



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y**  
**AGRIMENSURA**



**PRECISIÓN EN EL CALCULO DE VOLÚMENES UTILIZANDO  
VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS DE ALA FIJA Y DE ALA  
ROTATORIA EN CONTRASTACIÓN CON ESTACIÓN TOTAL,  
EN EL DISTRITO DE CALAPUJA PROVINCIA DE LAMPA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. JORGE HOLGUIN MAMANI MORALES**

**Bach. ABAD KENER PLATERO LERMA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico en memoria a mi querido padre quien en vida fue Lic. Mateo Mamani Anquises, de igual manera a mi madre Beatriz Morales viuda de Mamani por haberme brindado una educación con valores para ser un profesional de excelencia, a mi querida pareja Sany e hija Nayla por ser el pilar de mi vida, fortaleza, vigor y voluntad.

*Jorge Holguin*



## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se la dedico a mis padres Lizandro Platero Sucso y Margarita Lerma Yapuchura, con mucho amor y respeto, quienes han sido los mejores guías en mi vida impulsándome a ser un profesional con valores. A las personas que siempre me apoyaron en mi formación universitaria Gretel, Dania y Vianca, las que me inspiraron para alcanzar un logro más en esta vida.

*Abad Kener*



## AGRADECIMIENTOS

- Agradecemos a la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO alma mater de la región Puno por la formación académica de excelencia, en tan prestigiosa casa superior de estudios, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a su Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura.
- Agradecemos a la plana docente de la Escuela Profesional de INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y AGRIMENSURA de la Universidad Nacional del Altiplano, por transmitirnos sus conocimientos y sus enseñanzas durante los años de nuestra formación profesional.
- Al ingeniero Saúl Sardón Flores, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica Agrimensura de la UNA – Puno, por su asesoramiento y orientación en la ejecución de la presente investigación.





## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN .....	17
ABSTRACT.....	18
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	19
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2.1. Pregunta general.....	20
1.2.2. Preguntas específicas .....	20
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
1.3.1. Hipótesis general.....	21
1.3.2. Hipótesis específicas .....	21
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	21
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.5.1. Objetivo general .....	22
1.5.2. Objetivos específicos .....	22



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	MARCO TEÓRICO.....	23
2.1.1.	Volumen.....	23
2.1.2.	Movimiento de tierras .....	24
2.1.3.	Diseño de explanadas, terrazas o plataformas.....	25
2.1.4.	Métodos tradicionales de cálculos de volúmenes de tierra .....	28
2.1.5.	Métodos de cálculo de volúmenes de tierra mediante AutoCAD civil 3D.....	30
2.1.6.	Sistema de coordenadas WGS 84 .....	33
2.1.7.	Fotogrametría .....	33
2.1.8.	Clasificación de la fotogrametría .....	34
2.1.9.	Modelos digitales de elevaciones.....	35
2.1.10.	Ortofotos .....	39
2.1.11.	Plan de vuelo .....	41
2.1.12.	Control terrestre del vuelo.....	48
2.1.13.	Ejecución del vuelo .....	51
2.1.14.	Estación total.....	52
2.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	52
2.2.1.	Cálculo de volúmenes .....	52
2.2.2.	Sistema de posicionamiento global (GPS).....	52
2.2.3.	Georreferenciación .....	53
2.2.4.	Vehículos aéreos no tripulados .....	53
2.2.5.	UAV de ala fija .....	53
2.2.6.	UAV de ala rotatoria .....	54



2.2.7. Cámaras.....	54
2.2.8. Píxel.....	54
2.2.9. Imágenes JPG.....	55
2.2.10. Resolución de imagen .....	55
2.2.11. AutoCAD civil 3D .....	55

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. MATERIALES E INSTRUMENTOS .....	56
3.1.1. Ubicación geográfica .....	56
3.1.2. Ubicación UTM .....	56
3.1.3. Ubicación política .....	56
3.1.4. Vías de acceso .....	56
3.1.5. Materiales e instrumentos .....	58
3.1.6. Equipos.....	58
3.1.7. Software empleado.....	59
3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO .....	59
3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO.....	60
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO .....	60
3.4.1. Población.....	60
3.4.2. Muestra.....	60
3.4.3. Instrumentos de observación.....	61
3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO .....	61
3.6. PROCEDIMIENTOS .....	63
3.6.1. Flujograma de los trabajos en campo y gabinete .....	63
3.6.2. Reconocimiento y ubicación del área de estudio .....	64



3.6.3.	Monumentación de los puntos de control geodésicos.....	64
3.6.4.	Georreferenciación de los PCG y obtención de datos.....	65
3.6.5.	Levantamiento topográfico con estación total .....	66
3.6.6.	Diseño del plan de vuelo .....	71
3.6.7.	Ejecución del vuelo fotogramétrico con el dron de ala rotatoria .....	73
3.6.8.	Ejecución del vuelo fotogramétrico con el dron de ala fija.....	76
3.6.9.	Procesamiento de datos obtenidos del levantamiento topográfico .....	79
3.6.10.	Procesamiento de datos obtenidos de los vuelos fotogramétricos .....	86
3.7.	VARIABLES .....	108
3.7.1.	Variable independiente.....	108
3.7.2.	Variable dependiente.....	108
3.8.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	109
3.8.1.	Análisis de los resultados para el primer objetivo específico .....	109
3.8.2.	Análisis de los resultados para el segundo objetivo específico.....	109
3.8.3.	Técnica de recolección de datos.....	110

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	RESULTADOS.....	111
4.1.1.	Datos obtenidos con la estación total y vuelo con RPAS ala fija eBee Sensefly .....	111
4.1.2.	Datos obtenidos con la estación total y vuelo con RPAS ala rotatoria Phantom 4 PRO.....	112
4.1.3.	Diferencia de coordenadas norte, este y elevación en Datos obtenidos con la estación total y vuelo con RPAS ala fija eBee Sensefly .....	113



4.1.4.	Diferencia de coordenadas norte, este y elevación en Datos obtenidos con la estación total y vuelo con RPAS ala rotatoria Phantom 4 PRO .	114
4.2.	PRUEBA DE HIPÓTESIS 1.....	115
4.2.1.	Planteamiento de hipótesis .....	115
4.2.2.	Nivel de significancia en la precisión de coordenadas.....	115
4.2.3.	Prueba estadística con R Project, para precisión de datos.....	115
4.2.4.	Aplicación del software R para cálculos estadísticos .....	116
4.2.5.	Cálculo matemático.....	126
4.2.6.	Análisis.....	128
4.3.	PRUEBA DE HIPÓTESIS 2.....	128
4.3.1.	Planteamiento de hipótesis .....	128
4.3.2.	Cálculo matemático.....	128
4.3.3.	Análisis.....	131
4.4.	DISCUSION .....	131
	<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>133</b>
	<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>134</b>
	<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>136</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>139</b>

**Área** : Fotogrametría

**Tema** : Topografía, Geodesia, Cartografía y Catastro

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 DE MARZO DEL 2021**



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Ubicación geográfica del lugar de estudio.....	56
<b>Tabla 2.</b> Ubicación del lugar de estudio.....	56
<b>Tabla 3.</b> Ubicación geográfica del lugar de estudio.....	56
<b>Tabla 4.</b> Materiales e instrumentos utilizados en el estudio .....	58
<b>Tabla 5.</b> Equipos utilizados en el estudio.....	58
<b>Tabla 6.</b> Software utilizados en el estudio .....	59
<b>Tabla 7.</b> Coordenadas Geográficas de los PCGs.....	65
<b>Tabla 8.</b> Factor escala de los PCGs.....	65
<b>Tabla 9.</b> Factor escala de los PCGs.....	66
<b>Tabla 10.</b> Coordenadas de los puntos de comparación .....	69
<b>Tabla 11.</b> Coordenadas de la poligonal de ajuste.....	70
<b>Tabla 12.</b> Volumen con datos obtenidos por la estación total .....	85
<b>Tabla 13.</b> Tiempo empleado - estación total .....	86
<b>Tabla 14.</b> Volumen calculado con datos obtenidos por el RPA eBee senseFly.....	106
<b>Tabla 15.</b> Volumen calculado con datos obtenidos por el RPA Phantom 4 PRO.....	106
<b>Tabla 16.</b> Tiempo empleado – RPA ala fija.....	107
<b>Tabla 17.</b> Tiempo empleado – RPA ala rotatoria.....	108
<b>Tabla 18.</b> Cuadro comparativo de coordenadas entre estación total y RPA ala fija ..	111
<b>Tabla 19.</b> Cuadro comparativo de coordenadas entre estación total y RPA ala rotatoria .....	112
<b>Tabla 20.</b> Diferencia entre datos de estación total y RPA de ala fija.....	113
<b>Tabla 21.</b> Diferencia entre datos de estación total y RPA de ala rotatoria.....	114
<b>Tabla 22.</b> Datos para el análisis estadístico con R (1) .....	117



<b>Tabla 23.</b> Datos para el análisis estadístico con R (2) .....	118
<b>Tabla 24.</b> Volúmenes obtenidos con estación total y RPAS de ala fija .....	127
<b>Tabla 25.</b> Volúmenes obtenidos con estación total y RPAS de ala rotatoria.....	127
<b>Tabla 26.</b> Tiempos de trabajos en campo y gabinete en h:m:s .....	128
<b>Tabla 27.</b> Tiempos de trabajos en campo en horas .....	128
<b>Tabla 28.</b> Tiempos de trabajos en gabinete en horas .....	129
<b>Tabla 29.</b> Tiempos de trabajos en campo y gabinete en horas.....	130



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Método gráfico para determinar la cota de referencia para cálculo de volumen .....	27
<b>Figura 2.</b> Método analítico para determinar la cota de terreno .....	28
<b>Figura 3.</b> Método de secciones (caso corte y relleno) para cálculo de volumen.....	29
<b>Figura 4.</b> Método de secciones (caso corte y relleno en ladera) para cálculo de volumen .....	30
<b>Figura 5.</b> Método de volumen compuesto con Civil 3D para cálculo de volumen...	32
<b>Figura 6.</b> Esquema de la clasificación de la fotogrametría .....	34
<b>Figura 7.</b> Imagen de un Modelo Digital de Elevaciones.....	36
<b>Figura 8.</b> Imagen de un Modelo Digital de Superficie.....	36
<b>Figura 9.</b> Imagen de un TIN.....	37
<b>Figura 10.</b> Métodos para la generación de los MDE.....	38
<b>Figura 11.</b> Proceso de interpolación.....	38
<b>Figura 12.</b> Resultado de la rectificación.....	39
<b>Figura 13.</b> Resultado de la orto proyección .....	40
<b>Figura 14.</b> Fases del proceso de realización de la ortofoto .....	40
<b>Figura 15.</b> Relación base/altura de una fotografía .....	42
<b>Figura 16.</b> Toma fotográfica aérea.....	43
<b>Figura 17.</b> Toma fotográfica de un modelo.....	44
<b>Figura 18.</b> Superficie cubierta por una fotografía .....	44
<b>Figura 19.</b> Mapa de vuelo ideal.....	45
<b>Figura 20.</b> Recubrimiento transversal entre pasadas adyacentes .....	45
<b>Figura 21.</b> Relación GSD y Altura de vuelo .....	47





<b>Figura 22.</b>	Interpretación para el cálculo del GSD.....	48
<b>Figura 23.</b>	Vista satelital de la vía de acceso al lugar de estudio .....	57
<b>Figura 24.</b>	Vista satelital de los PCGs monumentados .....	64
<b>Figura 25.</b>	Toma de datos en el PCG JCA7 en la plaza de armas de Juliaca.....	66
<b>Figura 26.</b>	Estacionamiento del equipo en el punto de control P-1 .....	67
<b>Figura 27.</b>	Toma de datos en con la estación total por el método de radiación .....	70
<b>Figura 28.</b>	Configuración de parámetros de vuelo en el software eMotion .....	72
<b>Figura 29.</b>	Verificación de los traslapes establecidos para el vuelo con en el Phantom 4 PRO .....	73
<b>Figura 30.</b>	Vista de la Configuración de para la ejecución del vuelo con altura de vuelo 100m, GSD 2.74 cm/pixel y velocidad del vuelo 7 m/s .....	74
<b>Figura 31.</b>	Verificación de que el dron, el control remoto y la antena wifi estén enlazados en la misma red .....	75
<b>Figura 32.</b>	Vista de la ejecución del vuelo, trayectoria que sigue el RPA .....	75
<b>Figura 33.</b>	Verificación de la información del trabajo área, tiempo y número de fotos obtenidos.....	76
<b>Figura 34.</b>	Vista del software eMotion 2.....	76
<b>Figura 35.</b>	Vista del enlace del software eMotion 2 con el RPAS Ebee Sensefly .....	77
<b>Figura 36.</b>	Vista del PLAN DE VUELO en el software eMotion 2 enlazado con el RPAS Ebee Sensefly .....	77
<b>Figura 37.</b>	Vista de la configuración de los parámetros de vuelo .....	78
<b>Figura 38.</b>	Vista de la configuración de traslapes y resolución de imagen.....	78
<b>Figura 39.</b>	Vista del lanzamiento del RPAS para completar la toma de imágenes con los parámetros establecidos .....	79
<b>Figura 40.</b>	Creación de la superficie del terreno .....	81



<b>Figura 41.</b>	Delimitación del área de trabajo para la explanada.....	82
<b>Figura 42.</b>	Creación de la superficie de la explanada .....	82
<b>Figura 43.</b>	Creación de perfil longitudinal y secciones.....	83
<b>Figura 44.</b>	Vista de la elección del método de cálculo.....	84
<b>Figura 45.</b>	Vista de la creación de carpeta de trabajo en el ordenador .....	88
<b>Figura 46.</b>	Vista de la importación de fotografías al software .....	88
<b>Figura 47.</b>	Vista de la configuración orientación de fotografías.....	89
<b>Figura 48.</b>	Vista de la importación de los Puntos de Control Terrestre en formato *.csv .....	90
<b>Figura 49.</b>	Vista de la ubicación de los Puntos de Control Terrestre con sus marcadores respectivos.....	91
<b>Figura 50.</b>	Vista del ajuste en cada imagen para mayor precisión.....	91
<b>Figura 51.</b>	Vista de la creación de la nube de puntos densa.....	92
<b>Figura 52.</b>	Vista de la optimización de orientación de la cámara .....	93
<b>Figura 53.</b>	Criterios para clasificación de nube de puntos .....	94
<b>Figura 54.</b>	Vista de la creación del Modelo Digital de Terreno.....	95
<b>Figura 55.</b>	Vista de la creación del Ortomosaico .....	96
<b>Figura 56.</b>	Vista de la exportación de nube de puntos densa en formato *.LAS .....	96
<b>Figura 57.</b>	Vista de la exportación del Ortomosaico RPAS ala rotatoria. ....	97
<b>Figura 58.</b>	Vista de la exportación del Ortomosaico RPAS ala fija en formato *.PNG .....	98
<b>Figura 59.</b>	Importación de nube de puntos.....	99
<b>Figura 60.</b>	Exportación de puntos en formato legible por AutoCAD (.rcp) .....	99
<b>Figura 61.</b>	Configuración del sistema de coordenadas en AutoCAD civil 3d .....	100
<b>Figura 62.</b>	Importación de nube de puntos al AutoCAD civil 3d .....	101



<b>Figura 63.</b>	Creación de la superficie topográfica .....	102
<b>Figura 64.</b>	Ingreso de parámetros para la creación de la superficie del terreno.....	102
<b>Figura 65.</b>	Creación de la superficie de la plataforma .....	103
<b>Figura 66.</b>	Creación del alineamiento en el eje de la plataforma.....	103
<b>Figura 67.</b>	Creación del perfil longitudinal.....	104
<b>Figura 68.</b>	Creación de secciones transversales .....	105
<b>Figura 69.</b>	Correlación en “Este” entre Estación total y RPA de ala fija.....	119
<b>Figura 70.</b>	Correlación en “Norte” entre Estación total y RPA de ala fija .....	120
<b>Figura 71.</b>	Correlación en “Elevación” entre Estación total y RPA de ala fija.....	121
<b>Figura 72.</b>	Correlación en “Este” entre Estación total y RPA de ala rotatoria .....	122
<b>Figura 73.</b>	Correlación en “Norte” entre Estación total y RPA de ala rotatoria .....	123
<b>Figura 74.</b>	Correlación en “Elevación” entre Estación total y RPA de ala rotatoria	124
<b>Figura 75.</b>	Correlación entre las mediciones obtenidas con la Estación Total y con el Dron de Ala Fija .....	125
<b>Figura 76.</b>	Correlación entre las mediciones obtenidas con la Estación Total y con el Dron de Ala Rotatoria.....	126
<b>Figura 77.</b>	Volúmenes estación total y RPAS de ala fija.....	127
<b>Figura 78.</b>	Volúmenes estación total y RPAS de ala rotatoria.....	127
<b>Figura 79.</b>	Tiempo en los trabajos de campo .....	129
<b>Figura 80.</b>	Tiempo en los trabajos de gabinete .....	129
<b>Figura 81.</b>	Tiempo en los trabajos de campo y gabinete.....	130



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- GNSS** : Global Navigation Satelital System (Sistema Global de Navegación por Satélite)
- GPS** : Global Positionig System (Sistema de posicionamiento Global)
- GSD** : Ground Sample Distance (Distancia de Muestra de Tierra)
- IGN** : Instituto Geográfico Nacional
- MDE** : Modelo Digital de Elevaciones
- MDT** : Modelo Digital de Terreno
- MTC** : Ministerio de Transportes y Comunicaciones
- PCG** : Puntos de Control Geodésico
- REGGEN:** Red Geodésica Geocéntrica Nacional
- RPA** : Remotely Piloted Aircraft (Aeronave Pilotada a Distancia)
- RPAS** : Remotely Piloted Aircraft System (Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada)
- SIG** : Sistema de Información Geográfica
- UAV** : Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo Aéreo no Tripulado)
- UAVS** : Unmanned Aerial Vehicle System (Sistema de Vehículos Aéreos no Tripulados)
- UTM** : Universal Transversal de Mercator
- WGS-84** : Wold Geodetic System 84 (Sistema Geodesico Mundial 1984)



## RESUMEN

La presente investigación titulada “Precisión en el cálculo de volúmenes utilizando vehículos aéreos no tripulados de ala fija y de ala rotatoria en contrastación con estación total, en el distrito de Calapuja provincia de Lampa”, se ubica entre las coordenadas UTM WGS-84 zona 19 L -Sur: Este 374164.9500, Norte 8300993.9500, a una altitud media de 3844.000 m.s.n.m. Los objetivos específicos fueron: a) Determinar el grado de precisión de la información obtenida del RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria en el cálculo de volúmenes en contrastación con una estación total, y b) Identificar el tiempo en el cálculo de volúmenes utilizando información RPAS ala fija y ala rotatoria. El tipo de investigación es relacional, el tratamiento estadístico fue mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Los resultados muestran que existe un alto grado de precisión de la información obtenida del vehículo aéreo no tripulado de ala fija y de ala rotatoria para el cálculo de volúmenes al contrastar con la estación total con una correlación mayor a 0.99990620. Asimismo, al comparar el tiempo en el cálculo se encontró que el tiempo es menor para el procedimiento del cálculo de volúmenes respecto al método convencional con estación total, presentando una diferencia de 3.7 horas como indicador mayor en un área de 1.00 Hectárea. En conclusión, las diferencias en precisión utilizando información RPAS ala fija y ala rotatoria en contraste con una estación total fueron mínimas, así como en el cálculo de volúmenes, y en cuanto a la comparación del tiempo de cálculo de volúmenes mediante la información obtenida por RPAS ala fija y ala rotatoria fue menor en comparación con la estación total respectivamente.

**Palabra clave:** Volumen, precisión, RPAS, estación total, GPS.



## ABSTRACT

The present investigation entitled "Accuracy in the calculation of volumes using unmanned aerial vehicles of fixed wing and rotary wing in contrast with total station, in the district of Calapuja province of Lampa", is located between the coordinates UTM WGS-84 zone 19 L -South: East 374 164.9500m, North 8300993.9500m, at an average altitude of 3844,000 meters above sea level The specific objectives were: a) To determine the degree of precision of the information obtained from the fixed-wing RPAS and rotary-wing RPAS in the calculation of volumes in contrast to a total station, and b) To identify the time in the calculation of volumes using information RPAS wing fixed and rotary wing. The type of research is relational, the statistical treatment was through Pearson's correlation coefficient. The results show that there is a high degree of precision in the information obtained from the fixed-wing and rotary-wing unmanned aerial vehicle for the calculation of volumes when comparing with the total station with a correlation greater than 0.99990620. Likewise, when comparing the time in the calculation, it was found that the time is shorter for the volume calculation procedure compared to the conventional method with a total station, presenting a difference of 3.7 hours as the largest indicator in an area of 1.00 Hectare. In conclusion, the differences in precision using RPAS fixed wing and rotary wing information in contrast to a total station were minimal, as well as in the calculation of volumes, and in terms of the comparison of the calculation time of volumes using the information obtained by RPAS fixed wing and rotary wing was lower compared to total station respectively.

**Keyword:** Volume, Accuracy, RPAS, Total Station, GPS.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente nos encontramos en una época de constante avance tecnológico, es así que gracias al desarrollo e innovación continua es que se cuenta con vehículos aéreos no tripulados (drones) que permiten obtener información para brindar soluciones eficientes a los desafíos que se nos presentan diariamente en actividades propias del quehacer profesional.

Una de las actividades más frecuentes en la ingeniería es el cálculo del movimiento de tierras necesarios para elaborar y ejecutar proyectos, en la que los profesionales de las áreas inherentes (Ingeniería Topográfica y Agrimensura y carreras afines) aplican los métodos de análisis, procesamiento y despliegue de información espacial a fin de obtener datos precisos y en menor tiempo, siendo de gran importancia realizar con precisión los cálculos de volúmenes de corte y relleno para el que se analiza el empleo de tecnologías exponenciales como son los RPAS (Remotely Piloted Aircraft System - Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada) donde se emplearon dos modelos de RPA (Remotely Piloted Aircraft - Aeronave Pilotada a Distancia) con diferentes características y parámetros para obtener datos; frente a ello se tiene la necesidad de comprobar, la precisión entre el método de medición indirecto empleando un RPA ala fija y un RPA ala rotatoria en el cálculo de volúmenes teniendo como testigo el método directo de precisión milimétrica empleando una estación total.

Asimismo, se requiere verificar la confianza del uso de los RPAS en el campo de la ingeniería, dentro del cual está el control de movimiento de tierras, actividad que



anteriormente se venía desarrollando con mediciones de la topografía tradicional, de metodologías comprobadas usando estación total o con el uso de teodolito y cinta métrica, las que están siendo superadas en la obtención de información precisa y en menor tiempo con la llegada de nuevas tecnologías.

Normalmente los levantamientos topográficos convencionales requieren de mucho tiempo en campo para su realización. Sin embargo, con el uso de RPAS este tiempo pretende ser optimizado y empleado en el procesamiento digital de imágenes en gabinete para generar los diferentes productos (MDE, MDS u ortofotos) para la elaboración y ejecución de proyectos.

En la presente investigación se evalúa el grado de precisión del RPAS de ala rotatoria (PHANTOM 4 PRO) y del RPAS de ala fija (eBee senseFLY), en el cálculo de volúmenes en contrastación con la estación total, asimismo, se demuestra que tan eficiente resulta su ejecución y aplicación en proyectos de ingeniería.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Pregunta general**

¿La precisión obtenida en la información de los RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria, es diferente al contrastar con la estación total en el cálculo de volúmenes?

### **1.2.2. Preguntas específicas**

- ¿Existe diferencia entre la precisión de la información obtenida con los RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria al contrastar con la estación total?
- ¿Cómo es el tiempo empleado en el cálculo de volúmenes, utilizando los datos obtenidos de los RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria respecto al tiempo empleado con la estación total?





### **1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Hipótesis general**

Existe diferencia entre la precisión de la información obtenida de los RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria al contrastar con la estación total en el cálculo de volúmenes.

#### **1.3.2. Hipótesis específicas**

- Existe diferencia entre la precisión de la información obtenida con los RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria al contrastar con la estación total.
- El tiempo empleado en el cálculo de volúmenes utilizando los datos obtenidos de los RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria, es menor con referencia al tiempo empleando los datos obtenidos con la estación total.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

Las Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPA por sus siglas en inglés) o comúnmente llamados drones, en la actualidad se han convertido en una gran herramienta para múltiples trabajos, dentro de las cuales están los levantamientos aerofotográficos de las cuales se obtienen información que servirá de base para la elaboración de planos topográficos, cartográficos y más.

La ingeniería, siempre se ha visto con la necesidad de determinar el movimiento de tierras (corte y relleno) en el diseño y ejecución de carreteras, diseño de presas, trabajos mineros y similares, para las cuales se han estado empleando métodos de intervención directa, poco precisas y de riesgo. La misma que se han ido superando con el pasar de los tiempos y el empleo de nuevas tecnologías. gracias al apoyo de la fotogrametría como herramienta esencial para elaborar cartografía y topografía desde años antes y en la



actualidad, que nos permite determinar las características físicas del terreno mediante mediciones a las misma fotografía o delimitaciones mediante coordenadas, se tiene previsto la determinación de la confiabilidad de tales mediciones. Si se trabaja con una foto se puede obtener de primera instancia información bidimensional, pero si se trabaja con más de dos fotos se podrá tener visión estereoscópica, es decir, información tridimensional.

Con la metodología adecuada se puede obtener información detallada de un área de trabajo en específico, obtención de modelos digitales de elevación que contengan información precisa, ortofotos en donde las dimensiones sean las precisas. Información que se logra en poco tiempo y con menores riesgos que con los métodos convencionales.

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar el grado de precisión de la información obtenida del RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria en contrastación con una estación total en el cálculo de volúmenes.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Comprobar la diferencia en precisión en el cálculo de volúmenes utilizando información obtenidas de RPAS ala fija y ala rotatoria en contrastación con la estación total.
- Identificar el tiempo del cálculo de volúmenes, mediante información de RPAS ala fija y ala rotatoria en contrastación con una estación total.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. Volumen

Se entiende por volumen a una magnitud métrica, euclidea y de tipo escalar, que se puede definir como la extensión de un objeto en sus tres dimensiones, es decir, tomando en cuenta su longitud, ancho y altura. Todos los cuerpos físicos ocupan un espacio que varía según sus proporciones, y la medida de dicho espacio es el volumen.

Para calcular el volumen de un objeto bastará con multiplicar su longitud por su ancho y por su altura, o en el caso de sólidos geométricos, aplicar determinadas fórmulas a partir del área y la altura u otras variables parecidas.

