / \text{m}^2$, sistema Android, 4 GB de RAM + 16 GB de ROM) GL300F: tabletas y teléfonos inteligentes

Batería de vuelo inteligente

Capacidad	5870 mAh
Voltaje	15,2 V
Tipo de Batería	LiPo 4S
Energía	89,2 Wh
Peso neto	468 gramos
Rango de temperatura de carga	41 ° a 104 ° F (5 ° a 40 ° C)
Potencia de carga máxima	160 W.

**APENDICE 3: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA
ESTACION TOTAL TRIMBLE 5603 DR200+**

ESPECIFICACIONES DE RENDIMIENTO

Medición de ángulos

Precisión (Desviación típica basada en DIN 18723)

5603 3" (1,0 mgon)

Lectura de ángulo (cuenta mínima) Horizontal y vertical

Medición estándar 1" (0,1 mgon)

Estándar rápida 1" (0,1 mgon)

Rastreo 2" (0,5 mgon)

Valor medio aritmético (D-bar) 5602–5605

Ángulo horizontal y vertical 1" (0,1 mgon)

Compensador de nivelación automática Compensador de dos ejes $\pm 6'$ (± 100 mgon)



Medición de distancias

➤ Precisión (desviación típica) Prisma

Medición estándar $\pm(3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,01 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

Estándar rápida $\pm(8 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,025 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

Rastreo $\pm(10 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,032 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

Valor medio aritmético (D-bar) $\pm(3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,01 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

➤ Lámina reflexiva

Medición estándar $\pm(3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,01 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

Estándar rápida $\pm(8 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,025 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

Rastreo $\pm(10 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,032 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

Valor medio aritmético (D-bar) $\pm(3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,01 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

➤ Modo Reflexión directa

5–200 m (16,4 pies–656 pies)

Medición estándar $\pm(3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,01 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

Estándar rápida $\pm(8 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,025 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

Rastreo $\pm(10 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,032 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

Valor medio aritmético (D-bar) $\pm(3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,01 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

>200 m (656 pies) $\pm(5 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}) \pm(0,016 \text{ pies} + 3 \text{ ppm})$

➤ Distancia más corta posible

Al prisma 2 m (6,56 pies)

Reflexión directa 2 m (6,56 pies)

Lámina reflexiva	2 m (6,56 pies)
➤ Tiempo de medición Modo Prisma	
Medición típica	3 s
Estándar rápida	3 s
Rastreo	0,4 s
Valor medio aritmético (D-bar)	3,5 s por medición Se repite hasta pararlo manualmente (o después de realizar 99 mediciones)
➤ Modo Reflexión directa	
Medición estándar	3–7 s
Estándar rápida	3–7 s
Rastreo	0,4 s
Valor medio aritmético (D-bar)	3,5 s por medición Se repite hasta pararlo manualmente (o después de realizar 99 mediciones)
Distancia (estándar clara*)	
Distancia utilizando un prisma	
1 prisma	2 .500 m (8 200 pies)
Modo Largo alcance con 1 prisma	5 .500 m (18 .040 pies) (alcance máx)
3 prismas	2 .500 m (8 200 pies)
Modo Largo alcance con 3 prismas	5 .500 m (18 .040 pies) (alcance máx)
➤ Medición de distancias con reflexión directa (típica)	
Tarjeta Kodak Gray (con un nivel de reflexión del 18%)**	>200 m (656 pies)
Tarjeta Kodak Gray (con un nivel de reflexión del 90%)**	>600 m (1 968 pies)
Concreto (hormigón)	200–300 m (656–984 pies)
Construcción de madera	150–300 m (492–984 pies)
Construcción metálica	150–200 m (492–656 pies)
Rocas claras	150–250 m (492–820 pies)
Rocas oscuras	100–150 m (328–492 pies)
Distancia utilizando una lámina reflexiva en el modo Reflexión directa	
Lámina reflexiva 20 mm	800 m (2 624 pies)
Lámina reflexiva 60 mm	1 .600 m (5 248 pies)

* Estándar clara: Cuando está nublado o cuando hay luz solar moderada sin resplandor y sin niebla. La distancia y la precisión dependen de las condiciones atmosféricas y la radiación de fondo.

** Tarjeta Kodak Gray, catálogo número E1527795.