Por otro lado, dependiendo del estado de agregación de la materia y también de su temperatura, el volumen puede tomar diversas formas. Así, un cuerpo sólido posee un volumen fijo y determinado, mientras que los fluidos (líquidos y gases) no tienen un volumen fijo: se adaptan al espacio que los contenga. Debido a variaciones de temperatura, el volumen de los sólidos, gases y líquidos puede cambiar, en general se pueden expandir o contraer.

Por otro lado, dependiendo del estado de agregación de la materia y también de su temperatura, el volumen puede tomar diversas formas. Así, un cuerpo sólido posee un volumen fijo y determinado, mientras que los fluidos (líquidos y gases) no tienen un volumen fijo: se adaptan al espacio que los contenga. Debido a variaciones de



temperatura, el volumen de los sólidos, gases y líquidos puede cambiar, en general se pueden expandir o contraer (Raffino, 2020).

### 2.1.2. Movimiento de tierras

Los movimientos de tierra son aquellas acciones que realiza el hombre para variar o modificarla topografía de un área, faja o zona, con vistas a adaptarla al proyecto previamente confeccionado, generalmente de forma mecanizada, mediante el empleo de las maquinarias diseñadas especialmente con esta finalidad (Orta, 2013).

Estos se pueden clasificar en:

- **Conformaciones:** En estas no se produce una modificación sustancial de la topografía, generalmente se evitan cambios bruscos, que no existan oquedades, riscos, barrancos, etc., que dificulten o pongan en peligro la vida de las personas.
- **Explanaciones:** En éstas si se acometen grandes modificaciones de la topografía lo cual conlleva al movimiento de grandes volúmenes de tierras (excavaciones y rellenos). Las explanaciones se ejecutan realizando “Estructuras de Tierra y/o Roca” (E.T.). Estas no son más que rellenos contruidos con materiales térreos y/o pétreos naturales o artificiales (asimilables) compactados a máxima densidad, con el objetivo de servir de apoyo de las obras viales y estructurales.
- **Terraplenes y Terrazas:** Empleando materiales de relleno, generalmente usando suelos naturales de calidad adecuada. (desde los A- 1 hasta los A- 3 según clasificación AASHTO o HRB) (Tiktin, 1994).



### 2.1.3. Diseño de explanadas, terrazas o plataformas

#### 2.1.3.1. Recomendaciones para el diseño

Este es un método que se ajusta a aquellas explanaciones donde predomina el área respecto a la altura, es decir, es el adecuado para las terrazas, explanadas o plataformas. Su nombre o denominación surge al buscar un calificativo que permita emplear cualquier figura geométrica para subdividir el área de la terraza a calcular (en cuadrados, rectángulos, trapecios, triángulos, etc). Empíricamente se aconseja que las dimensiones de las cuadrículas (si son cuadradas) deben oscilar alrededor de 20 x 20 m lo cual asegura una aceptable precisión en los cálculos a su vez permite replantear y dirigir la ejecución de la misma satisfactoriamente en la fase constructiva y como es lógico, evitar cálculos innecesarios (Orta, 2013).

- Analizar la carta topográfica para seleccionar la posición idónea (aquella que garantice la máxima compensación posible y por lo tanto economía, buen drenaje, mínimas afectaciones medio ambientales, etc.).
- Definir adecuadas dimensiones y forma en planta (subdividirla en cuadrículas con dimensiones adecuadas procediendo a numerarlas correctamente y denotar sus vértices (se numeran de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo).
- Determinar por interpolación la Cota de Terreno en cada vértice de las cuadrículas (Cota Terreno = Cota Terreno Natural – Espesor Capa Vegetal).
- Definir la cota de rasante de referencia de la terraza, para ello se pueden emplear dos procedimientos analíticos y uno gráfico, que se explican posteriormente.



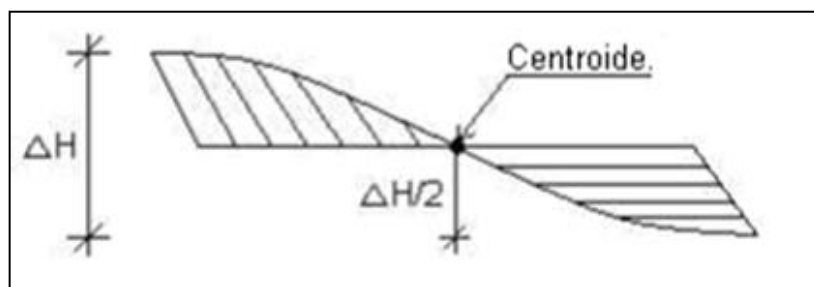
- Calcular las alturas ( $\pm h$ ) de cada vértice según:  $h = C \text{ rasante} - C \text{ terreno}$ . (si  $h$  (+) relleno y  $h$  (-) excavación), asegurando que la inclinación de la superficie de la explanada posea el drenaje adecuado (0,5 - 2%).
- Definir recorrido de la línea o líneas cero o de cambio de excavación a relleno en cada cuadrícula y en la explanada en general.
- Definir en planta la configuración de los taludes en corte y relleno, representándolos debidamente según normas de dibujo vigentes, confeccionando una vista en planta de la explanada o terraza.
- Diseño del Sistema de Drenaje Superficial. Una vez definidas las dimensiones de la superficie del área neta de la explanada o terraza, así como la pendiente o pendientes de la misma en cada vértice y de ésta en general, debe procederse a diseñar los dispositivos de drenaje superficial que completan el sistema de drenaje.
- Detectar los diferentes casos que pueden presentarse para el cálculo, agrupando las cuadrículas en las de: relleno, excavación y mixtas.
- Calcular los volúmenes de tierra de cada cuadrícula, según caso correspondiente, empleando las expresiones más usuales que aseguren la suficiente precisión.
- Calcular los volúmenes de tierra de los taludes según el caso o expresión correspondiente, lo que asegura la máxima precisión.
- Determinar los volúmenes totales de excavación y de relleno de la explanación.
- Resumir los cálculos en una Tabla Resumen (Orta, 2013).

Como se comentó en el paso # 4 se determina una cota de referencia (centroide) para lograr la compensación de tierras por varios procedimientos, los cuales se muestran a continuación:

- a. **Gráfico:** Consiste en determinar dicha cota sumándole a la cota mínima el término  $H/2$ , es decir, la altura media obtenida como la diferencia entre la máxima cota de terreno y la mínima, sumársela a la mínima cota de terreno de los vértices de las cuadrículas.

$$\Delta H = \text{Cota terreno máx.} - \text{Cota terreno mín.}$$

$$\text{Cota referencia} = \text{Cota terreno mín.} + \frac{\Delta H}{2}$$



**Figura 1.** Método gráfico para determinar la cota de referencia para cálculo de volumen

Fuente: Orta (2013).

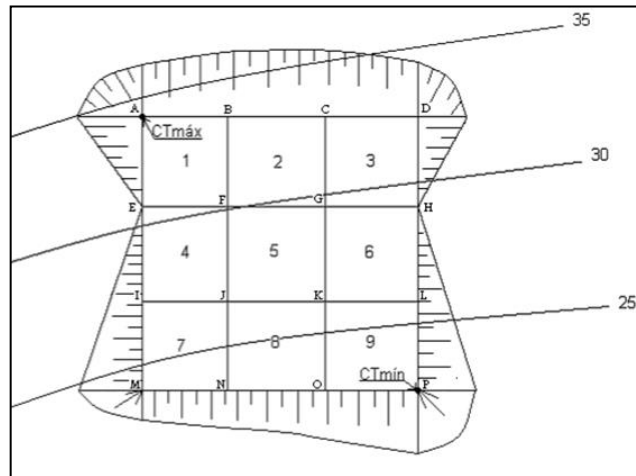
- b. **Analítico:** Consiste en calcular la cota de terreno mediante la media aritmética o por el promedio pesado.

- Por la Media Aritmética de las cotas terreno de cada vértice:

$$Ct_{media} = \sum \frac{Ct_i}{n}$$

- Media Ponderada: (por ejemplo, para la explanada mostrada seguidamente).

$$C_{tpp} = \frac{C_{tA} + 2C_{tB} + 2C_{tC} + C_{tD} + 2C_{tE} + 4C_{tF} + 4C_{tG} + 2C_{tH} + \dots + C_{tP}}{nt}$$



**Figura 2.** Método analítico para determinar la cota de terreno

Fuente: Orta (2013).

Es necesario agregar que no siempre la cota de rasante de la explanada será la que garantice la compensación de tierras, definiéndose la misma por otras razones como pueden ser: evitar su inundación por crecidas de ríos o arroyos aledaños, para garantizar un nivel obligado impuesto por obras existentes, etc., lo que puede originar terrazas totalmente en relleno, totalmente en excavación o parcialmente compensadas (Orta, 2013).

#### 2.1.4. Métodos tradicionales de cálculos de volúmenes de tierra

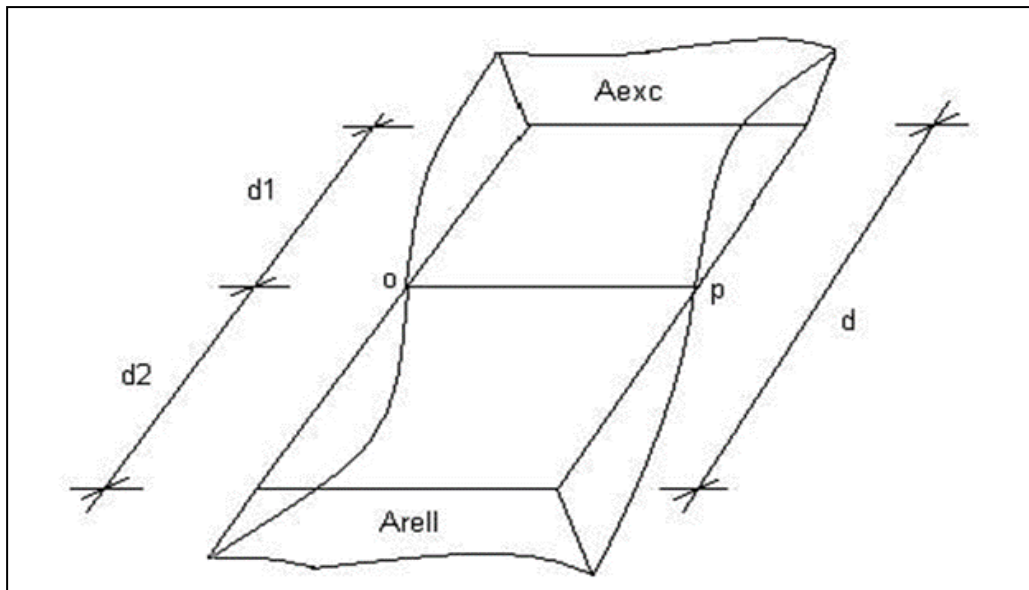
##### 2.1.4.1. Método de secciones

- a. Cuando dos secciones transversales consecutivas (en excavación o en relleno o terraplén) el volumen entre ambas secciones se calcula fácilmente por:

$$V = \left( \frac{A_e + A_r}{2} \right) \cdot d, m^3$$

- b. Cuando una sección está en excavación y la otra sección consecutiva está en relleno o terraplén:





**Figura 3.** Método de secciones (caso corte y relleno) para cálculo de volumen

Fuente: Orta (2013).

En este caso:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{A_r}{A_e}$$

Como:  $d=d_1+d_2$  , entonces:

$$d_1 - d \frac{A_r}{A_e + A_r}$$

$$d_2 - d_2 \frac{A_e}{A_e + A_r}$$

Como la línea o-p (línea cero o línea donde se produce el cambio de excavación a relleno) posee área nula:

$$V_{\text{rell}} = d_1 \left( \frac{A_r + 0}{2} \right) = d_1 \frac{A_r}{2}$$

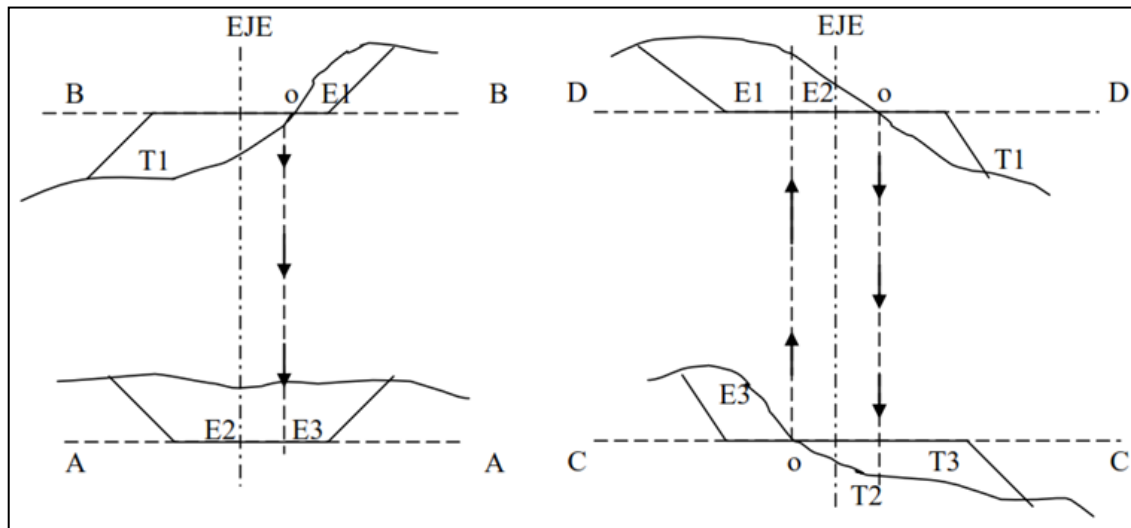
$$V_{\text{exc}} = d_2 \left( \frac{A_e + 0}{2} \right) = d_2 \frac{A_e}{2}$$

Sustituyendo y efectuando con los valores parciales de las distancias  $d_1$  y  $d_2$ :

$$V_{rell} = d/2 \frac{(A_R)^2}{A_e + A_r} m^3 \text{ compactados}$$

$$V_{exc} = d/2 \frac{(A_e)^2}{A_e + A_r} m^3 \text{ naturales}$$

Ahora bien, cuando ambas secciones transversales consecutivas están a media ladera o una a media ladera y la otra en excavación o relleno el procedimiento a seguir genera un nuevo caso.



**Figura 4.** Método de secciones (caso corte y relleno en ladera) para cálculo de volumen

Fuente: Orta (2013).

En este caso se realiza una “Construcción Auxiliar” subdividiéndose las áreas de las secciones a partir de los puntos de cambio de excavación a terraplén, para así poder aplicar las expresiones básicas explicadas (casos incisos a y b) (Orta, 2013).

### 2.1.5. Métodos de cálculo de volúmenes de tierra mediante AutoCAD civil 3D

Al calcular los materiales para un grupo de líneas de muestreo, se pueden utilizar tres métodos diferentes de cálculo de volumen: Área final media, Prismoidal o Volumen compuesto (AutoCAD Civil 3D, 2020).



- Si las áreas de desmonte y terraplén entre dos P.K. sucesivos tienen una forma similar, se puede utilizar el método de área final media.
- Si el terreno tiene cambios mayores entre los P.K., el método de prismoide puede ser más preciso.
- El método compuesto utiliza los datos de superficie reales y no utiliza fórmulas para interpolar el volumen entre las líneas de muestreo. Este método resulta especialmente útil si alguna de las aristas triangulares de la superficie es menor que el intervalo de líneas de muestreo.

- **Método área final media**

El método Average End Area (área final media) calcula volúmenes sumando el área de un tipo de material de un P.K. al área del tipo de material del P.K. siguiente, dividiendo la suma entre dos y, a continuación, multiplicando el resultado por la distancia entre las secciones (L) (AutoCAD Civil 3D, 2020).

$$V = \frac{L}{2} [A_1 + A_2]$$

- **Método prismoidal**

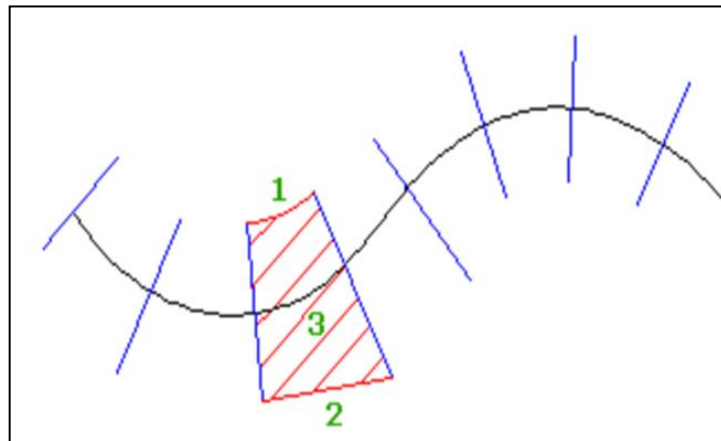
El método prismoidal es similar al método de área final media, pero utiliza una sección transversal adicional en el centro de los dos P.K. sucesivos (AutoCAD Civil 3D, 2020).

$$V = \frac{L}{3} [A_1 + \sqrt{A_1 A_2} + A_2]$$

- **Método de volumen compuesto**

El método compuesto se limita a las listas de materiales que tienen sólo dos superficies y no se puede utilizar en listas de materiales que contengan formas de obra lineal.

Para calcular volúmenes compuestos, AutoCAD Civil 3D crea polígonos entre las líneas de muestreo y, a continuación, calcula los volúmenes delimitados de estos polígonos. Los polígonos se crean mediante la unión de los desfases de las líneas de muestreo entre dos P.K. sucesivos, tal como se muestra en la ilustración siguiente.



**Figura 5.** Método de volumen compuesto con Civil 3D para cálculo de volumen

- Si los desfases son uniformes, se utiliza una línea que coincide con la curvatura de la línea de centro para unir las líneas de muestreo (1).
- Si los desfases no son uniformes, se utiliza una línea recta para unir las líneas de muestreo (2).
- A continuación, se calcula el volumen compuesto del área situada dentro del polígono (3) para cada material de la lista de materiales del grupo de líneas de muestreo.



El volumen se guarda en la segunda línea de muestreo del polígono. La primera línea de muestreo del grupo de líneas de muestreo, por tanto, tiene un volumen cero asociados (AutoCAD Civil 3D, 2020).

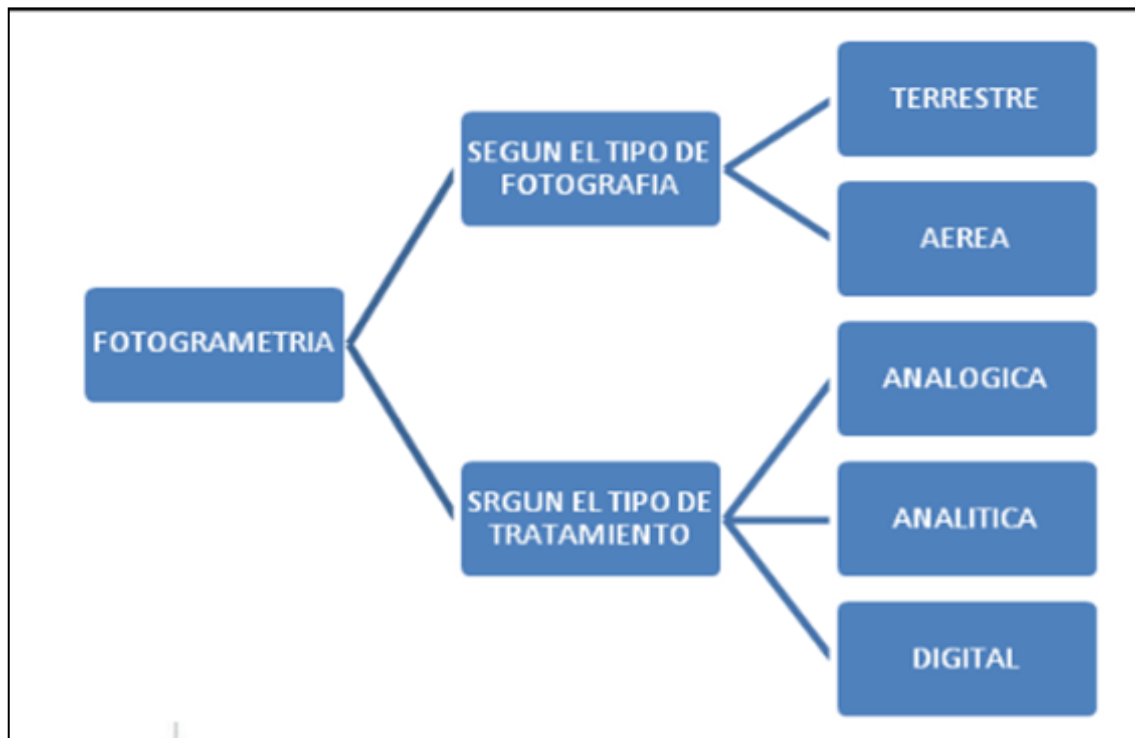
#### **2.1.6. Sistema de coordenadas WGS 84**

El WGS84 es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas. WGS84 son las siglas en inglés de World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984). Se trata de un sistema de referencia creado por la Agencia de Mapeo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América (Defence Mapping Agency - DMA).

#### **2.1.7. Fotogrametría**

Según Boneval, “La fotogrametría se define como “la técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías” (Quirós, 2014).

### 2.1.8. Clasificación de la fotogrametría



**Figura 6.** Esquema de la clasificación de la fotogrametría

Fuente: Universidad Nacional del Noreste, Fotointerpretación.

#### Según el tipo de fotografía

- **Fotogrametría Terrestre:** tiene su principal aplicación en la arquitectura y la arqueología y se basa en el principio de la toma de fotografías desde la tierra, como la hacemos habitualmente; donde la posición de la cámara y el objeto es perfectamente conocida.
- **Fotogrametría Aérea:** es la que utiliza fotografías aéreas tomadas desde una cámara de toma de vistas, ubicada en una plataforma especial (avión).

#### Según tipo de tratamiento

- **Fotogrametría analógica:** se basa en la utilización de aparatos de restitución ópticos o mecánicos, donde el operador realizaba la alineación de las imágenes



para crear un modelo estereoscópico debidamente nivelado y escalado. Por otro lado, la confección de mapas, con información planialtimétrica, se realizaba con el principio de la marca flotante o graficadoras basadas en este principio.

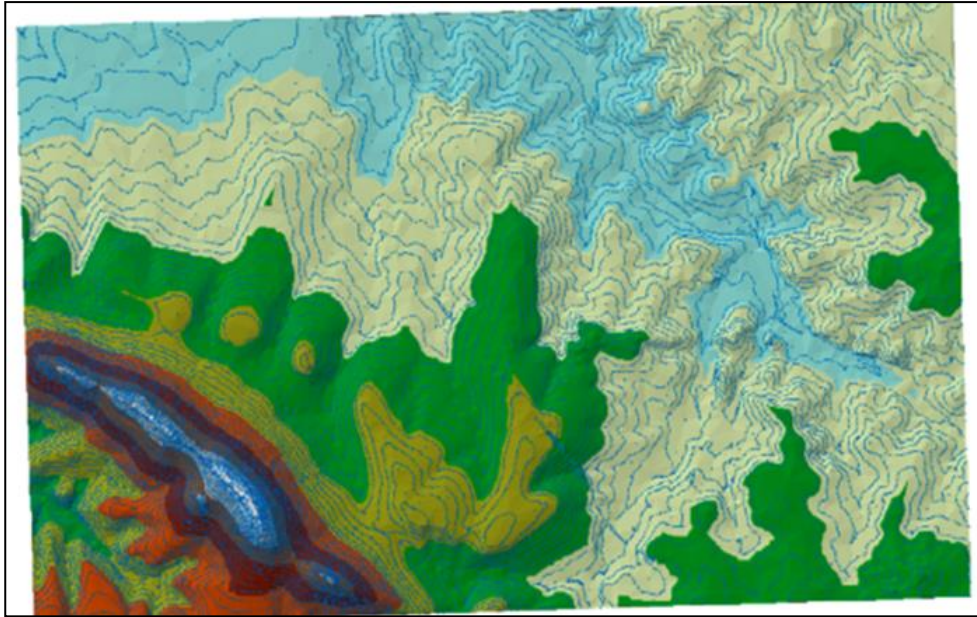
- **Fotogrametría analítica:** con la utilización de los restituidores analógicos y la incorporación de las computadoras se da inicio a la fotogrametría analítica. Se crea al restituidor analítico agilizando los tiempos y logrando niveles de detalle a diferentes escalas. Se posibilita el vuelco de la información a programas de tipo CAD.
- **Fotogrametría digital:** finalmente el avance tecnológico hizo posible llegar a la fotogrametría digital. El uso de las computadoras y los programas ó software aplicados dan origen a los modelos digitales del terreno 3D, etc.

#### 2.1.9. Modelos digitales de elevaciones

Son un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio, sea esta lo que sea.

Los modelos digitales del terreno Se pueden realizar muchos tipos de MDT, pero en nuestro caso, procede distinguir entre los siguientes modelos:

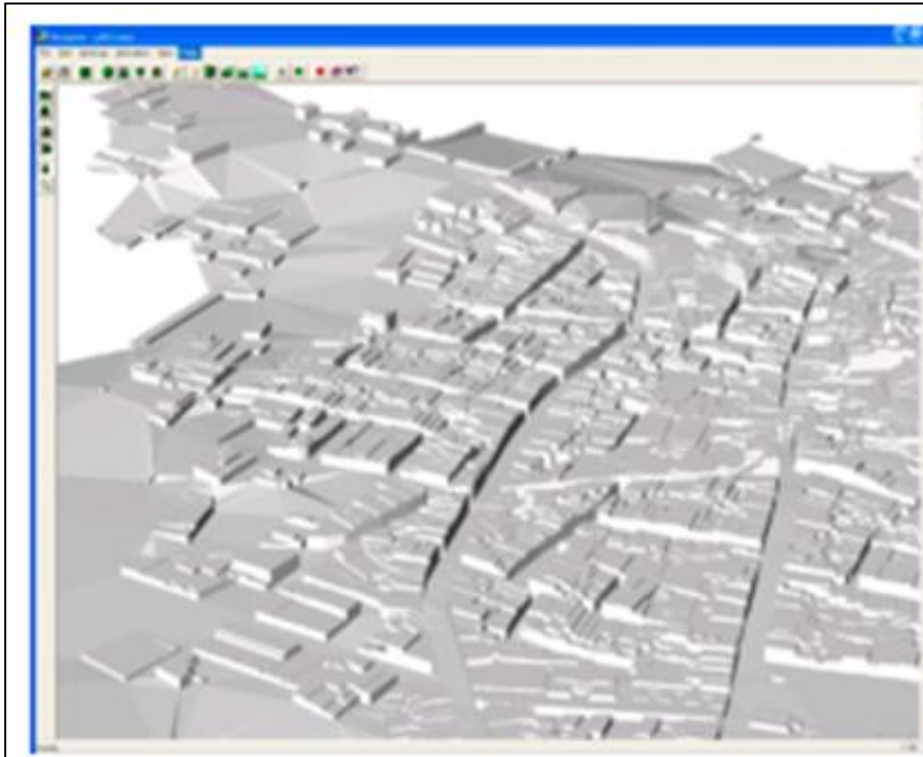
- **MDE, Modelo digital de Elevaciones:** Estructura numérico de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno (Quirós, 2014).



**Figura 7.** Imagen de un Modelo Digital de Elevaciones

Fuente: Quirós (2014).

- **MDS, Modelo Digital de Superficie:** Incluye las altitudes de los elementos elevados de la superficie, tales como edificios, árboles, etc.



**Figura 8.** Imagen de un Modelo Digital de Superficie

Fuente: Quirós (2014).

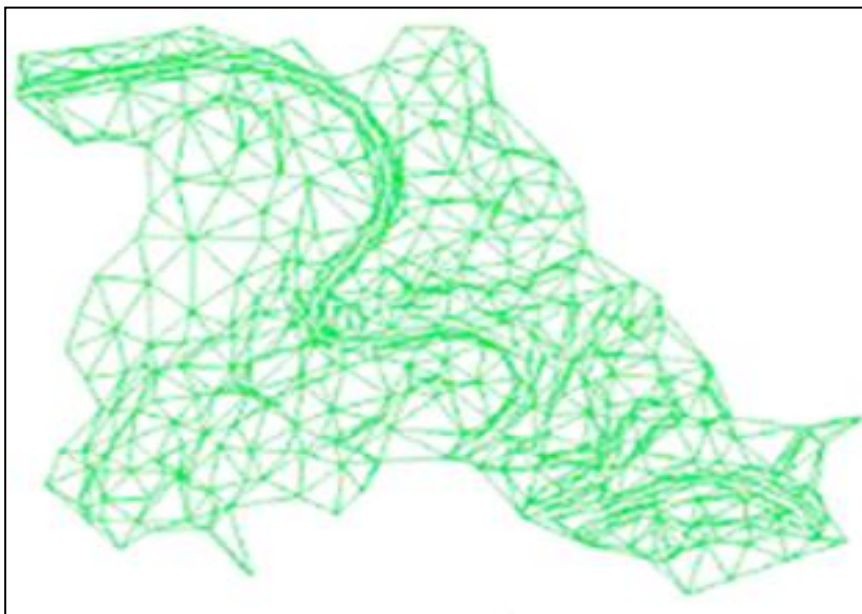


### 2.1.9.1. Estructura de datos de los MDE

En general, la unidad básica de información en un modelo digital de elevaciones es un punto acotado, definido por una terna compuesta por un valor de la altitud (Z) al que acompañan los correspondientes valores de X e Y.

Los mapas convencionales, utilizan las curvas de nivel para representar la superficie del terreno, pero los MDE pueden ser de dos tipos fundamentalmente.

- a. **MDE vectoriales:** Se basan en entidades geométricas y además de las ya conocidas curvas de nivel mostradas en la figura anterior, también podemos señalar los TIN como modelos vectoriales de información.
- b. **Estructuras Ráster:** Se basan en la representación del terreno por medio de estructuras matriciales regulares y constantes. Su estructura es la misma que la de una imagen digital, en la que cada píxel muestra el valor de la elevación media del terreno en su superficie (Quirós, 2014).

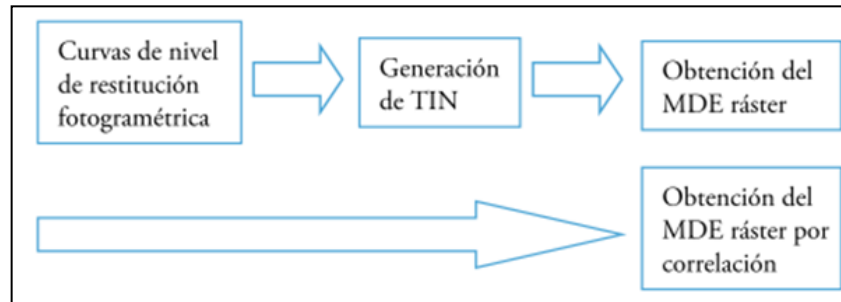


**Figura 9.** Imagen de un TIN

Fuente: Quirós (2014).

### 2.1.9.2. Métodos para la obtención de MDE

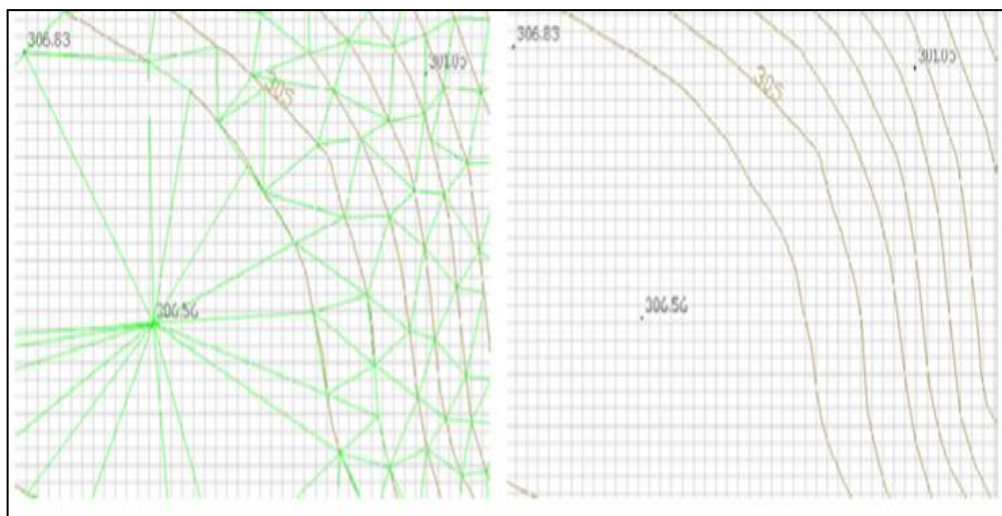
Los MDE, en el campo de la fotogrametría, se pueden obtener por distintos métodos.



**Figura 10.** Métodos para la generación de los MDE

Fuente: Quirós (2014).

Según se observa en el esquema de la figura, la primera opción se realiza de forma consecutiva apoyándose en el resultado de la fase anterior. Es una forma “manual” de obtener el MDE en la que el resultado suele estar garantizado ya que se basa en las curvas de nivel que han sido revisadas y editadas por un operador. El único proceso a tener en cuenta es el método de interpolación que se utilice, ya que el traspaso de formato TIN a formato ráster lo requiere (Quirós, 2014).



**Figura 11.** Proceso de interpolación

Fuente: Quirós (2014).

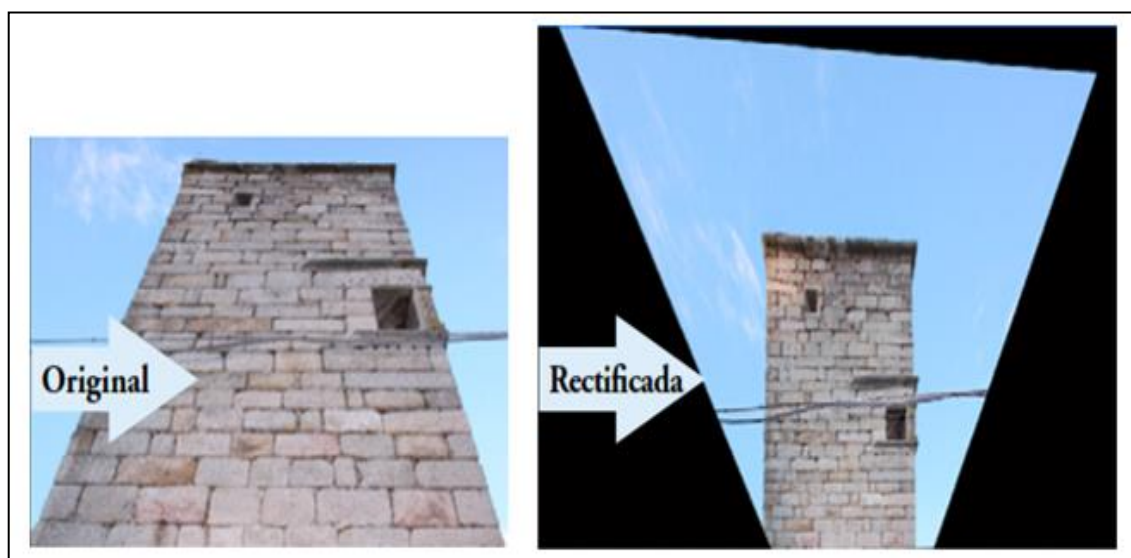
### 2.1.10. Ortofotos

Convendría, aclarar una diferencia fundamental entre dos términos similares, pero que se refieren a procesos fotogramétricos que difieren en metodología y en resultados.

#### 2.1.10.1. Rectificación de imágenes

La rectificación es una técnica fotogramétrica en la cual se cambia la proyección cónica de una fotografía a una proyección ortogonal.

Su principal ventaja es la obtención de una escala uniforme, con la consiguiente posibilidad de medición (Quirós, 2014).



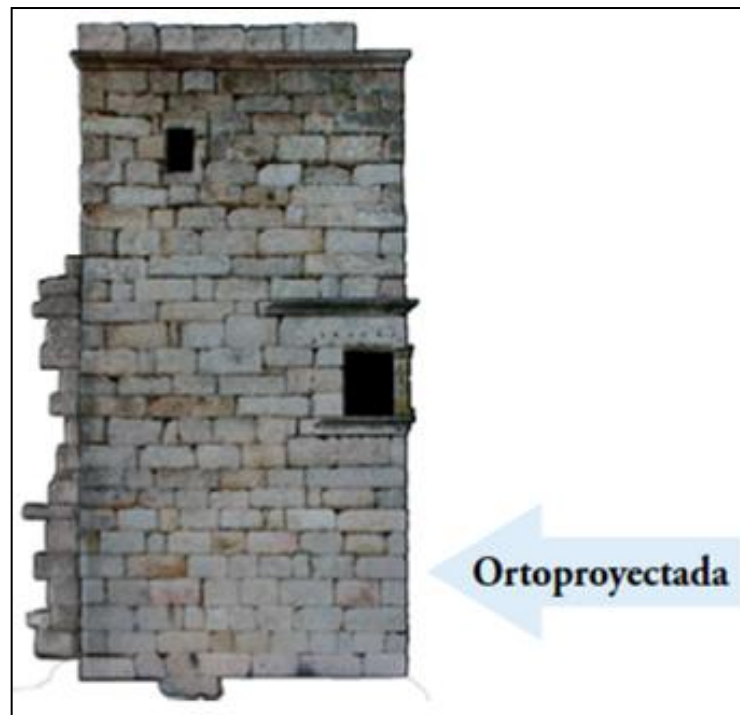
**Figura 12.** Resultado de la rectificación

Fuente: Quirós (2014).

#### 2.1.10.2. Ortoproyección

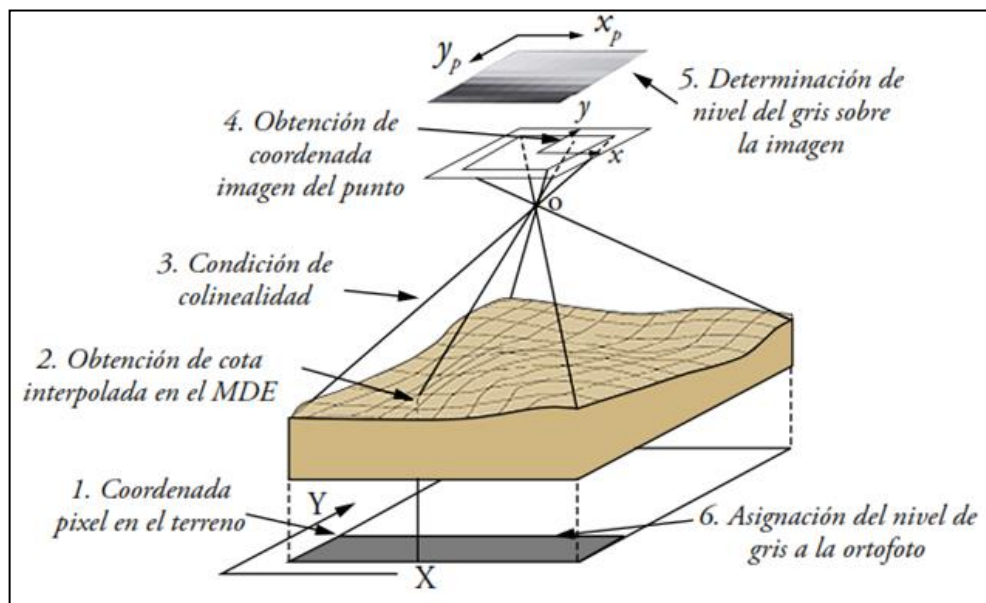
La ortoproyección, es el método fotogramétrico de obtener fotomapas precisos, corregidos de las deformaciones producidas en la imagen fotográfica por el relieve y la inclinación de la fotografía, mediante la rectificación diferencial de la fotografía original. Para ello se hace necesaria la utilización del MDE.

En el caso de fotogrametría aérea el proceso de generación de la ortofotografía digital se sintetiza en la siguiente figura siguiente (Quirós, 2014).



**Figura 13.** Resultado de la orto proyección

Fuente: Quirós (2014).



**Figura 14.** Fases del proceso de realización de la ortofoto

Fuente: Quirós (2014).



### **2.1.11. Plan de vuelo**

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

Se llama proyecto 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.

La misión del vuelo fotogramétrico tiene por objeto:

- Sobrevolar la zona a una altitud que debe calcularse en función de la escala deseada y de la distancia principal de la cámara.
- Cubrir con sus imágenes una determinada zona y para ello es preciso que cada fotograma tenga una zona común con las contiguas "zona de recubrimiento".

Para que puedan cumplirse estos objetivos, el avión deberá volar a una altitud constante, siguiendo una ruta predeterminada y a una velocidad constante, para poder realizar sus disparos con intervalos regulares, que se corresponden a recorridos iguales.

#### **2.1.20.1. Propósito de la fotografía**

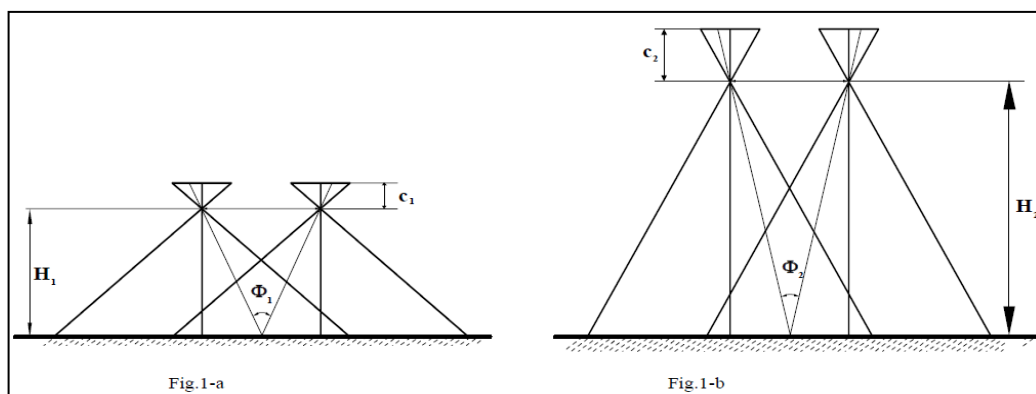
Pérez (2001) en el planeamiento de vuelo hay que considerar cual va a ser la utilización de la fotografía. Una vez que tengamos definido esto, puede seleccionarse cuál será el equipo óptimo a utilizar, así como los procedimientos.

De los diferentes usos que pueden hacerse de las fotografías aéreas, se deseará para la obtención de planos por fotogrametría aérea, unas buenas condiciones métricas de las fotografías, ya que se van a efectuar sobre ellas precisas mediciones. Estas se obtienen

usando cámaras calibradas, película con granulometría fina, tiempos de exposición cortos y emulsiones de alta resolución.

Para la obtención de mapas topográficos es aconsejable tomar las fotografías con cámaras granangulares o supergranangulares, para obtener una amplia relación base altura ( $B/H$ ).

Sean las siguientes figuras con igual base entre tomas:



**Figura 15.** Relación base/altura de una fotografía

Fuente: Pérez (2001).

En la (*Fig.1-a*) la distancia principal ( $c1$ ) y la altura de vuelo ( $H1$ ) son la mitad que las de la figura 1-b ( $c2 = 2c1$ ,  $H2 = 2H1$ ). Las escalas fotográficas son iguales, pero la relación  $B/H$  es doble en la (*Fig.1-a*), así como los ángulos paralácticos ( $\Phi1 = \Phi2$ ).

Puede demostrarse que los errores en calcular la posición y elevación de puntos en un modelo estereoscópico, aumentan con vuelos de gran altura. Por lo tanto una condición favorable para la obtención de buenas precisiones en la determinación de puntos por fotogrametría es realizar vuelos bajos y ángulos paralácticos grandes, es decir empleo de cámaras granangulares o supergranangulares.

$$dZ = \frac{H}{B} m_b dp_a \Rightarrow dZ_1 = 2 dZ_2$$

### 2.1.20.3. Altura de vuelo nivel de referencia

Una vez determinada cual será la escala de la imagen, y conocida la distancia principal de la cámara de la toma, podemos obtener la altura de vuelo sobre el terreno: (Pérez, 2001).

$$Mb = \frac{1}{mb} = \frac{c}{H} \Rightarrow H = c mb$$

Anteriormente ya se dijo que existían tantos valores de la escala como puntos con distinta altitud, de manera que  $H$  será la altura de vuelo media sobre el terreno.

La altura de vuelo sobre el nivel medio del mar  $H_0$  (dato del altímetro) vendrá dada por la altitud del nivel de referencia en función del relieve del terreno (Fig.3).

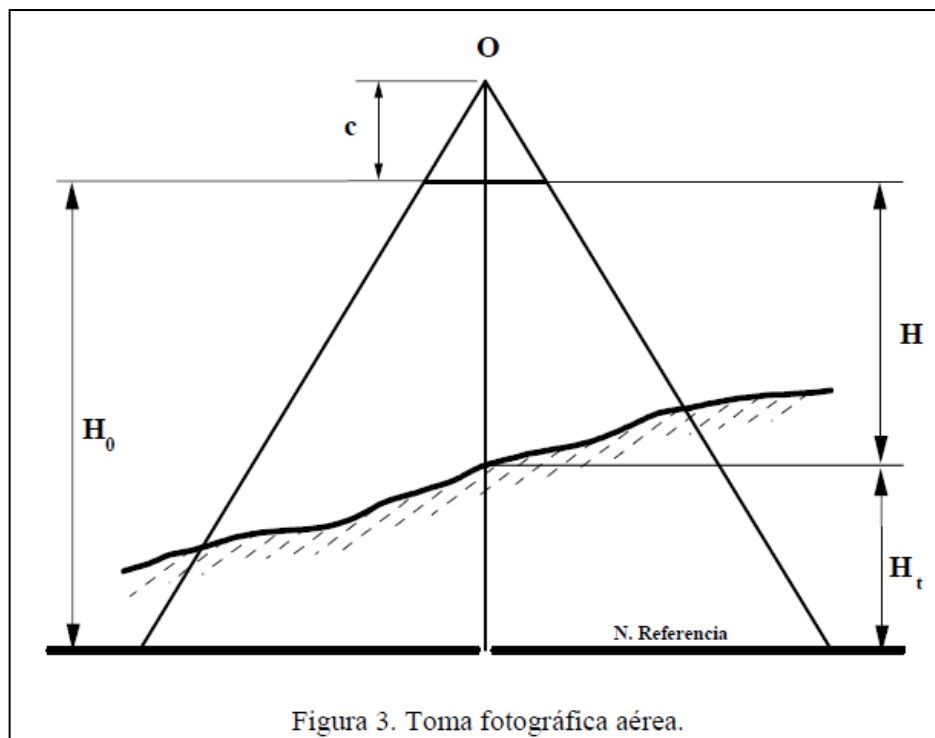


Figura 16. Toma fotográfica aérea

Fuente: Pérez (2001).

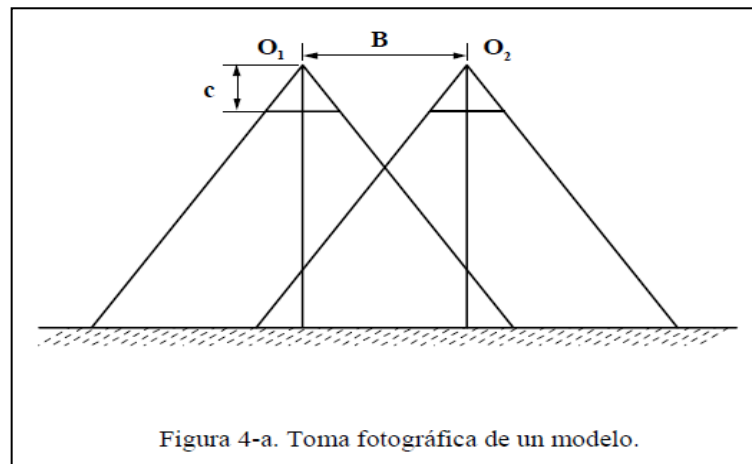
$$H_0 = H + H_t \Rightarrow Mb = \frac{1}{Mb} = \frac{c}{H_0 - H_t}$$



#### 2.1.20.4. Recubrimiento longitudinal

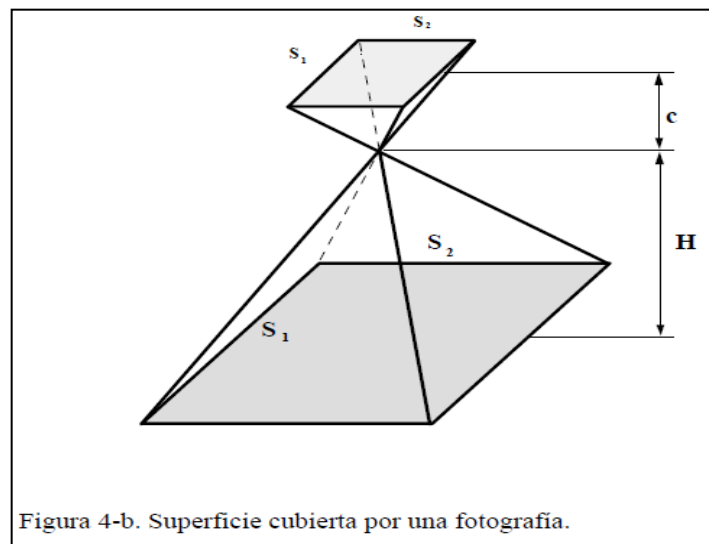
Pérez (2001) supongamos la siguiente situación ideal:

Eje principal estrictamente vertical, terreno llano y horizontal. Si un avión volando en línea recta y a una altitud constante, toma una serie de fotografías a intervalos iguales, estas fotos se alinean formando una banda o pasada fotográfica. (Fig.4-a y Fig 4-b)



**Figura 17.** Toma fotográfica de un modelo

Fuente: Pérez (2001).



**Figura 18.** Superficie cubierta por una fotografía

Fuente: Pérez (2001).

$$S_1 = mb s_1 \quad S_2 = mb s_2$$







Los defectos de recubrimiento lateral pueden ser resultado de:

- La Inclinación del eje transversal.
- El relieve del terreno.
- Errores en el mantenimiento de la altitud.
- Error en la apreciación de la magnitud **A**.
- Error en la corrección de la deriva.
- Errores en el mantenimiento de una ruta constante.

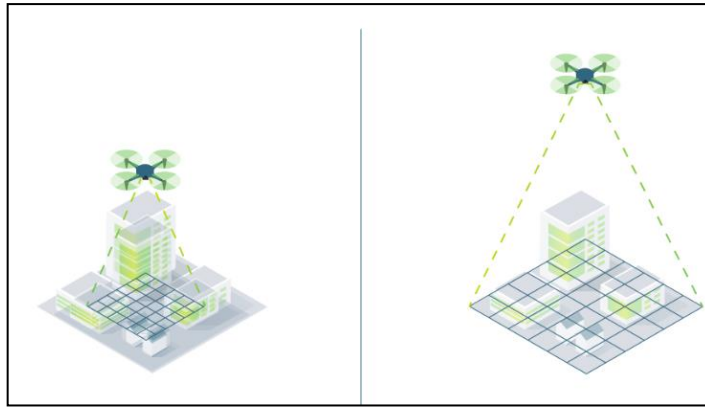
Suele escogerse un recubrimiento transversal de valores comprendidos entre el 10% y el 20 %.

$$A = S_2 (1 - q) = S_2 mb (1 - q) = S_2 mb \left(1 - \frac{q\%}{100}\right)$$

#### **2.1.20.6. GSD**

PIX4D (2019) la distancia de muestreo del suelo (GSD) es la distancia entre el centro de dos píxeles consecutivos medidos en el suelo.

La distancia para la muestra del suelo se ve afectada por la altura del vuelo y las especificaciones de la cámara. Una altura más baja, con la misma cámara, significa una menor distancia para la muestra del suelo y resultados más detallados.



**Figura 21.** Relación GSD y Altura de vuelo

Fuente: PIX4D (2019).

La altitud afecta la distancia de la muestra del suelo. Una altura más baja significa una menor distancia para el muestreo del suelo.

Sin embargo, volar más bajo significa tomar más tiempo (y baterías) para captar la misma área.

Las diferencias en el terreno y los cambios en el ángulo de la cámara implican que las imágenes del mismo proyecto puedan tener diferentes GSD.

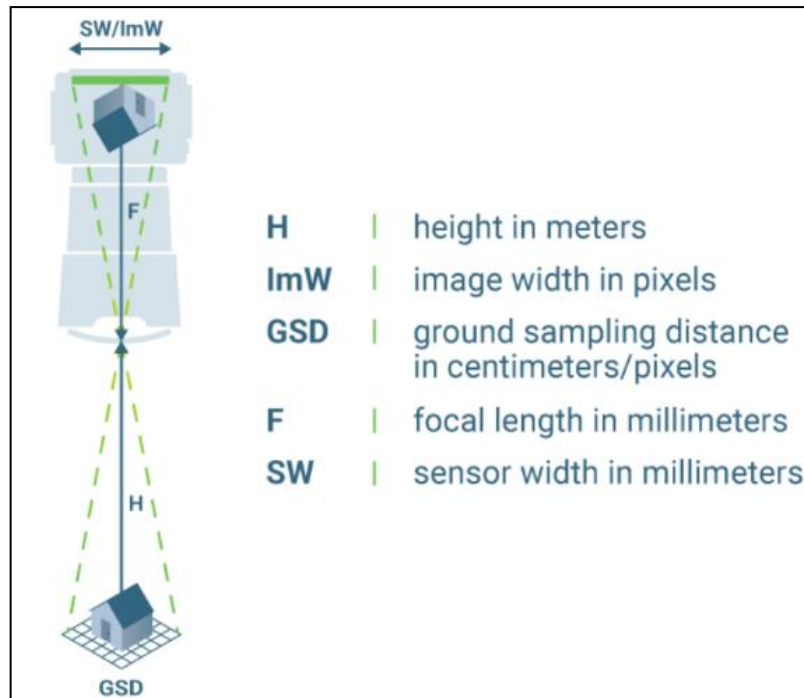
### **La altura de vuelo correcta para el GSD correcto**

La distancia de muestreo del suelo que necesita depende de las necesidades de su proyecto.

Si está modelando una estructura compleja, necesita un GSD inferior para obtener la mayor cantidad de detalles posible.

Antes de despegar, decida el GSD correcto y defina la altura de vuelo.

La altura necesaria para obtener un GSD determinado depende de la longitud focal de la cámara, el ancho del sensor y el ancho de la imagen



**Figura 22.** Interpretación para el cálculo del GSD

Fuente: PIX4D (2019).

El cálculo de la altura de vuelo correcta implica la relación entre el ancho del sensor, la distancia focal y el ancho de la imagen.

Para calcular la altura de vuelo:

$$H \text{ [m]} = (\text{ImW} * \text{GSD} * F) / (\text{SW} * 100)$$

### 2.1.12. Control terrestre del vuelo

La toma de datos y procesamiento de los puntos de apoyo es lo que se suele denominar como “apoyo del vuelo”. El número y distribución de puntos de apoyo y puntos de control dependerá del número de fotografías necesarias para cubrir toda la zona y de la distribución y características de la misión o misiones de vuelo (Claros *et al.*, 2016).

Es muy importante especificar las tolerancias tanto planimétricas como altimétricas que han de cumplir todos los puntos medidos, puesto que deberán incluirse en la etapa de procesamiento.



### 2.1.12.1. Metodología del vuelo

La toma de datos topográficos consiste en la medición de las zonas necesarias para realizar el levantamiento del perímetro, que servirán como puntos de control (Check Points), y en la obtención de las coordenadas de los puntos de apoyo (GCPs) sobre el terreno necesarios para realizar la aerotriangulación. Dichos puntos deben ser identificables en las fotografías y ubicarse en zonas descubiertas. Los puntos deberán tener posición planimétrica y altimétrica para poder usarse en la elaboración del modelo digital del terreno (MDT) (Claros *et al.*, 2016).

La determinación de las coordenadas planimétricas y altimétricas de estos puntos se conoce con el nombre de apoyo de campo. En la realización de los trabajos topográficos y geodésicos que lleva consigo la fotogrametría es necesario utilizar métodos e instrumentos que agilicen al máximo la eficiencia y precisión de esta fase.

Esta fase del proyecto de vuelo fotogramétrico se basará en la obtención de puntos topográficos mediante el uso de:

- **Instrumentos topográficos.** Adquiriendo la información directamente del terreno (Utilizando procedimientos clásicos de la topografía mediante estación total o GPS).
- **Bases de datos.** Extrayendo la información de una base de datos existente como datos topográficos actualizados de la misma zona o servicios de mapas web (Web Map Service) como Google Maps.

El presente estudio se referirá a los puntos de apoyo o GCP (Ground Control Point) como aquellos a ser utilizados para ajustar la precisión y orientación del modelo de la superficie y que son identificables en las fotografías; y a puntos de control a aquellos



puntos con coordenadas que se utilizarán para comprobar la precisión del levantamiento y cubrir los fallos propios de la técnica.

#### **2.1.12.2.Puntos de control**

Se recolectan puntos de control para complementar la topografía, linderos, líneas constructivas, etc. que por algún motivo no sean perceptibles desde las fotografías aéreas. Dichos puntos se anexarán a la superficie en el procesamiento.

#### **2.1.12.3.Puntos de apoyo (GCP)**

Para que el vuelo sea directamente relacionable con el terreno (es decir pueda ser georreferenciado) se precisa la adquisición de puntos de apoyo, cuya posición deberá ser descrita completamente (x,y,z).

Al usarse GCPs se debe considerar lo siguiente:

- Número y distribución de los GCPs
- La técnica de adquisición de los GCPs

#### **A. Ubicación de los puntos de apoyo**

La ubicación de los puntos de apoyo se realiza a partir de la vista satelital del terreno, teniendo en cuenta que deben quedar bien distribuidos en área del proyecto. Debido a lo desactualizado de las vistas satelitales será necesario proyectar la ubicación de las marcas y evaluar su factibilidad en una inspección preliminar por la zona, en la cual se deberán seleccionar aquellas locaciones que brinden mejores resultados, así como proponerse nuevas que reemplacen las que no sean útiles.



## **B. Señalización de los puntos de apoyo**

La forma de estas señales adoptada generalmente es la cuadrada, en las que el material utilizado es de aluminio, contrachapado o cartón. Se tiene que dividir en colores la marca, que sea brillante y el otro que sea un color oscuro para poder ubicar correctamente el centro en las fotografías (punto al cual se le han asignado coordenadas).

Otra forma adoptada en algunos organismos es la circular, pudiéndose mejorar sustituyendo los círculos por cruces.

Las dimensiones de estas señales variarán con el GSD, generalmente las marcas se le colocan dos colores para poder distinguir fácilmente el centro, la marca tiene que ser de 5 a 10 veces mayor que el tamaño del GSD.

### **2.1.13. Ejecución del vuelo**

Claros *et al.* (2016) una vez que se comprueba que el equipo está en condiciones de volar, con el fin de realizar el vuelo y cubrir toda la zona deseada se deberá proceder a las siguientes etapas:

#### **a) Preparación del UAS**

Se debe saber manejar el dron de forma manual, esto permitirá evitar obstáculos o recuperarlo en caso de interferencia con el GPS.

Antes del despegue, la aplicación envía la misión de vuelo al dron, la cual seguirá durante el vuelo automatizado.

#### **b) Ejecución del vuelo**

Una vez realizado el proceso de calibración de la brújula y verificado el nivel de la batería, es necesario ejecutar el despegue de la aeronave utilizando la aplicación.



#### **2.1.14. Estación total**

Es aquel instrumento topográfico constituido por un Teodolito Electrónico unido solidariamente con un Distanciómetro, estos a su vez llevan en su interior una Libreta Electrónica y un Microprocesador, el cual le permite registrar los datos de campo, obviando la libreta tradicional, así como compensar y procesar los datos obtenidos para registrarlos en un archivo de su memoria. La estación total nos permite obtener trabajos de alta precisión y un gran ahorro de tiempo (Mendoza, 2015).

### **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

#### **2.2.1. Cálculo de volúmenes**

En obras de ingeniería se presenta el problema del cálculo de los volúmenes de suelos a mover, en las tareas tendientes a darle una forma adecuada a la superficie terrestre a fin de fundar las estructuras. Es decir, debemos determinar el volumen que se encuentra entre la superficie del suelo natural y la superficie resultante de las exigencias de la obra a realizar. Por otro lado también, se presenta la necesidad de cubicar las obras, (cimientos, muros, columnas, vigas, losas, hierros, etc., terraplenes, defensas, contrafuertes, núcleo de un dique, etc. (Serafino).

#### **2.2.2. Sistema de posicionamiento global (GPS)**

GPS es un sistema que tiene como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial. Los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del planeta, pueden permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse en cualquier momento del día (Huerta *et al.*, 2005).





### **2.2.3. Georreferenciación**

La georreferenciación o rectificación es un proceso que permite determinar la posición de un elemento en un sistema de coordenadas espacial diferente al que se encuentra. Existen por tanto dos sistemas de coordenadas: el sistema origen y el sistema destino. Este proceso es determinado con una relación de posiciones entre elementos espaciales en ambos sistemas, de manera que, conociendo la posición en uno de los sistemas de coordenadas es posible obtener la posición homóloga en el otro sistema (Dávila & Camacho, 2012).

La georreferenciación consiste en la identificación de todos los puntos del espacio (aéreos, marítimos o terrestres; naturales o culturales) mediante coordenadas referidas a un único sistema mundial (Huerta *et al.*, 2005).

### **2.2.4. Vehículos aéreos no tripulados**

Son sistemas de aviación piloteados remotamente que se conocen popularmente como drones. Estos vehículos vuelan sin piloto a bordo, aunque pueden involucrar pilotos humanos en el control del vehículo desde metros o kilómetros de distancia (Sánchez, 2017).

### **2.2.5. UAV de ala fija**

Este tipo de vehículos tiene siempre despegue horizontal. Si se observa la geometría de las alas, es posible encontrar diferentes diseños: convencional, “canard”, ala volante, delta, “joined wing”, “box-wing”, “blended-wing-body” (BWB), rectangular o trapezoidal, con o sin flecha, ala alta, a la media o a la baja. También es posible establecer otra clasificación en función de la geometría de la cola: estabilizador horizontal de cola, cola en V, y doble cola o en forma de H (Cuerno *et al.*, 2016).



### **2.2.6. UAV de ala rotatoria**

Los UAVs de ala giratoria vuelan aprovechando la sustentación generada por sus alas rotatorias o por las palas del rotor. Estas palas del rotor se montan generalmente en un solo mástil y giran en torno a él, formando el sistema mecánico conocido como rotor. También hay diferentes tipos de vehículos aéreos no tripulados de ala rotatoria, que se pueden clasificar como: UAVs tipo helicóptero, UAVs tipo ciclogiro, UAVs tipo autogiro, o UAVs tipo girodino, dependiendo de la configuración de su(s) rotor(es) (Cuerno *et al.*, 2016).

### **2.2.7. Cámaras**

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.

Las cámaras aéreas analógicas se han utilizado hasta la actualidad, pero comienzan ya a quedar obsoletas, sustituidas por la nueva generación de cámaras digitales (Quirós, 2014).

### **2.2.8. Píxel**

El píxel es la unidad más pequeña y diminuta de una imagen digital y está presente en un inmensurable número para formar una imagen completa. Cada píxel es una unidad homogénea de color que en suma y con una importante variación de colores dan como resultado una imagen más o menos compleja. Pueden contar con tres o cuatro elementos de color a elegir: rojo, verde y azul o magenta, amarillo y cian (Bembibre, 2009).



### **2.2.9. Imágenes JPG**

Este formato lo creó The Joint Photographers Experts Group (JPEG, archivos .jpg). Es uno de los formatos más conocidos para la compresión de fotografías digitales. Es uno de los pocos formatos que se soporta en Internet (Web). El soporte de color verdadero (24 bits) de JPEG nos ofrece imágenes con una profundidad de 16.777.216 colores (FotoNostra, 2020).

### **2.2.10. Resolución de imagen**

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) (Claros *et al.*, 2016).

### **2.2.11. AutoCAD civil 3D**

El software de diseño para ingeniería civil Civil 3D® es compatible con BIM (modelado de información para la construcción) y proporciona características integradas para mejorar los bocetos, el diseño y la documentación de construcción. Experimenta flujos de trabajo más eficaces para el modelado de superficies y carriles, el diseño de emplazamientos, el análisis de aguas pluviales y sanitarias, y la producción y la documentación de planos (Autodesk, 2020).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES E INSTRUMENTOS

##### 3.1.1. Ubicación geográfica

**Tabla 1.** Ubicación geográfica del lugar de estudio

Ubicación	Latitud	Longitud	Altitud Elipsoidal	Zona
Calapuja	15 °29'35.101700"S	70°08'06.986970"W	3887.2187	19L

##### 3.1.2. Ubicación UTM

**Tabla 2.** Ubicación del lugar de estudio

Ubicación	Norte WGS-84	Este WGS-84	Elevación geoidal	Zona
Calapuja	8300972.6700	374166.0700	3840.438	19L-SUR

##### 3.1.3. Ubicación política

**Departamento** : Puno.

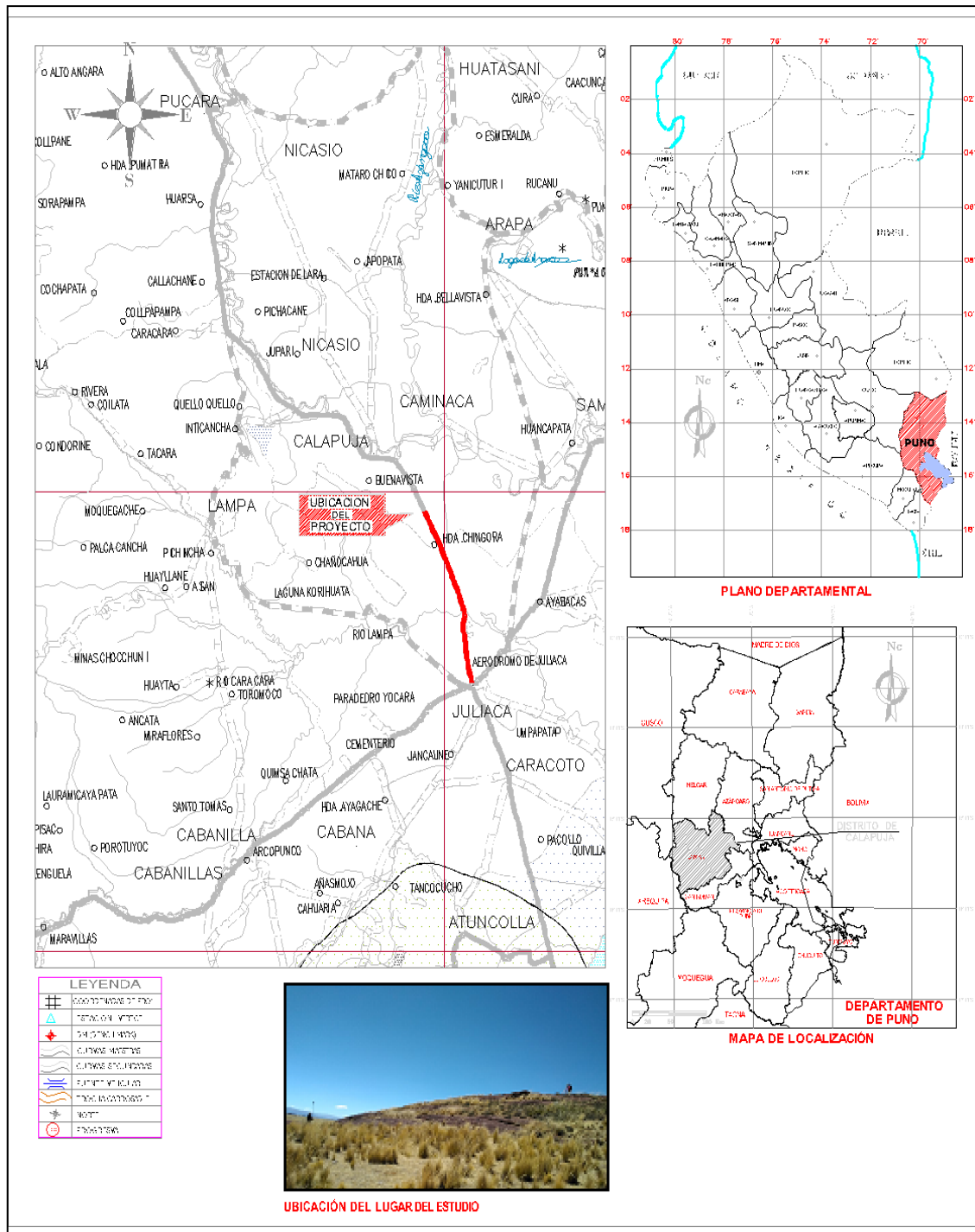
**Provincia** : Lampa.

**Distrito** : Calapuja.

##### 3.1.4. Vías de acceso

**Tabla 3.** Ubicación geográfica del lugar de estudio

VÍAS DE ACCESO HASTA EL LUGAR INVESTIGACIÓN			
TRAMO	TIPO DE CARRETERA	DISTANCIA (km)	TIEMPO (min)
Puno-Juliaca	Asfaltado	43	50 min.
Juliaca-carretera hacia el departamento de Cusco	Asfaltado	12.8	15 min.



**Figura 23.** Vista satelital de la vía de acceso al lugar de estudio

Fuente: elaboración propia

### 3.1.5. Materiales e instrumentos

**Tabla 4.** Materiales e instrumentos utilizados en el estudio

<b>MATERIALES</b>		
<b>NUM.</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	Cemento	2 bls.
2	Hormigón	0.25m3
3	Pintura Color rojo	1 gln.
4	Pintura Color blanco	1 gln.
5	Herramientas manuales	1 glb
6	Cinta metrica 5m	1und
7	Utiles de escritorio	2 Und
8	Impresora	1 Und
9	Laptop core i5	2 Und

### 3.1.6. Equipos

**Tabla 5.** Equipos utilizados en el estudio

<b>EQUIPOS</b>	<b>CANTIDAD</b>
GPS Diferencial GR-5 topcon	1 Und
Estación total marca Topcon modelo GPT 7503 con todo sus Accesorios	1 Und
Rpas ala fija marca eBee con todo sus accesorios	1 Und
Rpas ala Rotatoria Marca DJI modelo PHANTOM 4 PRO con todos sus accesorios	1 Und
Camioneta Marca Toyota modelo Hilux	1 Und
Cámara Fotográfica	1 Und



### 3.1.7. Software empleado

**Tabla 6.** Software utilizados en el estudio

<b>SOFTWARE</b>	<b>VERSION</b>
DJI GS	PRO
EMotion	V.2
Autocad civil 3D	2020
Agisoft metashape professional	1.5.2
Microsoft_Office	2019
R Project	4.2
Autodesk Recap	PRO

### 3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se ha ejecutado en dos etapas:

La primera etapa consistió en la obtención de todos los materiales, equipos, software que nos sirvieron para desarrollar adecuadamente los trabajos de campo y gabinete. Así mismo, se inició con la ubicación del área del estudio la visita a campo y la ejecución de los primeros vuelos fotogramétricos de prueba, este periodo estuvo comprendido entre los meses de setiembre a diciembre del 2018.

La segunda etapa en donde se realizaron los vuelos definitivos y el cálculo de volúmenes iniciaron desde el mes de marzo hasta los primeros días del mes de agosto del 2020.



### **3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO**

Los Equipos utilizados como como RPAS DJI Phantom 4 PRO Y RPAS ala fija eBee Sensefly, para este estudio proceden de la empresa IDES – PERU S.A.C., Ingeniería para el Desarrollo Perú, es una sociedad de ingenieros geógrafos constituida en el 2007 con personal especializado y agrupado desde el año 2000. Con áreas de desarrollo en el mercado de la Ingeniería, Topografía, Minería, Construcción y organismos públicos servicios de Topografía, Cartografía y Geodesia, así como darles soluciones tecnológicas a través de la venta, alquiler de equipos Fotogramétricos y servicio técnico de instrumentos topográficos geodésicos, cuya dirección es:

Oficina Principal; Dirección: Jr. Francisco de Zela N° 1078, Of. 3A, Jesús María,  
Lima 11 – Perú; E-mail: informes@idesperu.com

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO**

#### **3.4.1. Población**

La población se representa por un área de 1.00 Ha. en el cual se ha distribuido una cantidad de 33 puntos aleatoriamente de concreto con dimensiones 0.40m x 0.40m., a diferentes coordenadas Norte, Este y elevación sobre la superficie del terreno teniendo datos obtenidas mediante el levantamiento topográfico y vuelo fotogramétrico.

#### **3.4.2. Muestra**

El tamaño de muestra está representado por el volumen calculado en la proyección de una plataforma con un área cuadrada de 1225.00 m<sup>2</sup> con dimensiones de 35x35 m.l. y la ubicación de las coordenadas topográficas de los 33 puntos seleccionados medidas por las RPAS de ala fija y RPAS ala rotatoria en contrastación con la estación total.



### 3.4.3. Instrumentos de observación

Para determinar la precisión en el cálculo de volúmenes se realizó la toma de datos con una estación total TOPCON GPT – 7503 de precisión de 3", de todos los puntos resaltantes del área de estudio. Se comparó con los datos de los vuelos fotogramétricos con el RPAS ala fija eBee y RPAS ala rotatoria Phantom 4 PRO a alturas de vuelo de 100 metros, una vez realizada la toma de fotografías se ha realizado la digitalización de las mismas con el apoyo del software agisoft metashape profesional, Autodesk Recap Pro y AutoCAD civil 3d.

### 3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

Notación para el coeficiente de correlación lineal.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

$n$  : Representa el número de pares de datos presentes.

$\sum$ . : Denota la suma de los elementos indicados.

$\sum x$  : Denota la suma de todos los valores de  $x$ .

$\sum x^2$  : Indica que cada valor de  $x$  debe elevarse al cuadrado y después deben sumarse esos cuadrados.

$(\sum x)^2$  : Indica que los valores de  $x$  deben sumarse y el total elevarse al cuadrado. Es sumamente importante evitar confundirse entre  $(\sum x^2)$  y  $(\sum x)^2$



$(\sum xy)$  : Indica que cada valor de  $x$  debe multiplicarse primero por su valor  $y$  correspondiente. Después de obtener todos estos productos, se calcula su suma.

$r$  : Representa el coeficiente de correlación lineal de una *muestra*.

$\rho$  : La letra griega rho se usa para representar el coeficiente de correlación lineal de una *población*.

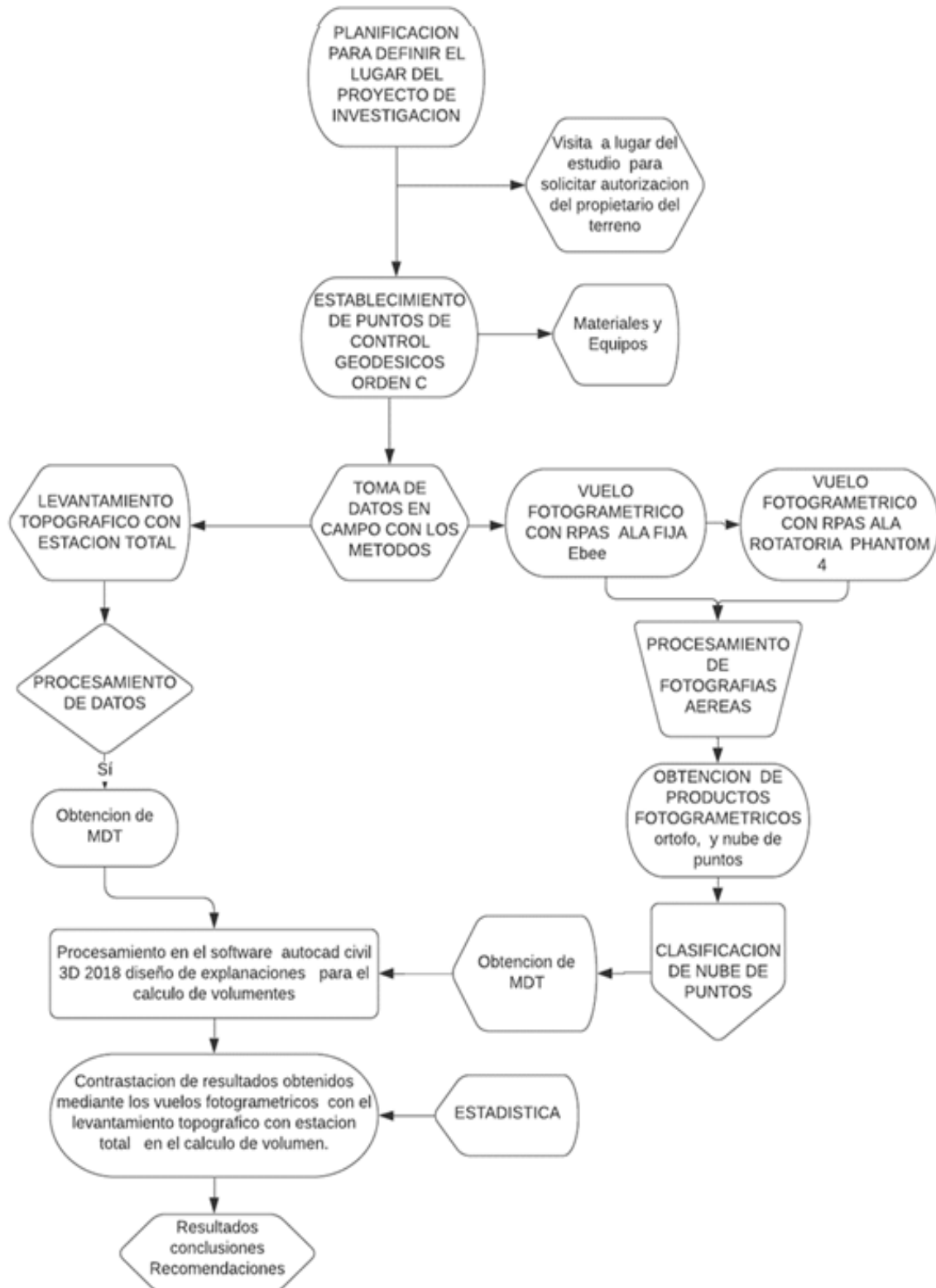
### Interpretación

Se comprobó con el coeficiente de correlación de Pearson el valor del índice de correlación varía en el intervalo  $[-1,1]$ , indicando el signo el sentido de la relación:

- Si  $r = 1$ , existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si  $0 < r < 1$ , existe una correlación positiva.
- Si  $r = 0$ , no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si  $-1 < r < 0$ , existe una correlación negativa.
- Si  $r = -1$ , existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

### 3.6. PROCEDIMIENTOS

#### 3.6.1. Flujograma de los trabajos en campo y gabinete



### 3.6.2. Reconocimiento y ubicación del área de estudio

Para la ejecución del estudio, se buscó un lugar apropiado para a fin de lograr los objetivos considerados como cálculo de volumen, teniendo como resultado el lugar mencionado en la ubicación del proyecto se verifico en qué condiciones se encuentra el área de estudio y se solicitó los permisos del propietario y así poder definir el alcance que va a tener el estudio; luego se procedió con la ubicación de puntos de control geodésico y puntos para el muestreo de la estadística.

### 3.6.3. Monumentación de los puntos de control geodésicos

Ubicados los puntos de control geodésico se realizó la monumentación de dimensiones 0.40m x0.40 m de concreto con una varilla de acero de ½” en el centro con los códigos P1, P2 Y P3 ubicados en lugares estratégicos para su posterior georreferenciación.



**Figura 24.** Vista satelital de los PCGs monumentados

Fuente: Google Earth.

### 3.6.4. Georreferenciación de los PCG y obtención de datos

En esta etapa del estudio se hizo la georreferenciación de los puntos P-1, P-2 y P-3, por el método estático diferencial post-proceso con el equipo GPS diferencial Marca topcon modelo GR 5, Se estaciono la Base en el Punto Base JCA7 perteneciente a la Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN) con coordenadas conocidas administradas por el IGN Perú, de orden “C” ubicada en la plaza de armas de la ciudad de Juliaca.

**Tabla 7.** Coordenadas Geográficas de los PCGs

COORDENADAS UTM WGS-84				
NOMBRE	ESTE(m)	NORTE (m)	ELEVACIÓN Geoidal (m)	ALTURA ELIPSOIDAL (m)
JCA7	378226.8499	8286813.2670	3826.142	3872.3742
P-1	374166.0696	8300972.6670	3840.438	3887.2189
P-2	374136.4236	8301023.1870	3831.38	3878.1678
P-3	374193.0981	8301015.9370	3832.210	3878.9929

**Tabla 8.** Factor escala de los PCGs.

COORDENADAS GEOGRAFICAS WGS-84				
NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ELEV. (m)	ALTURA ELIPS. (m)
JCA7	15°29'35.101700"S	70°08'06.986970"W	3826.1419	3872.3742
P-1	15°21'53.639055"S	70°10'20.668904"W	3840.4382	3887.2189
P-2	15°21'51.989875"S	70°10'21.653941"W	3831.385	3878.1678
P-3	15°21'52.235789"S	70°10'19.754596"W	3832.2098	3878.9929

**Tabla 9.** Factor escala de los PCGs

FACTOR ESCALA-FACTOR COMBINADO			
NOMBRE	Combined grid to ground scale factor	Combined ground to grid scale factor	Convergence
JCA7	1.000824602	0.999176078	0°18'11.8596"
P-1	1.000814481	0.999186182	0°18'38.4793"
P-2	1.000812968	0.999187693	0°18'38.7079"
P-3	1.000824602	0.999187387	0°18'38.2093"



**Figura 25.** Toma de datos en el PCG JCA7 en la plaza de armas de Juliaca

### 3.6.5. Levantamiento topográfico con estación total

La realización del levantamiento topográfico usando como herramienta básica la estación total, requiere de la determinación en campo de cada uno de los puntos que identifican las deformaciones del área de intervención directa, lo cual implica acercarse lo más posible a cada uno de estos puntos y definir cuidadosamente el número de puntos

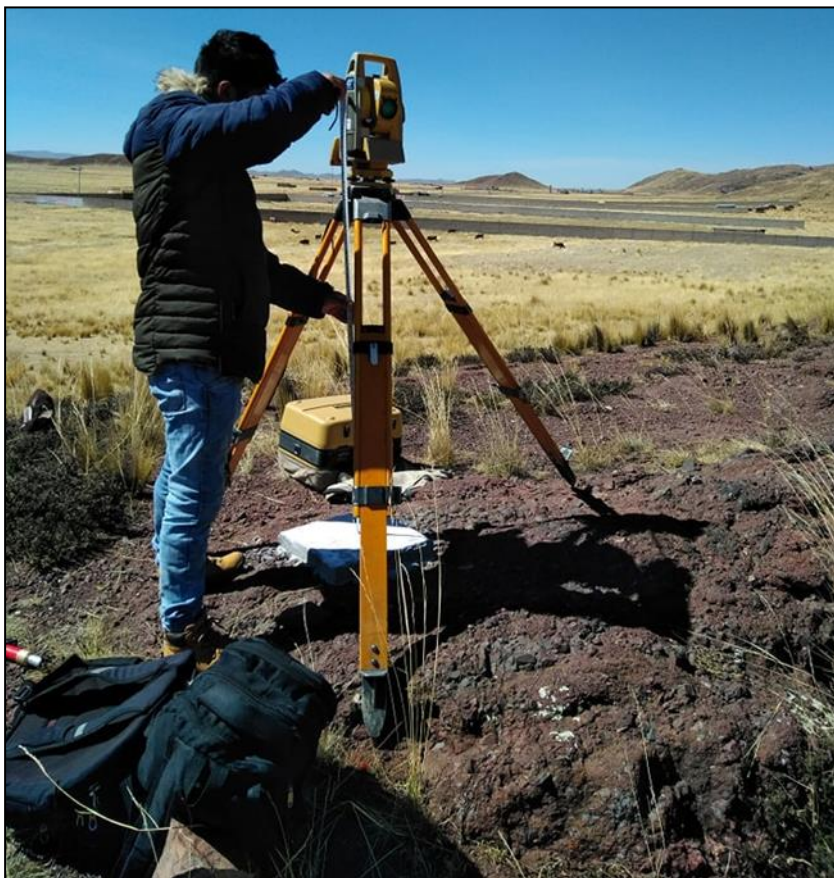


que son necesarios para lograr una adecuada descripción física del área de trabajo, para lo cual se ha seguido cuidadosamente con la siguiente metodología.

### **Paso 1: Montaje de la estación total**

Consiste en el montaje de la estación total sobre un punto topográfico con coordenadas conocidas de acuerdo a los siguiente:

- Elección y marcado del punto de control topográfico, las cuales nos referiremos a las que se obtuvieron con el GPS diferencial.
- Montaje y ajuste de la estación total, verificando así el estado del equipo la misma que tienes que está en condiciones óptimas.
- Nivelación de la estación total.



**Figura 26.** Estacionamiento del equipo en el punto de control P-1



## **Paso 2: creación del archivo y configuración**

Dentro del menú configuración se ha creado un archivo de trabajo con los siguientes parámetros para corregir los errores sistemáticos que generan las estaciones totales.

- Factor escala: 1.000000
- Temperatura: 15°C
- Cota promedio: 3835 msnm (para la presión atmosférica)
- Presión atmosférica: 469 mmHg
- Ppt: 108 ppm (calculado automáticamente)

Así mismo, podemos indicar que los valores medidos por la estación total son almacenados en la memoria interna de la misma por lo que podemos definir que la posibilidad que exista errores a causa de las anotaciones se poco probable.

## **Paso 3: Toma de datos**

Una vez establecidos los parámetros anteriores, se procedió a realizar la toma de datos para el levantamiento topográfico.

Se colocó un nuevo punto en el lugar adecuado y se le da un nombre, una vez hecho esto se coloca el prisma encima y en dirección a la estación y procedemos a anotar sus coordenadas y guardarlas.

Este procedimiento es repetido las veces que fueran necesarias, para así tener un buen número de coordenadas, que van a ser las que luego den forma al plano topográfico. Posterior a ello se obtuvieron las siguientes coordenadas:





- Coordenadas de los vértices en estudio, las que nos servirá para ver la precisión en este, norte y la elevación que presenta cada punto.

**Tabla 10.** Coordenadas de los puntos de comparación

COORDENADAS OBTENIDAS CON LA ESTACION TOTAL				
NUM.	ESTE WS84-19S	NORTE WGS-19S	ELEVACION EGM-2008	DESCRIP.
1	374166.0700	8300972.6670	3840.4380	P1
2	374193.2320	8301016.0870	3832.2570	P3
3	374172.9270	8300972.6740	3838.9490	A1
4	374180.1290	8300956.0260	3835.5320	A3
5	374171.8900	8300962.3840	3838.6110	A4
6	374165.6020	8300959.8270	3840.0010	A5
7	374168.3490	8300950.5950	3838.9030	A6
8	374173.3120	8300942.8660	3836.5090	A7
9	374162.4300	8300941.1970	3838.3300	A8
10	374163.2880	8300932.9890	3837.7280	A9
11	374168.7640	8300928.2040	3836.6770	A10
12	374165.4340	8300912.8370	3835.9500	A11
13	374158.1250	8300912.1580	3835.2040	A12
14	374147.9010	8300922.2430	3833.2200	A13
15	374147.1750	8300946.2200	3833.9700	A14
16	374159.3370	8300949.1430	3838.5400	A15
17	374151.6300	8300957.7970	3835.9340	A16
18	374157.8190	8300965.7480	3838.2650	A17
19	374148.0370	8300973.9010	3834.9990	A18
20	374158.8160	8300982.9380	3838.8250	A19
21	374146.1440	8300993.8800	3833.2520	A20
22	374152.4150	8301000.5810	3834.7970	A21
23	374161.9690	8300997.8850	3838.0670	A22
24	374168.1170	8301008.9450	3835.9680	A23
25	374162.7740	8301019.4830	3832.1930	A24
26	374175.4010	8301022.3050	3832.7200	A25
27	374178.5660	8301006.6680	3835.9780	A26
28	374190.8260	8301003.8760	3833.5630	A27
29	374183.4270	8300995.8950	3836.1070	A28
30	374174.6460	8300995.3300	3838.6560	A29
31	374186.5440	8300985.6400	3834.6920	A30
32	374175.7480	8300984.2330	3838.7940	A31
33	374167.4670	8300990.0920	3839.5960	A32

- Coordenadas para la georreferenciación de las fotos.

**Tabla 11.** Coordenadas de la poligonal de ajuste

COORDENADAS DE LOS PUNTOS EN ESTUDIO						
NUM.	NORTE	WGS-84	ESTE	WGS-84	ELEVACION EGM-2008	DESCRIPCION
1	8300972.6670		374166.0700		3840.4380	P1
2	8301016.0870		374193.2320		3832.2570	P3
12	8300912.8370		374165.4340		3835.9500	A11
14	8300922.2430		374147.9010		3833.2200	A13
25	8301019.4830		374162.7740		3832.1930	A24

- Coordenadas del terreno, ver en el anexo 01.



**Figura 27.** Toma de datos en con la estación total por el método de radiación



### 3.6.6. Diseño del plan de vuelo

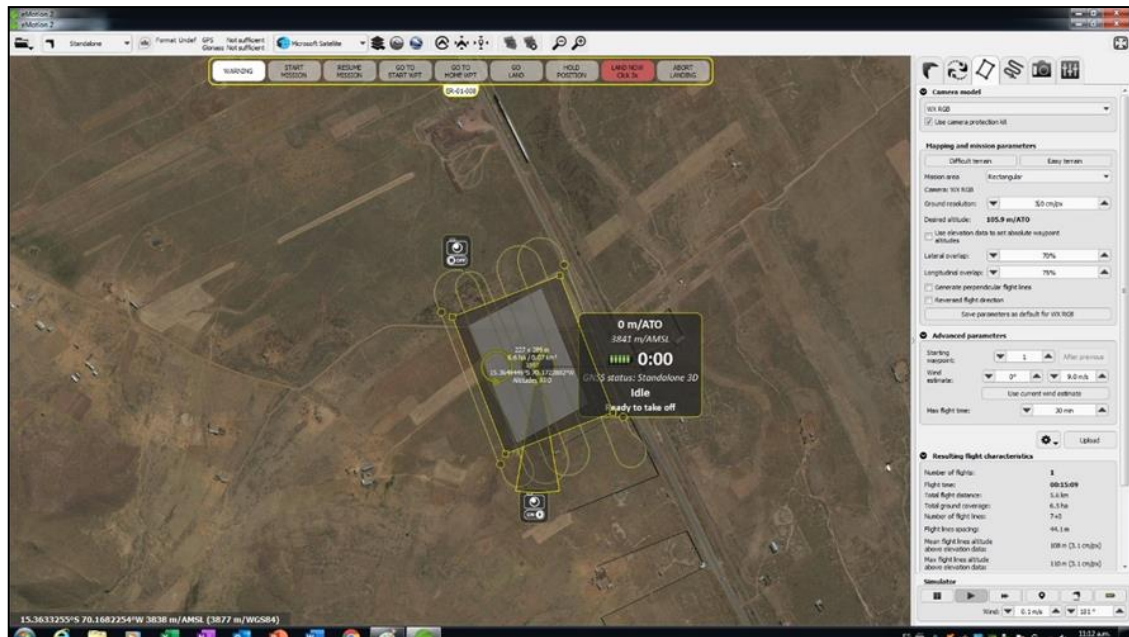
En esta etapa del estudio es donde diseñamos nuestro plan de vuelo para los diferentes drones (de ala fija y de ala rotatoria) para lo cual se tuvieron que tener que definir las características necesarias para el plan de vuelo dentro de las cuales están: las características de la cámara y las características operacionales del equipo las cuales mencionamos a continuación:

- Escala final de la fotografía aérea.
- Traslape longitudinal y transversal.
- Velocidad de vuelo.
- Características de la cámara fotográfica como distancia focal y formato del chasis de la cámara (al ser analógica) o capacidad de almacenamiento interno (al ser digital).
- Líneas de vuelo.
- Longitud media de las líneas de vuelo.

Para un plan de vuelo se cumplieron con los siguientes tres pasos:

**a. Definición del GSD como punto inicial el cual lo planteamos según los requerimientos de precisión de los vuelos**

De acuerdo al software DJI GS PRO de planeación de vuelo para el dron Phantom 4 PRO ha determinado que la GSD es de 2.74 cm/píxel para una altura de vuelo de 100 metros; así mismo, para el dron eBee senseFly mediante su software eMotion de planeación de vuelo ha determinado un GSD de 3.00 cm/píxel para una altura de vuelo similar al del dron multirrotor a una altura de vuelo de 100 metros.



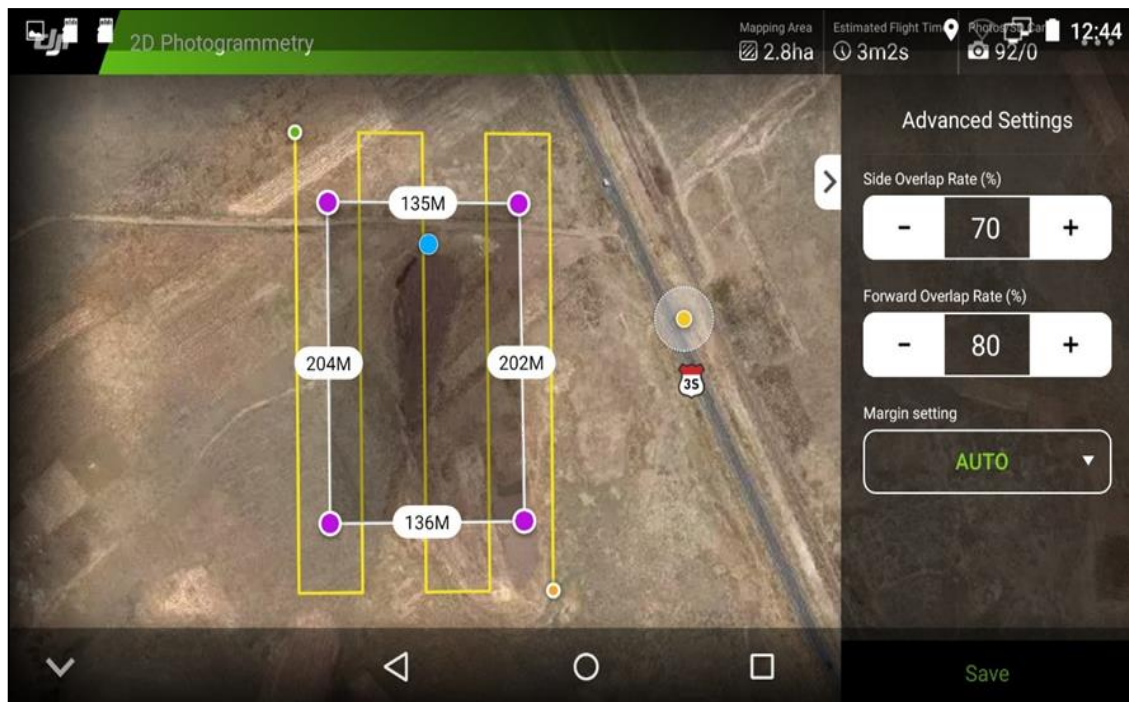
**Figura 28.** Configuración de parámetros de vuelo en el software eMotion

**b. Selección del traslape longitudinal y transversal adecuado para cubrir la cobertura necesaria para nuestros fines considerando la topografía del terreno**

El terreno en estudio no presenta una topografía muy accidentada por lo que los criterios para el dimensionamiento de los traslapes longitudinales y transversales serán las recomendadas por los softwares de planeación de vuelos aerofotogrametricos, teniendo en cuenta que sean las adecuadas para el tipo de terreno al que se está interviniendo por lo que los traslapes establecidos fueron: para multirrotor Phantom 4 PRO de 70% lateral y 80% longitudinal, y para el ala fija eBee senseFly de 70% lateral y 75% longitudinal. Las mismas que están dentro los márgenes adecuados para terrenos poco accidentados.

Así mismo, las velocidades de vuelo programadas fueron de 7 km/hora para que de esa manera se pueda obtener fotos con poca distorsión.

En ambos casos se utilizaron cámaras digitales de 20 megapíxeles y la orientación de las mismas fueron en 90 grados.



**Figura 29.** Verificación de los traslapes establecidos para el vuelo con en el Phantom 4 PRO

**c. Dimensionamiento del área a cubrir por el vuelo fotogramétrico considerando las características operativas de los diferentes drones**

El área específica a cubrir por los vuelos fue de 01 hectárea, realizando ambos vuelos próximos a las 12 horas del día, donde los vientos no son tan intensos los que podrían causar cabeceos y alabeos en los equipos durante los vuelos, generando así resultados menos precisos.

**3.6.7. Ejecución del vuelo fotogramétrico con el dron de ala rotatoria**

Posterior a la ubicación del área del estudio se prosigue con la ejecución del vuelo, considerando las recomendaciones del plan de vuelo.

Para la ejecución del vuelo fotogramétrico con el dron de ala rotatoria se ha utilizado el software que recomienda el fabricante, el programa que también se ha empleado para la planificación del vuelo que es el software DJI GS PRO, mediante el



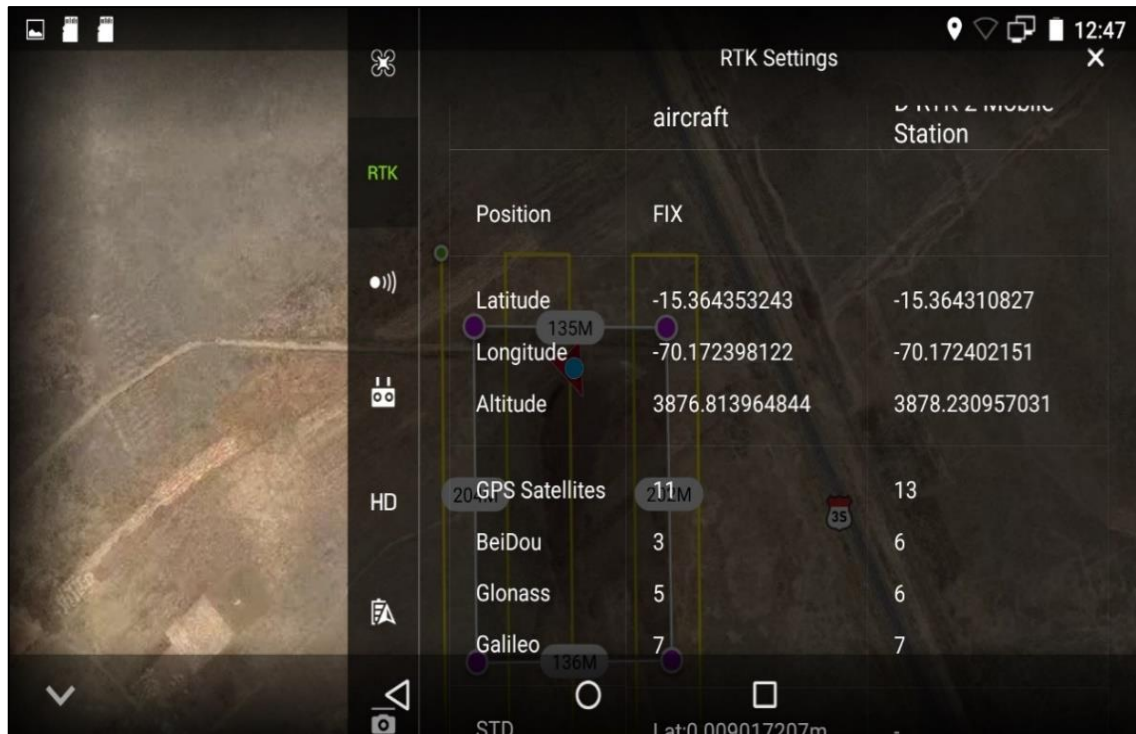
cual se puede controlar manualmente o en modo automático el recorrido del dron, así mismo, con el apoyo de equipos recomendados con capacidad de soporte adecuado se prosigue con la ejecución del vuelo, la misma que se empleó para la determinación de volúmenes que es el fin en el presente estudio.

A continuación, detallamos el procedimiento que se ha seguido para ejecución del vuelo fotogramétrico con el dron Phantom 4 PRO.

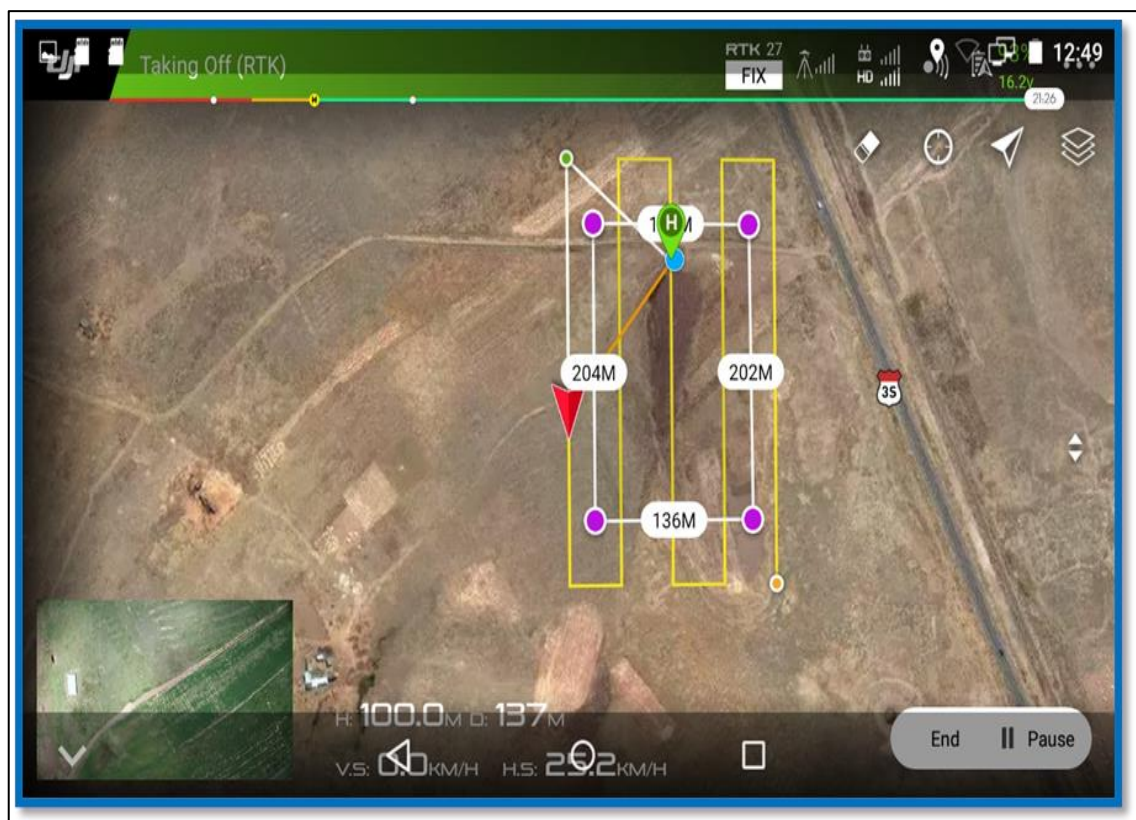
En primer lugar, para la ejecución del vuelo Aero fotogramétrico se tuvo que verificar los instrumentos que se están empleando y para este vuelo se verificó que todo esté en orden con el empleo de los siguientes equipos que forman parte del Phantom 4 PRO, las que son: el phantom 4, tarjeta sim 4G, control remoto, ipad y baterías cargadas. Revisado que los equipos estén funcionando óptimamente se prosigue con la ejecución de vuelo como se ilustra a continuación:



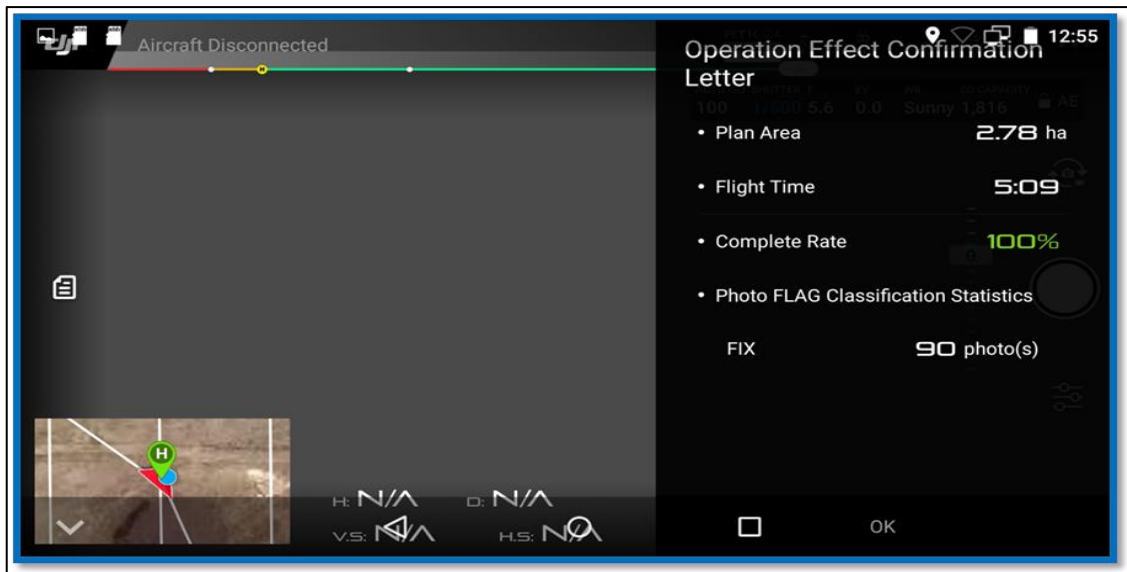
**Figura 30.** Vista de la Configuración de para la ejecución del vuelo con altura de vuelo 100m, GSD 2.74 cm/píxel y velocidad del vuelo 7 m/s



**Figura 31.** Verificación de que el dron, el control remoto y la antena wifi estén enlazados en la misma red



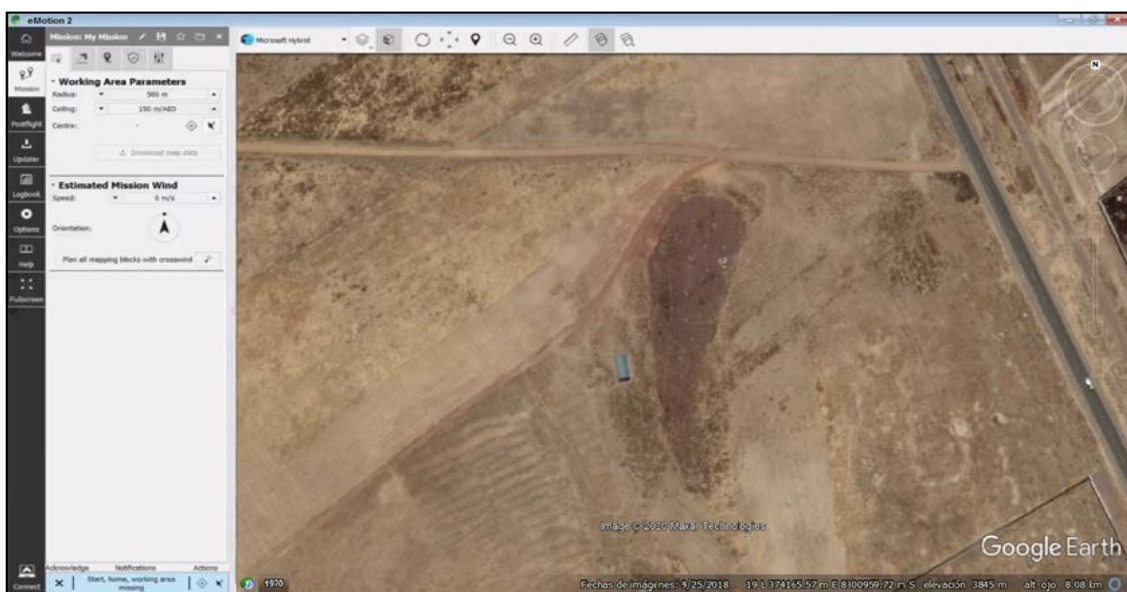
**Figura 32.** Vista de la ejecución del vuelo, trayectoria que sigue el RPA



**Figura 33.** Verificación de la información del trabajo área, tiempo y número de fotos obtenidos

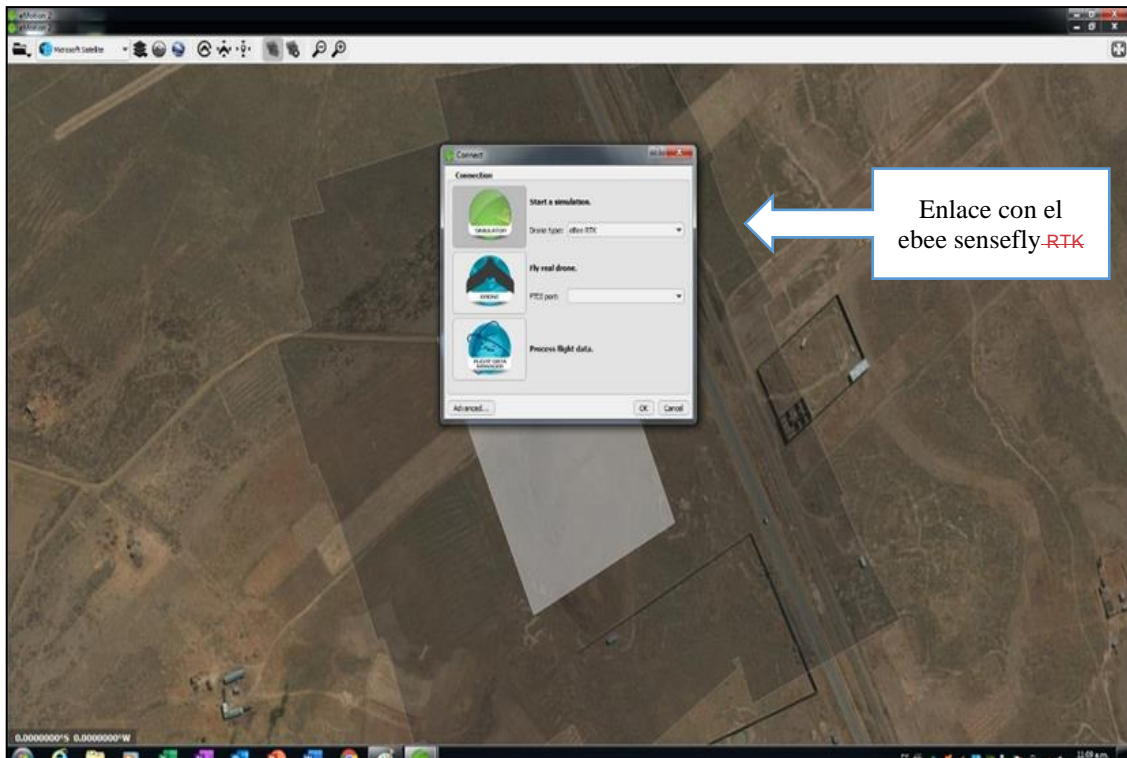
### 3.6.8. Ejecución del vuelo fotogramétrico con el dron de ala fija

El programa se denomina en eMotion 2 es un software con el cual se controla al Ebee Sensefly desde un ordenador. Este programa es el que envía la información de ruta y los cambios de parámetros al Ebee Sensefly y recibe la información de los parámetros internos y de posición del RPAS ala fija. En el software se encuentra diferentes apartados para facilitar la interacción entre el RPAS ALA FIJA y el operador.



**Figura 34.** Vista del software eMotion 2





**Figura 35.** Vista del enlace del software eMotion 2 con el RPAS Ebee Sensefly



**Figura 36.** Vista del PLAN DE VUELO en el software eMotion 2 enlazado con el RPAS Ebee Sensefly



Figura 37. Vista de la configuración de los parámetros de vuelo

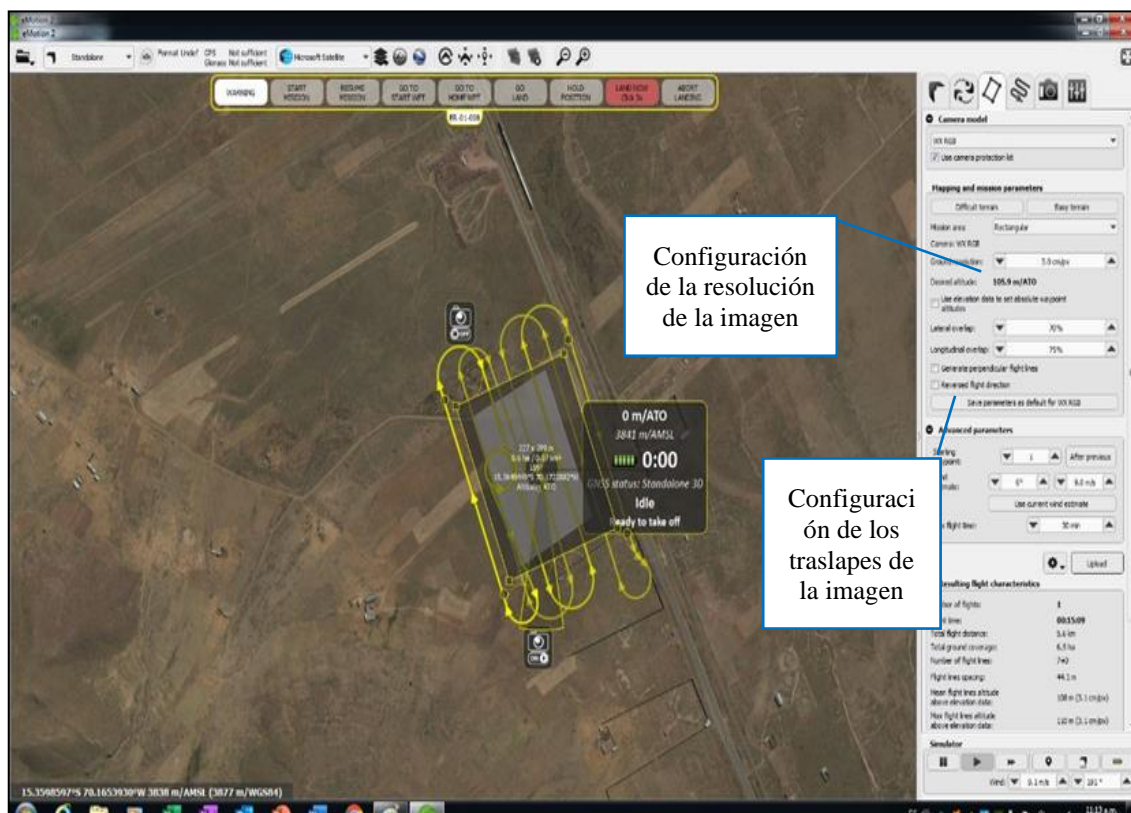


Figura 38. Vista de la configuración de traslapes y resolución de imagen





**Figura 39.** Vista del lanzamiento del RPAS para completar la toma de imágenes con los parámetros establecidos

### 3.6.9. Procesamiento de datos obtenidos del levantamiento topográfico

En esta etapa descrita como trabajo de gabinete, posterior a la recolección de información en campo, a fin de obtener resultados y con la ayuda de los programas utilizados que presentan mayor demanda generando resultados acordes a los objetivos del presente estudio. Así mismo, cabe indicar que este software viene siendo el más empleado a nivel regional. A continuación, se describen detalles del software utilizado y el desarrollo del cálculo:

#### a) Software empleado

Para el procesamiento de datos de la estación total se utilizó el software AutoCAD civil 3D 2020.

El software AutoCAD Civil 3D nos permite realizar trabajos en una superficie la cual podemos interactuar con sus herramientas para la creación de puntos, crear superficies, calcular volúmenes para movimientos de tierra, etc. Este software tiene



mucha importancia en trabajos de topografía. AutoCAD Civil también permite trabajar en vistas 2D y 3D, asimismo crear parcelas y describirlas, este software también es muy importante para el diseño de carreteras, pudiendo observar sus perfiles, rasante, etc. AutoCAD Civil tiene la opción de trabajar con tuberías en el área de la hidráulica para superficies en 3D, pudiendo observar sus perfiles longitudinales y sus características de una tubería, también tiene la opción de delimitar cuencas hidrográficas y determinar sus parámetros hidrológicos y geomorfológicos.

#### **b) Creación del proyecto**

Para el procesamiento de los datos obtenidos en el trabajo de campo con la estación total, la misma que se tiene en formato permitido por el sistema (csv) lo primero que se ha hecho es crear un proyecto de acuerdo a las indicaciones del software.

#### **c) Configuración de la zona de trabajo**

La configuración de la zona de trabajo se logra desde la herramienta TOOLSPACE en donde indicamos la zona en donde se esté ubicado. Este procedimiento es primordial puesto que son parámetros de ubicación que permite ubicar correctamente nuestro proyecto. Para lo cual se emplea el sistema de coordenadas UTM WGS84 ZONA 19 SUR.

#### **d) Importación de puntos**

El programa empleado nos permite crear puntos por diferentes métodos, uno de los métodos es la importación de puntos de un archivo que se tiene en la computadora en un formato (csv delimitado por comas) que es reconocible por el programa, las mismas que se obtuvieron en el trabajo de campo.

De acuerdo a la información de campo se han importado 1277 puntos con coordenadas topográficas.

### e) Creación de la superficie del terreno

La creación de la superficie se ha generado de acuerdo a los parámetros que nos establece por defecto el programa. Así mismo, para el cálculo de volumen se ha generado la superficie con curvas de nivel a cada 1 metro.

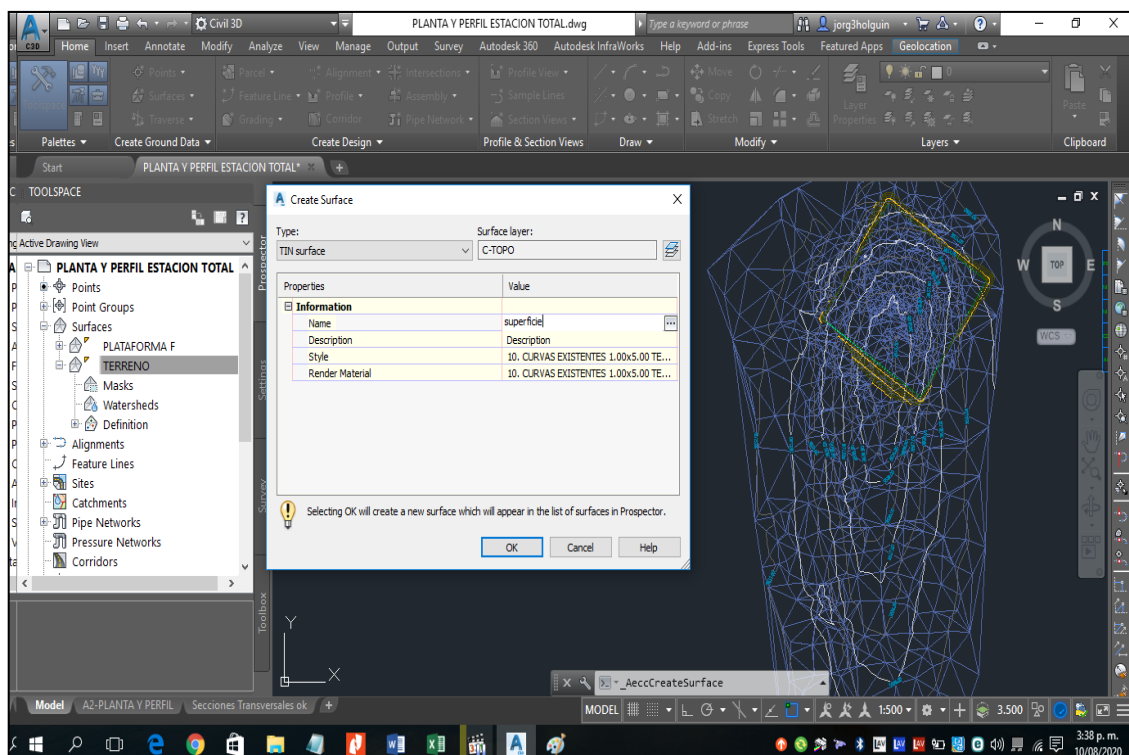
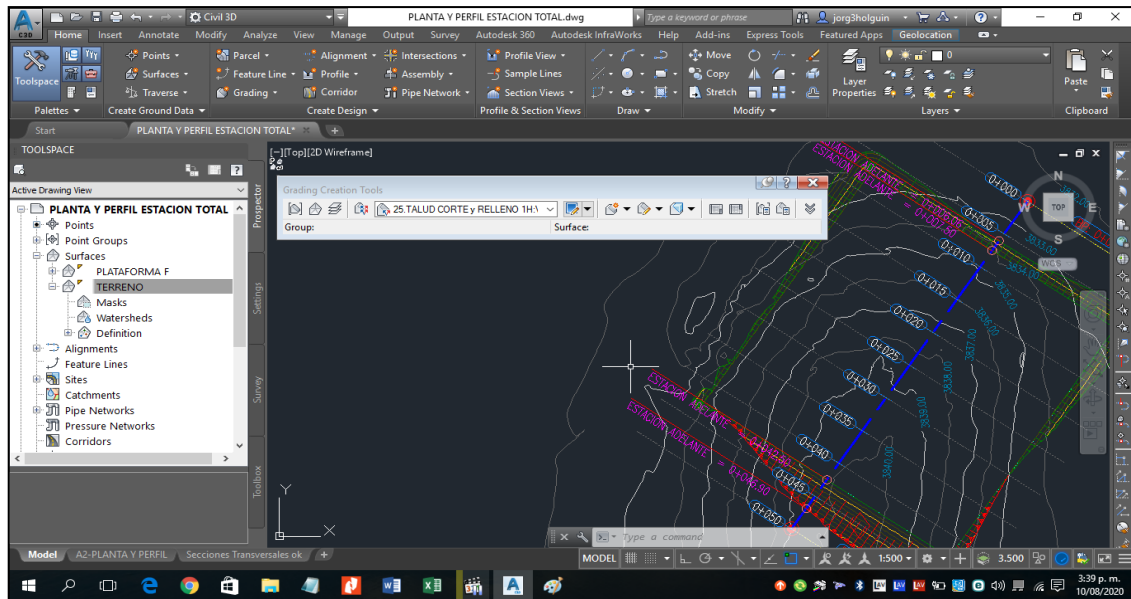


Figura 40. Creación de la superficie del terreno

### f) Delimitación del área de trabajo para la explanada

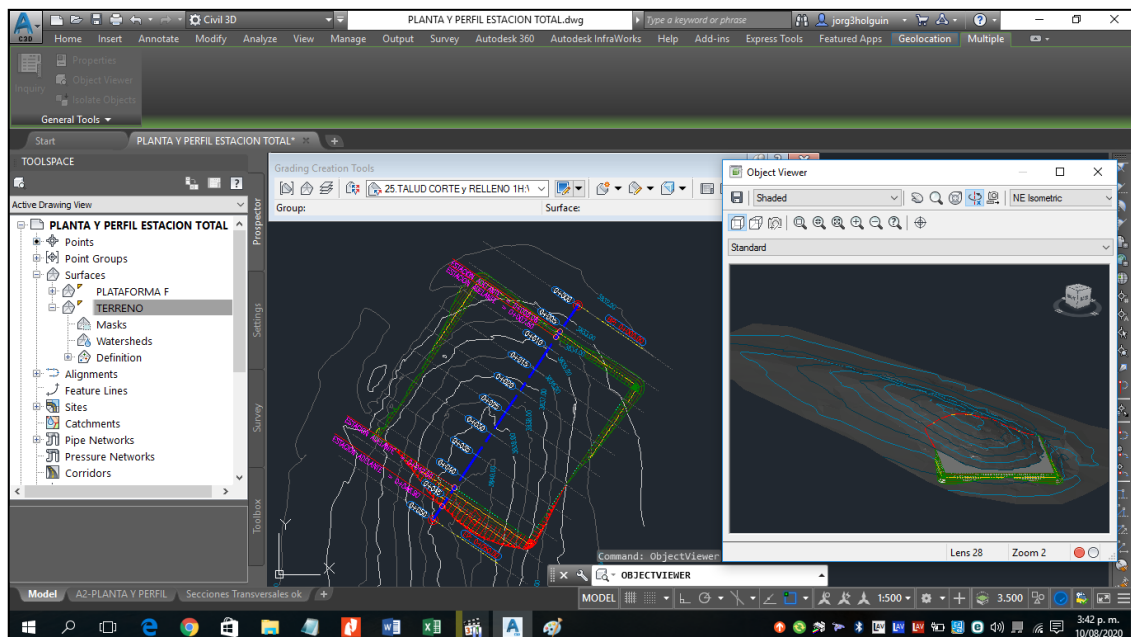
De acuerdo a lo establecido anteriormente el área de la plataforma fue de 35x35 metros y la ubicación de este perímetro fue de acuerdo a que el área elegida cuenta con la mayor cantidad de puntos en comparación al resto, este criterio ayudó a generar una superficie detallada con una triangulación promedio aproximada de 1.5 metros.



**Figura 41.** Delimitación del área de trabajo para la explanada

**g) Creación de la superficie de la explanada**

Para el cálculo de movimiento de tierras el software requiere dos superficies, por lo que creamos otra superficie a partir de la polilínea que delimita el área de la plataforma y los parámetros siguientes: cota de fondo o rasante 3835.00 msnm y talud de corte y relleno 1(H):1(V).



**Figura 42.** Creación de la superficie de la explanada

## h) Creación del perfil longitudinal y secciones transversales

Para una mejor vista e interpretación del trabajo es necesario la creación de perfil longitudinal y las secciones transversales, para los que se siguieron los siguientes pasos: Se crea un alineamiento de 50 metros la misma que está ubicada en el eje de la proyección de la plataforma de la que es posible la creación del perfil longitudinal en donde se detallan las cotas del terreno natural y las cotas de la plataforma y las alturas de corte y relleno en las diferentes progresivas del alineamiento; para la creación de las secciones transversales primeramente se crearon las líneas de muestreo a cada 5 metros y con un ancho de faja de 22 metros a los márgenes derecho e izquierdo. Los parámetros antes descritos hicieron que toda la muestra en estudio sea cubierta para que de esa manera se pueda obtener resultado óptimo.

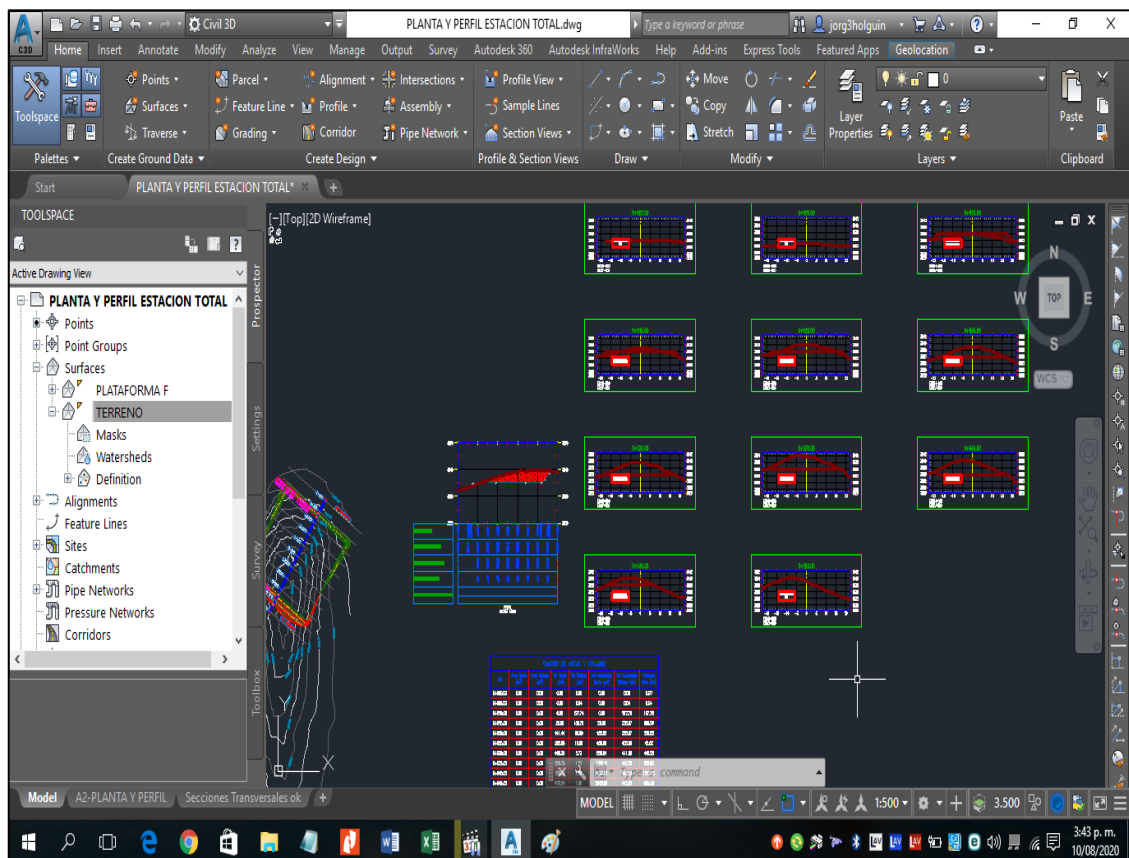


Figura 43. Creación de perfil longitudinal y secciones

## i) Cálculo de volumen

Realizando un análisis de los métodos que tiene el programa AutoCAD Civil 3D se ha elegido el método de VOLUMEN COMPUESTO por la metodología de trabajo y mejor precisión que se obtiene. Es necesario indicar que este método hace que en las secciones transversales obtenidas no sea posible el sombreado de los cortes y rellenos además de que no calcula las áreas de corte y relleno.

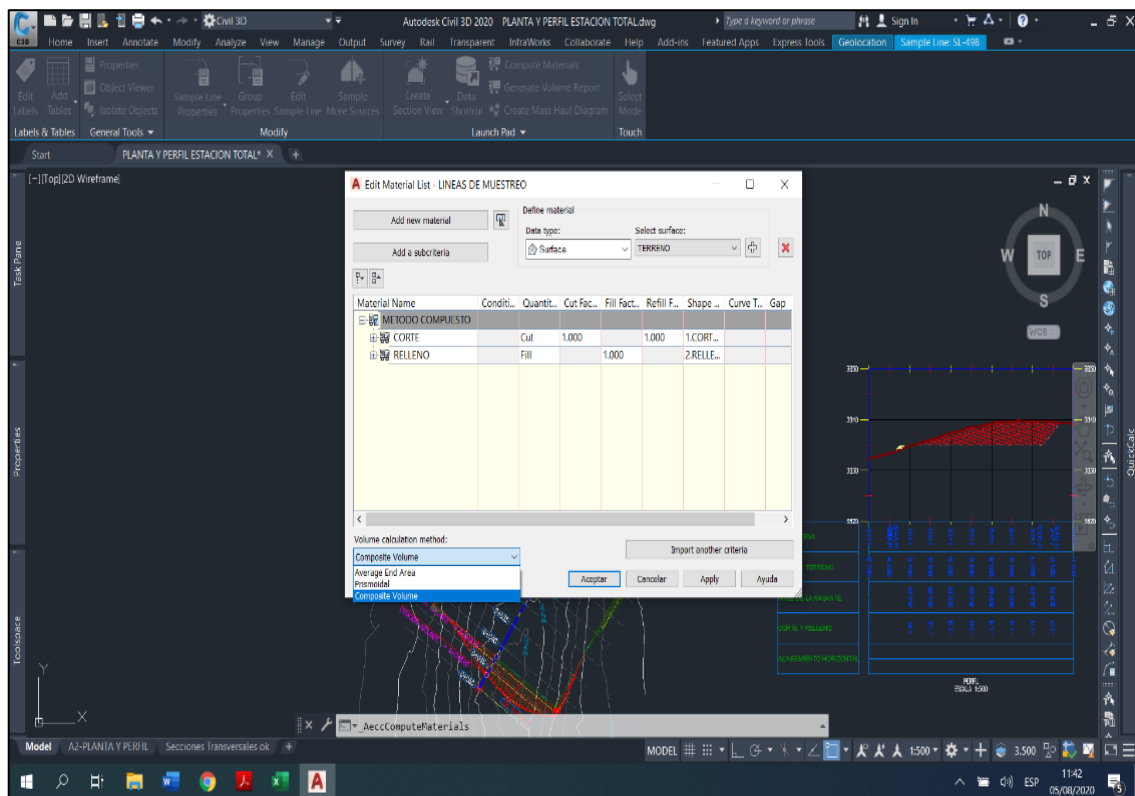


Figura 44. Vista de la elección del método de cálculo

## j) Resultados obtenidos

Concluido el proceso para el cálculo de volumen se han generado los siguientes planos:

- Plano topográfico del proyecto (anexo 02)
- Plano de planta y perfil longitudinal (anexo 02)



- Plano de secciones transversales (anexo 02)
- Además, se han obtenido los siguientes resultados:

**Tabla 12.** Volumen con datos obtenidos por la estación total

CUADRO DE VOLUMENES - ESTACION TOTAL							
Km	Area	Area	Vol	Vol	Vol	Vol	Volumen
	Corte	Relleno	Corte	Relleno	Acumulado	Acumulado	
	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	Corte (m <sup>3</sup> )	Relleno (m <sup>3</sup> )	Neto (m <sup>3</sup> )
0+000.00	0	0	0	0	0	0	0
0+005.00	0	0	0	0.04	0	0.04	0.04
0+010.00	0	0	0	197.74	0	197.79	197.78
0+015.00	0	0	26.58	135.78	26.58	333.57	306.99
0+020.00	0	0	141.44	55	168.02	388.57	220.55
0+025.00	0	0	282.96	19.8	450.98	408.36	42.62
0+030.00	0	0	409.35	2.73	860.34	411.09	449.25
0+035.00	0	0	508.78	1.23	1369.11	412.32	956.8
0+040.00	0	0	558.01	1.06	1927.12	413.38	1513.75
0+045.00	0	0	478.54	1.68	2405.66	415.05	1990.61
0+050.00	0	0	46.17	0	2451.84	415.05	2036.78

Del cuadro se puede describir que los volúmenes calculados mediante los datos obtenidos del levantamiento topográfico con estación total son los siguientes:

- Volumen de corte calculado 2451.84 m<sup>3</sup>
- Volumen de relleno calculado 415.05 m<sup>3</sup>.

Del trabajo realizado en campo y gabinete para llegar a los resultados finales que son la creación de plano para su impresión ha sido necesario el siguiente tiempo:

**Tabla 13.** Tiempo empleado - estación total

<b>TIEMPO EMPLEADO EN EL CALCULO DE VOLUMEN CON DATOS DE LA ESTACION TOTAL</b>			
<b>Trabajo en campo</b>			
	inicio	final	Tiempo
Montaje de la estación total	07:00:00	07:05:00	00:05:00
Creación del archivo y configuración	07:05:00	07:10:00	00:05:00
Toma de datos 1	07:10:00	12:00:00	04:50:00
Toma de datos 2	13:00:00	17:30:00	04:30:00
Tiempo sub total			09:30:00
<b>Trabajo en gabinete</b>			
	inicio	final	Tiempo
Empleo del software AutoCAD civil 3d para el cálculo de volúmenes	08:00:00	13:00:00	05:00:00
Tiempo sub total			05:00:00
<b>TIEMPO TOTAL</b>			<b>14:30:00</b>

### 3.6.10. Procesamiento de datos obtenidos de los vuelos fotogramétricos

#### a) Procesamiento digital de imágenes

El resultado de los vuelos fotogramétricos de este trabajo es un conjunto de información aérea (fotografías georreferenciadas) y terrestre (puntos de apoyo terrestre) que permite proceder a la etapa de procesamiento de datos.

En la etapa de procesamiento de datos se utiliza un software especializado en fotogrametría que hace uso de los principios fundamentales de la técnica para hacer el tratamiento digital de las imágenes, integrando la información de cada imagen aérea georreferenciada y de los puntos de apoyo terrestre para la obtención de un modelo digital de terreno (MDT).



Existe una variedad de programas especializados capaces de realizar procesamientos fotogramétricos y el posterior tratamiento de estos, creando una nube de puntos con coordenadas x, y, z, un modelo digital del terreno y composición de una orto foto georreferenciada. Programa que se utilizó en esta investigación es Agisoft Metashape Professional.

En la presente esta investigación las imágenes fueron tomadas en diferentes épocas del año, con el fin de comprobar la influencia en los parámetros del procesamiento durante la clasificación de nube de puntos, el RPAS ala rotatoria fue tomada en el mes de febrero, estación de verano por la enorme variedad de colores que presentan la vegetación diferenciables del terreno natural, en cambio el RPAS ala fija fue tomada en el mes de julio en una época de otoño donde la vegetación se torna de color amarillo a causa de la heladas que se presentan en el altiplano lo cual tiene poca diferencia con el terreno natural.

#### **b) Agisoft Metashape Professional**

Es un producto de software independiente que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D para su uso en aplicaciones SIG, documentación del patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de varias escalas.

#### **c) Creación del proyecto en Agisoft Metashape Professional**

Para iniciar el procesamiento de las imágenes en el programa es necesario la creación de un proyecto, contando con dos opciones para realizar esta acción: crear un nuevo proyecto.

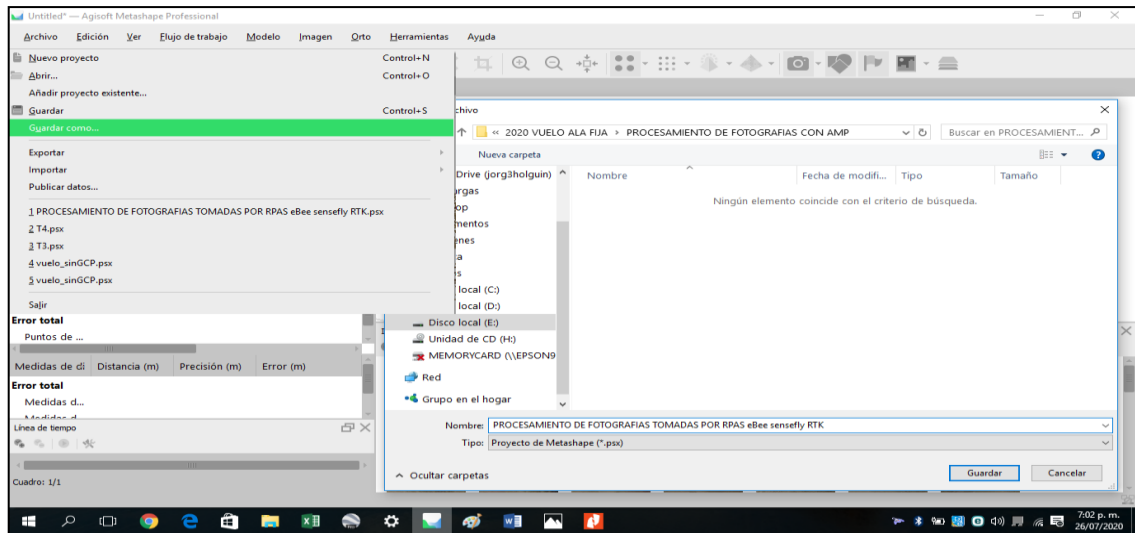


Figura 45. Vista de la creación de carpeta de trabajo en el ordenador

#### d) Importar imágenes

Luego de asignar un nombre y directorio al nuevo proyecto se procede a seleccionar las imágenes que serán procesadas, para esto vamos al “flujo de trabajo” o espacio de trabajo en donde encontraremos un botón llamado “añadir fotos” y procedemos a seleccionar la carpeta de las imágenes y posteriormente procedemos a cargarlas. se seleccionan todas fotografías con un nombre y/o código de secuencia con coordenadas de cada foto es recomendable identificar la calidad de la fotografía para no generar muchos errores.

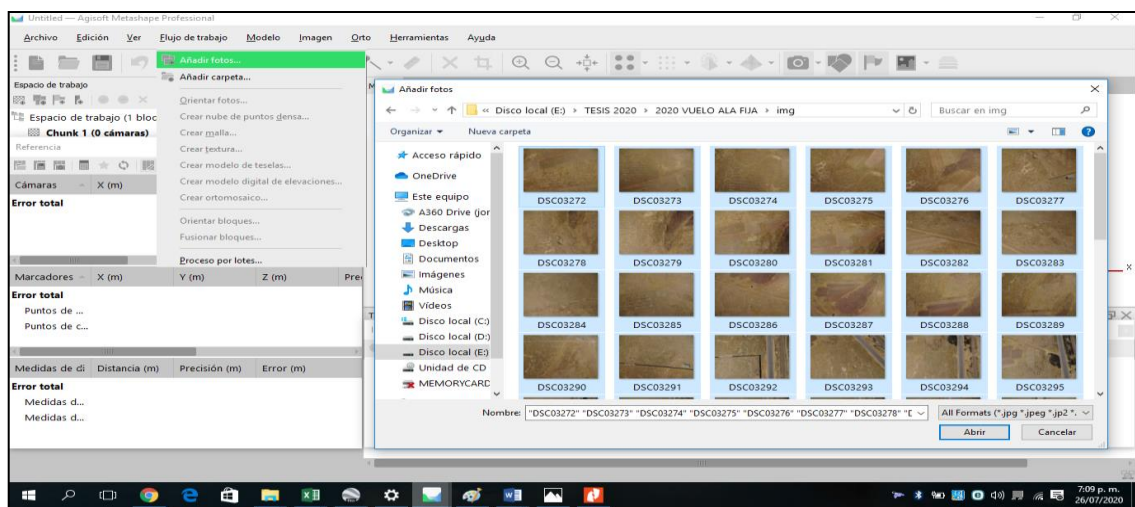


Figura 46. Vista de la importación de fotografías al software

### e) Orientar imágenes para procesamiento

El primer procedimiento para orientar las imágenes consiste en realizar una georreferenciación o geo-etiquetado de las imágenes. El programa en el que se realizó la planeación del vuelo nos permite descargar un archivo de coordenadas geográficas que fueron asignadas a cada punto en donde el Drone tomó una fotografía. Para ello se va a “flujo de trabajo” >” Orientar fotos”.

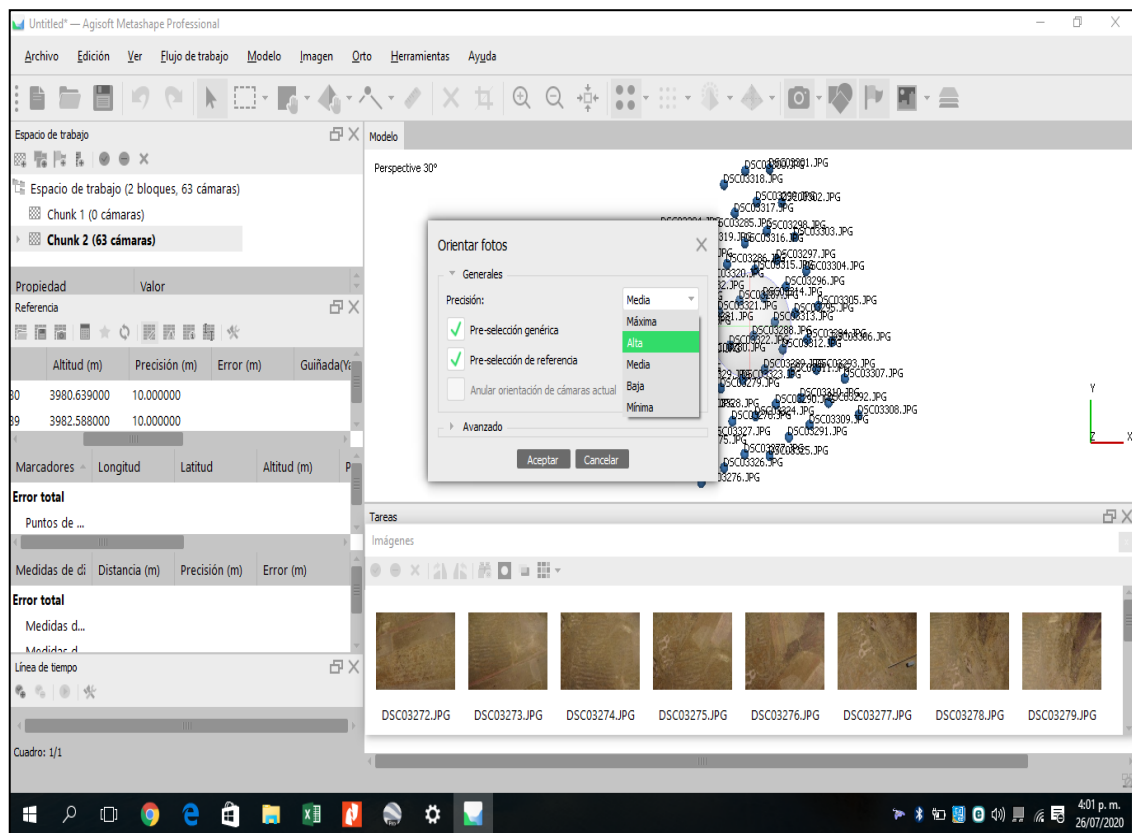
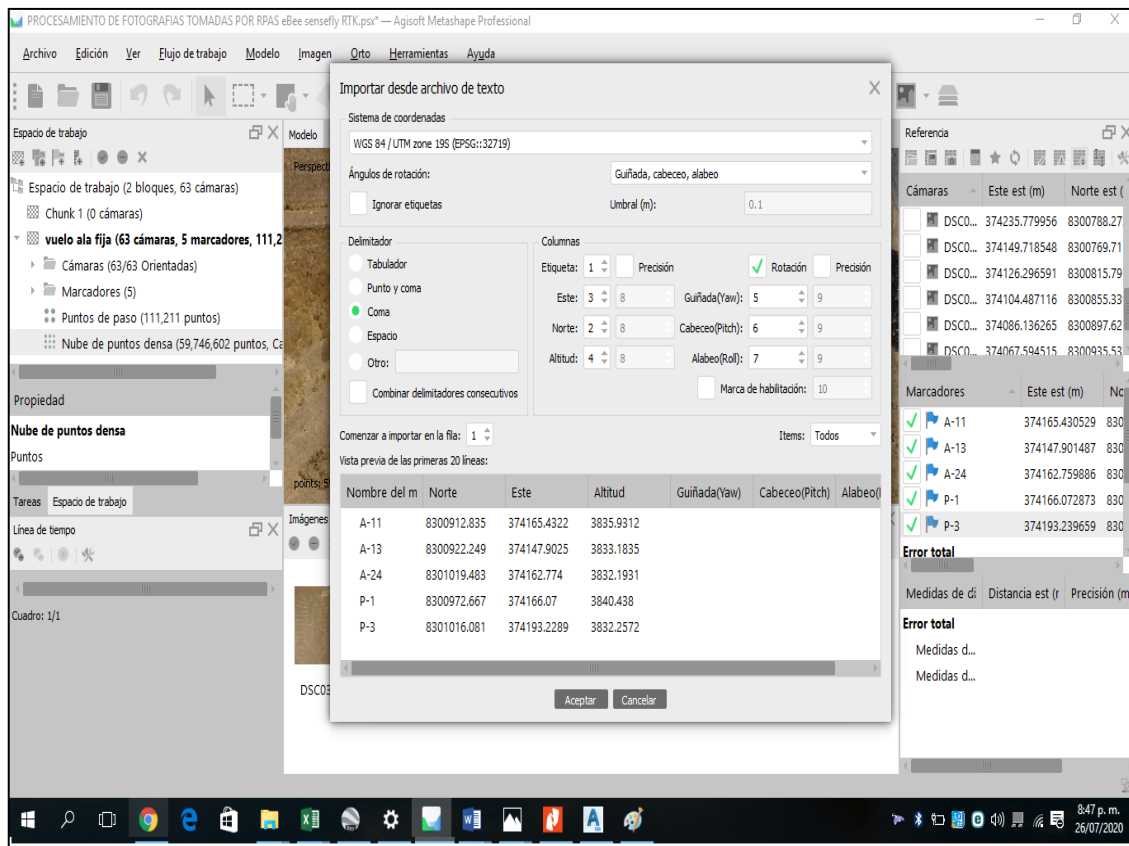


Figura 47. Vista de la configuración orientación de fotografías

### f) Importar puntos de control terrestre (GCP)

La georreferenciación de las imágenes en el software consiste en cargar las coordenadas conocidas de los puntos de control Monumentados que se obtuvieron en campo con el GPS diferencial o con la estación total, y posteriormente ubicarlos en las fotografías (por esta razón es de gran importancia materializar o marcar bien los puntos

en el terreno para que se visualicen con facilidad en las fotografías). Como se indicaba anteriormente la georreferenciación se realiza con el Datum WGS-84 19L con el fin de que las fotografías no queden desconfiguradas ni en posición (ESTE, NORTE) ni en altura (z). Además de que los productos tengan una Ubicación en coordenadas UTM correcta para poder empalmar con cualquier otro proyecto.

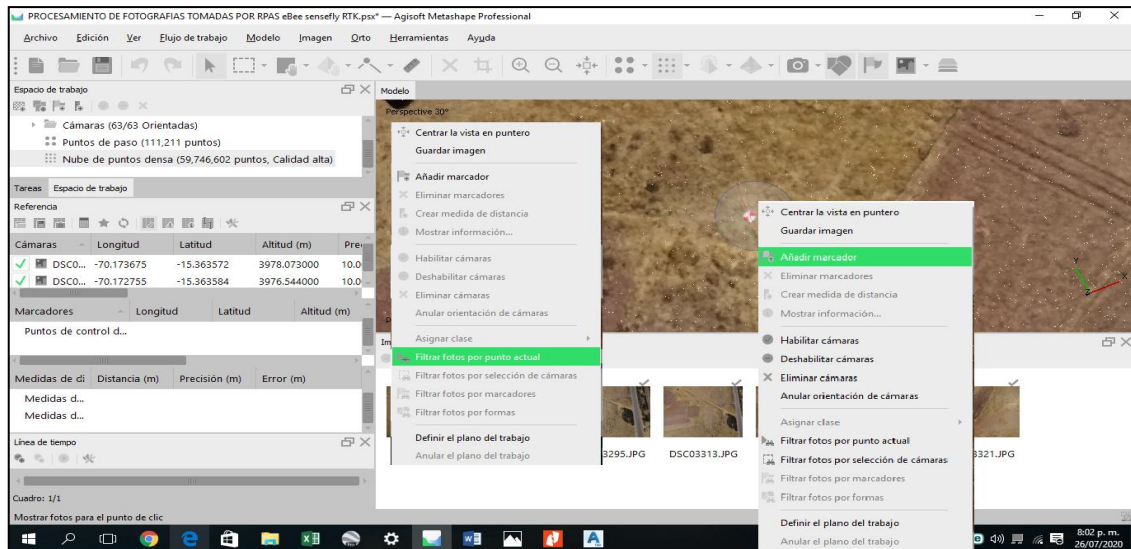


**Figura 48.** Vista de la importación de los Puntos de Control Terrestre en formato \*.csv

### g) Georreferenciar imágenes

Teniendo las coordenadas UTM de los puntos de control en el software, se procede a ubicar los puntos de control en las imágenes que correspondan. Para ubicar los puntos de control solo se debe encontrar una imagen con el punto. luego se le debe dar click derecho y se pica la opción de filtrar fotos por punto y automáticamente ubicar las fotos con el punto de control.

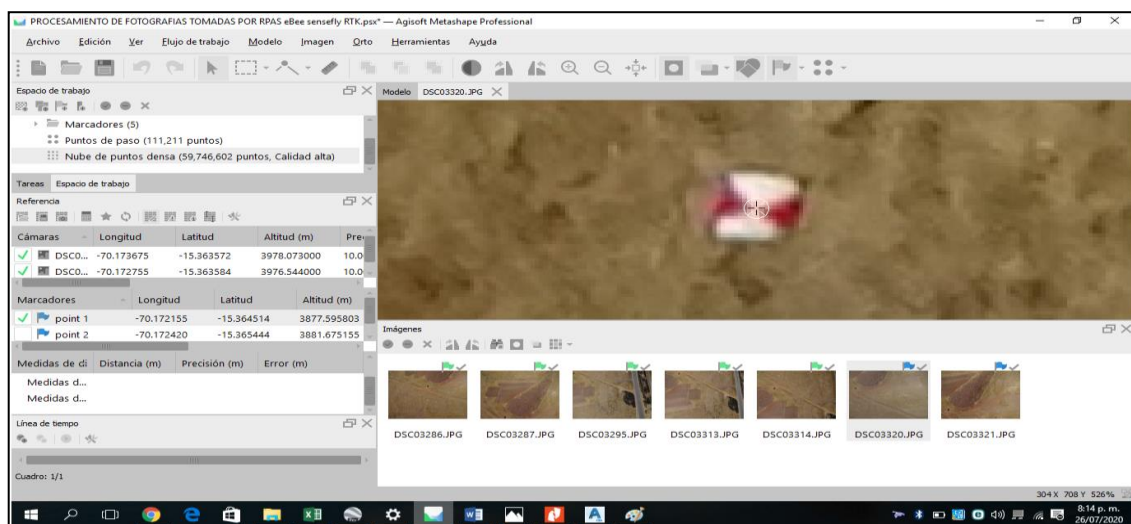




**Figura 49.** Vista de la ubicación de los Puntos de Control Terrestre con sus marcadores respectivos

#### **h) Ajuste de puntos de control en las imágenes**

Una vez ubicado el punto se aumenta el zoom hasta encontrar el pixel que está en el centro del punto de control y picamos clic derecho, seleccionamos la opción “añadir marcador” y se selecciona el que corresponda. Este mismo proceso se realiza para todas las imágenes en la que aparezcan puntos de control y se ajustan los marcadores con la opción de filtrar fotos en los puntos de control para poder reajustar el marcador de color verde indica que ya se ajustó.



**Figura 50.** Vista del ajuste en cada imagen para mayor precisión

### i) Crear nube de puntos densa

Se continua con el flujo de trabajo, el siguiente paso a realizar es la nube densa de puntos para este proceso se va a “flujo de trabajo” se pica en “nube de puntos densa” o se construye nube densa de puntos. Igualmente, que, en el proceso de alineación de las fotos, el software proporciona los parámetros para el dicho proceso las cuales será precisión “alta” y en opciones avanzadas en filtración “modo agresivo” para que tenga calidad el trabajo de investigación.

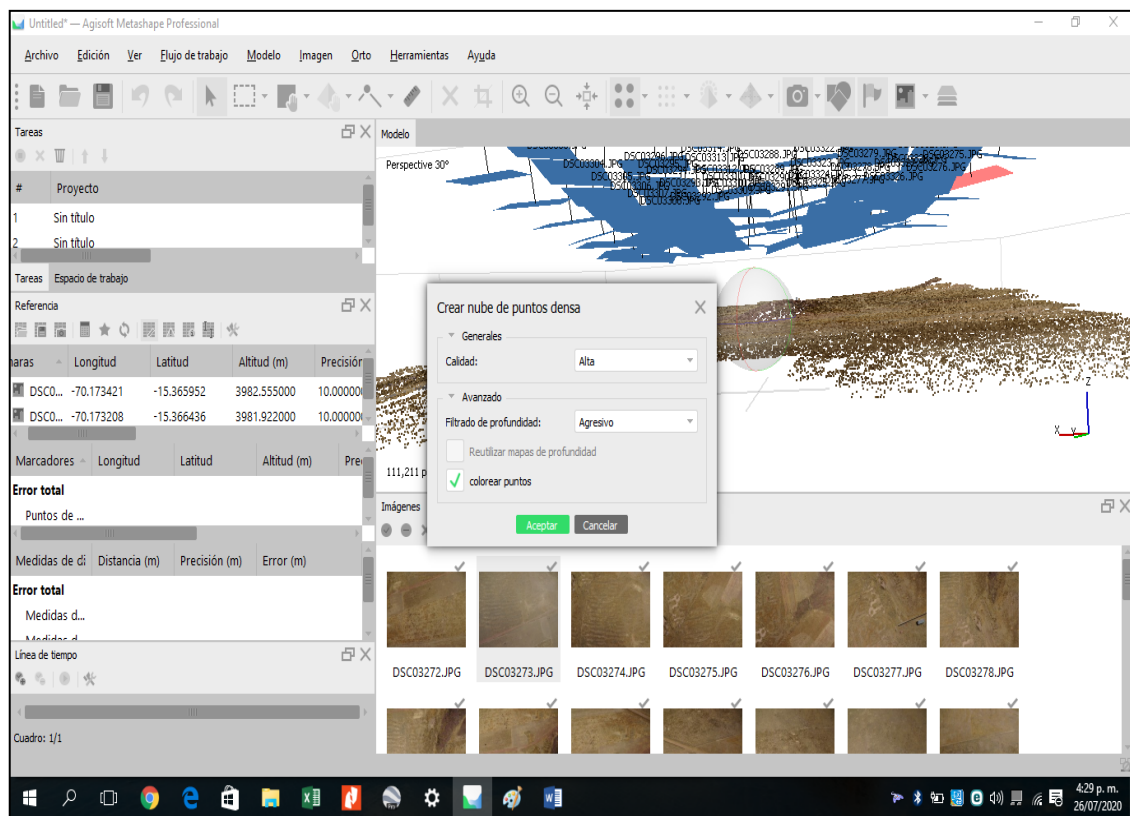


Figura 51. Vista de la creación de la nube de puntos densa

### j) Optimizar orientación de cámaras

En la optimización de cámaras se va a encontrar distintas opciones, como tipo de cámara, tamaño del pixel, distancia focal. Parámetros establecidos por el software que mejoran el proceso.



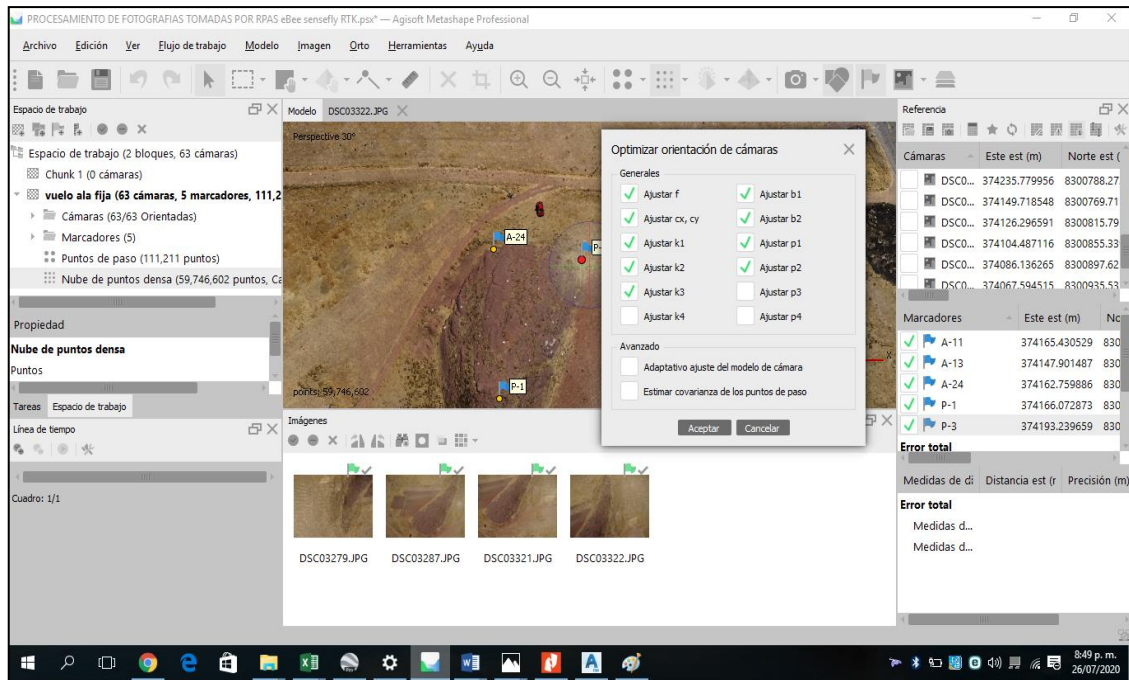


Figura 52. Vista de la optimización de orientación de la cámara

### k) Clasificación de Nube de puntos

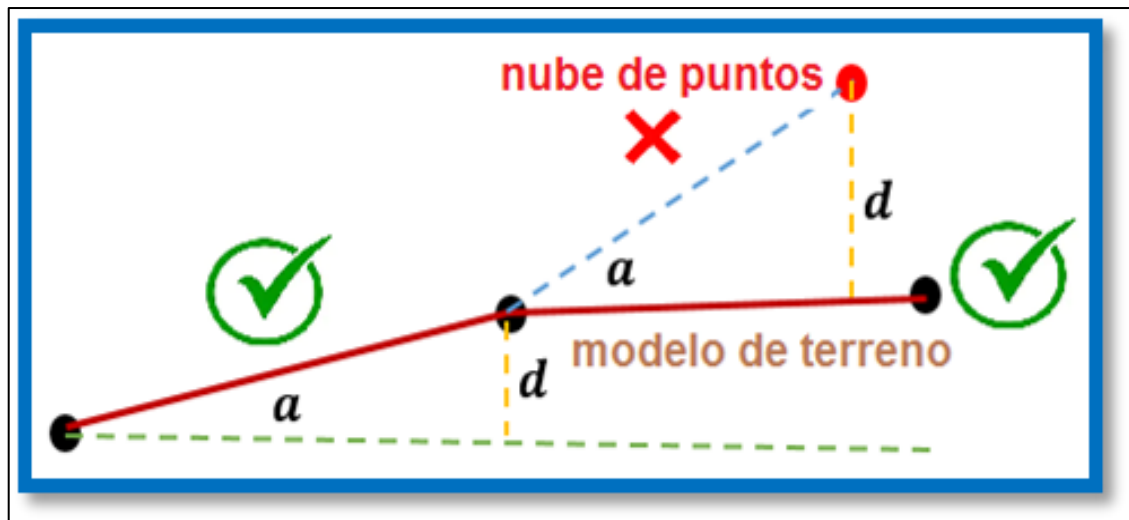
Para poder clasificar la nube de puntos el software tiene algoritmos para identificar los puntos a nivel de terreno que sirve para formar la superficie real de la superficie del teniendo estas consideraciones:

Angulo máximo **a** (deg): establece un límite para un Angulo en grado sexagesimales entre el modelo del terreno y la línea para conectar el punto en cuestión con un punto de una clase de tierra.

Distancia máxima **d** (m): establece la limitación para una distancia entre el punto en cuestión y el modelo del terreno este parámetro determina el supuesto de la variación máxima de la elevación de suelo.

Tamaño de cedula (m): determina el tamaño de la cuadrícula para que la nube de puntos se divida como un paso preparatorio. debe indicarse con respecto al área más

grande dentro de la escena que no contiene ningún punto del suelo por ejemplo edificio o árbol.



**Figura 53.** Criterios para clasificación de nube de puntos

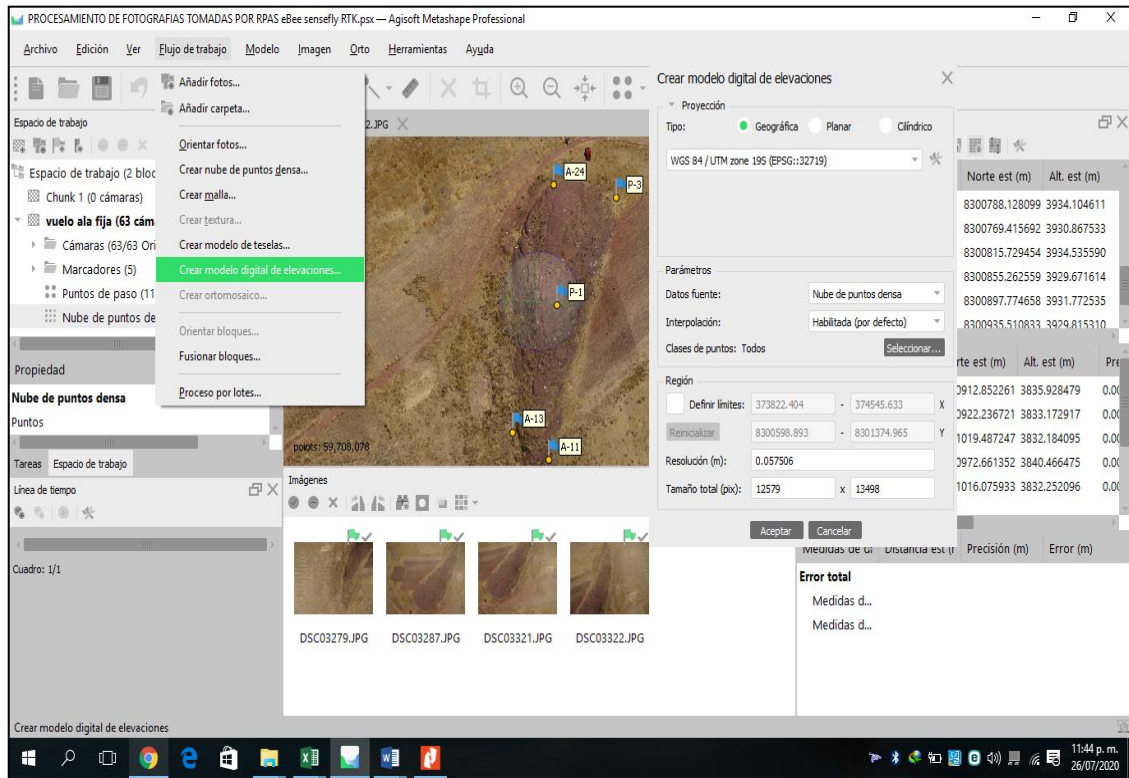
En el flujo de trabajo se dirige a la opción de clasificar puntos de terreno y se configuran los parámetros en el área de trabajo el ángulo máximo que se puede optar es haciendo un perfil rápido con los datos del levantamiento topográfico teniendo como resultados 30° sexagesimales y una distancia máxima de vegetación baja de 0.05m.

Una vez procesada la información se tiene clasificada la nube de puntos de terreno, el área de trabajo tiene vegetación baja y media el cual necesita la clasificación por color el cual permite seleccionar un color en la nube para poder filtrar asignar una clase (carretera, agua, vegetación, viviendas, automóviles, etc.). solo se exporta las clases de puntos que se necesita para los objetivos y generar una superficie en el software AutoCAD civil 3d.

#### **1) Crear modelo digital de elevaciones**

El modelo digital de elevación es uno de los productos con mayor interés en el procesamiento de imágenes, ya que a partir de esta imagen ráster es posible generar

modelos digitales de terreno, curvas de nivel, entre otros. Para la creación del MDE es necesario continuar con el Flujo de trabajo y va a “generar modelo digital de elevaciones”, y se procede a cambiar los parámetros.



**Figura 54.** Vista de la creación del Modelo Digital de Terreno

### m) Crear orto mosaico

Se crea una imagen georreferenciado organizado como mosaico a partir de una colección de imágenes en el que la distorsión geométrica se ha corregido. Este es el último proceso de imágenes y como producto final en él se pueden realizar medidas lineales de gran precisión y sirve como base para cualquier tipo de sistema de información geográfica.

Para realizar el Ortomosaico se dirige a Flujo de trabajo y se da clic en “Ortomosaico” se procede a cambiar los parámetros de según necesidad de resultados.

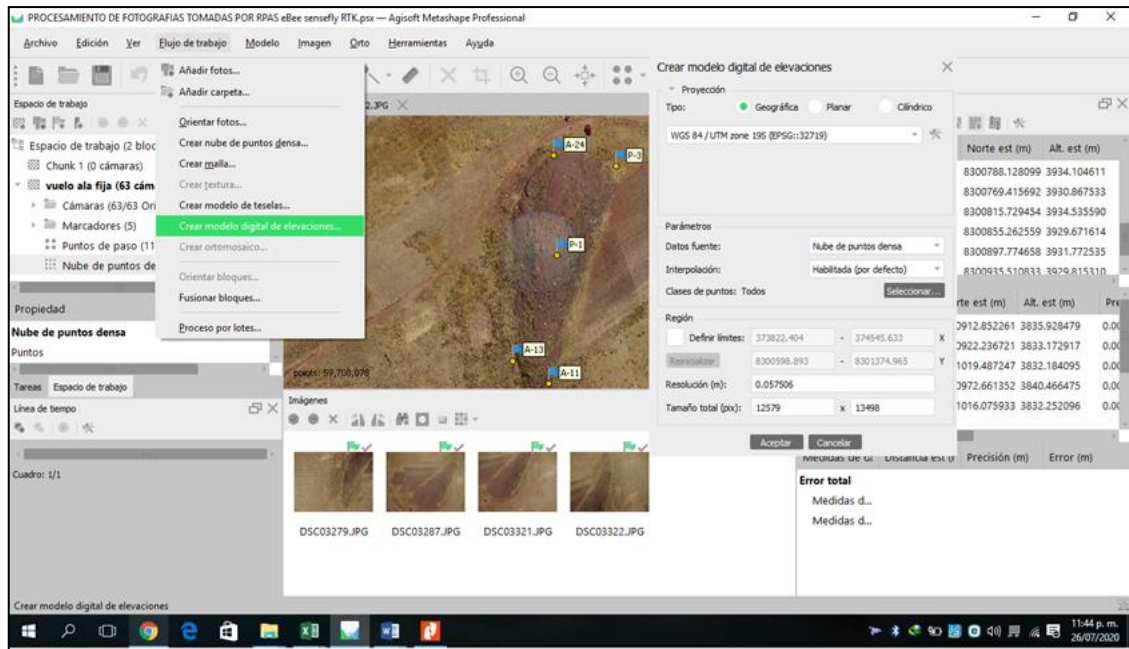


Figura 55. Vista de la creación del Ortomosaico

n) **Exportar nube de puntos en formato \*.LAS**

Culminando el proceso se procedió a exportar la nube densa de puntos georreferenciados al formato \*.Las para su posterior Clasificación de nube de puntos en otro software.

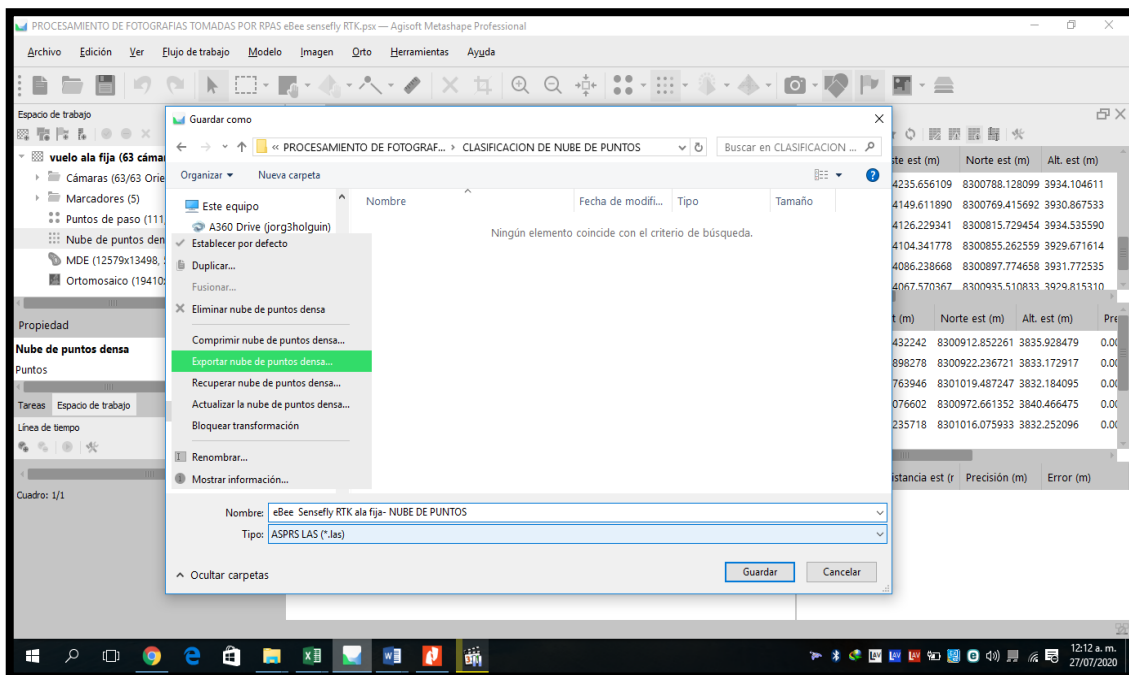


Figura 56. Vista de la exportación de nube de puntos densa en formato \*.LAS

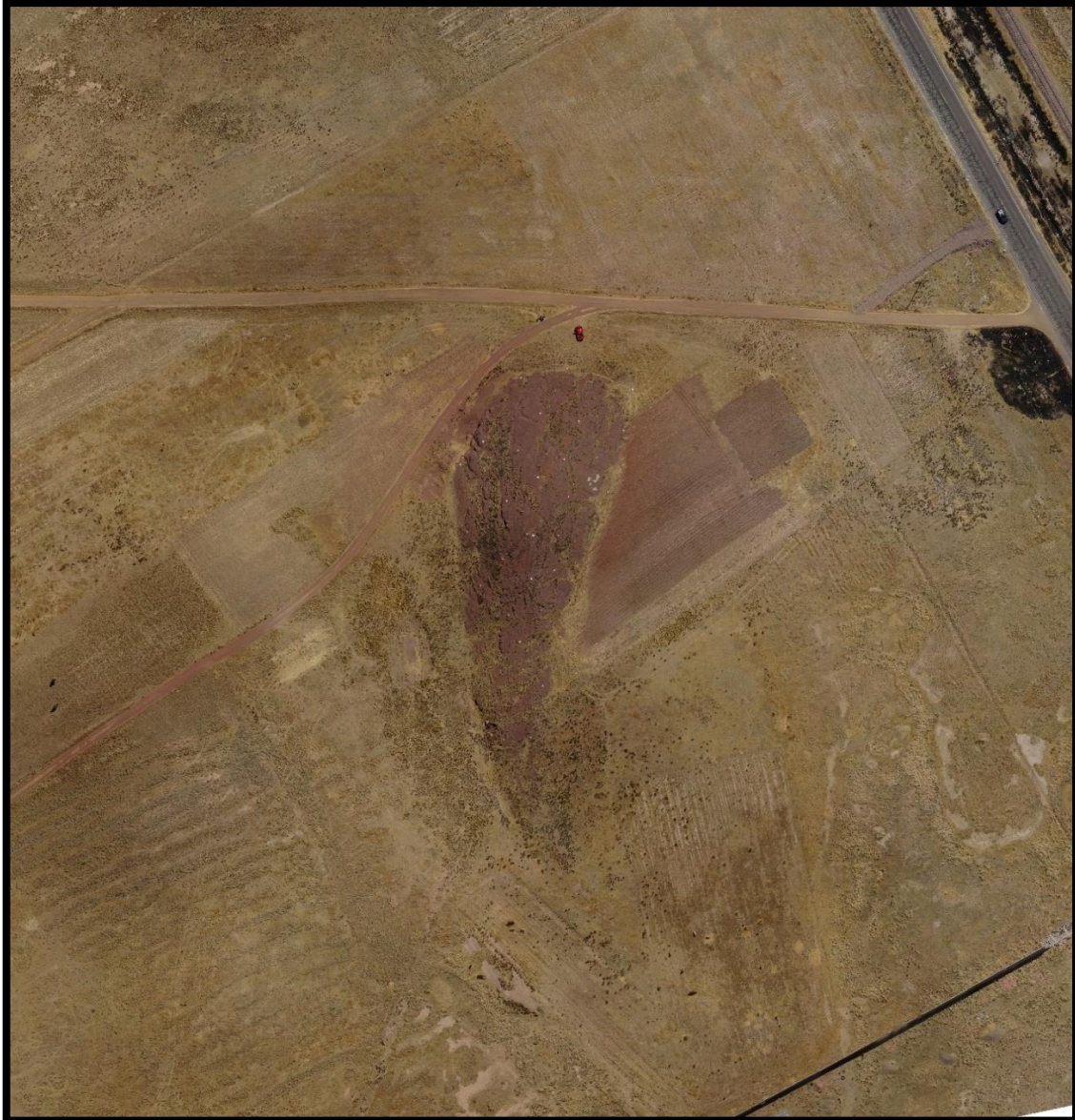


o) **Exportar ortomosaicos**



**Figura 57.** Vista de la exportación del Ortomosaico RPAS ala rotatoria.





**Figura 58.** Vista de la exportación del Ortomosaico RPAS a la fija en formato \*.PNG

**p) Cálculo de volumen con el software AutoCAD civil 3d**

Para determinar uno de los objetivos en este proyecto de investigación al cálculo de volumen de corte y relleno a partir de nube densa de puntos clasificados es utilizar los software Autocad civil 3d y Autodesk Recap.

**q) Importar nube de puntos al AUTEDESK RECAP**

Las nubes de puntos se obtienen de datos sin formato escaneados a partir de nube de puntos que se exportan del agisoft metashpe. Después de recopilar los datos sin

formato, estos deben convertirse en archivos de nube de puntos legibles. Autodesk ReCap convierte datos de exploración sin formato en archivos de exploración (archivos RCS) y archivos de proyecto (archivos RCP) que hacen referencia a varios archivos RCS. Ambos formatos se pueden enlazar a un dibujo de AutoCAD CIVIL 3D. para ello se crea un archivo>>se importa la nube de puntos>> se guarda en el formato \*RCP para poder impórtalo en el AutoCAD Civil 3D.

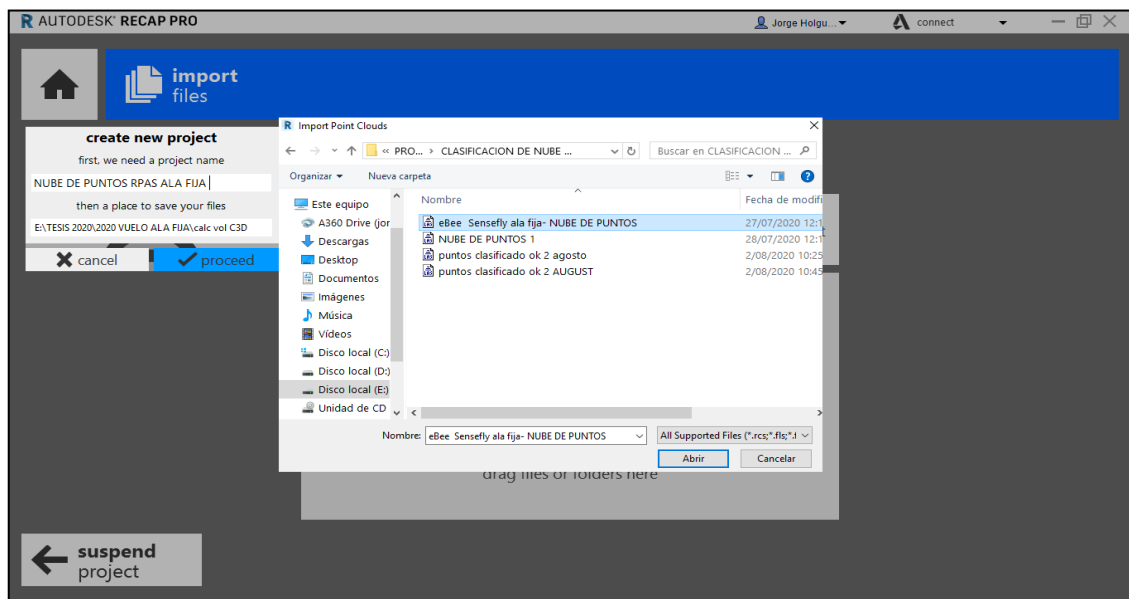


Figura 59. Importación de nube de puntos

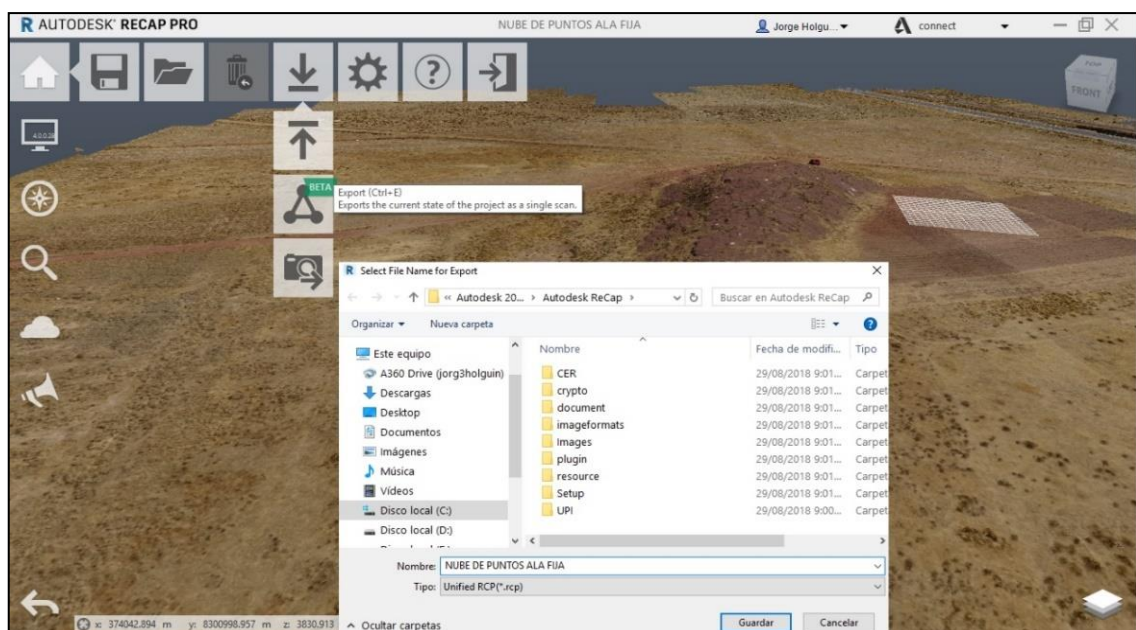
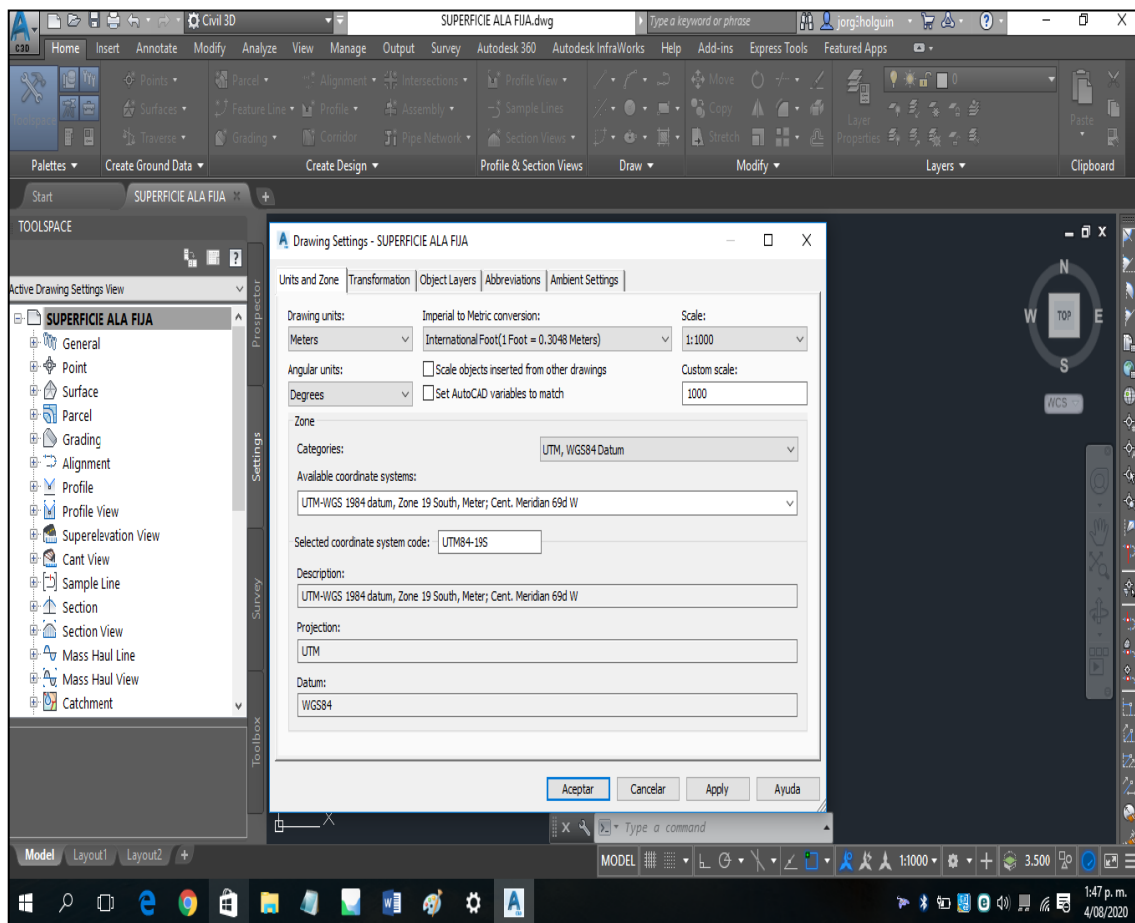


Figura 60. Exportación de puntos en formato legible por AutoCAD (.rcp)

## r) Importar Nube de puntos al AUTOCAD CIVIL 3D

La acción de enlazar un archivo RCS o RCP es muy similar a la de enlazar cualquier otra referencia externa (refX). Si la unidad de medida de la nube de puntos enlazada difiere de las unidades del dibujo de destino, la nube de puntos se escala automáticamente en función del tipo de unidad del dibujo de destino.

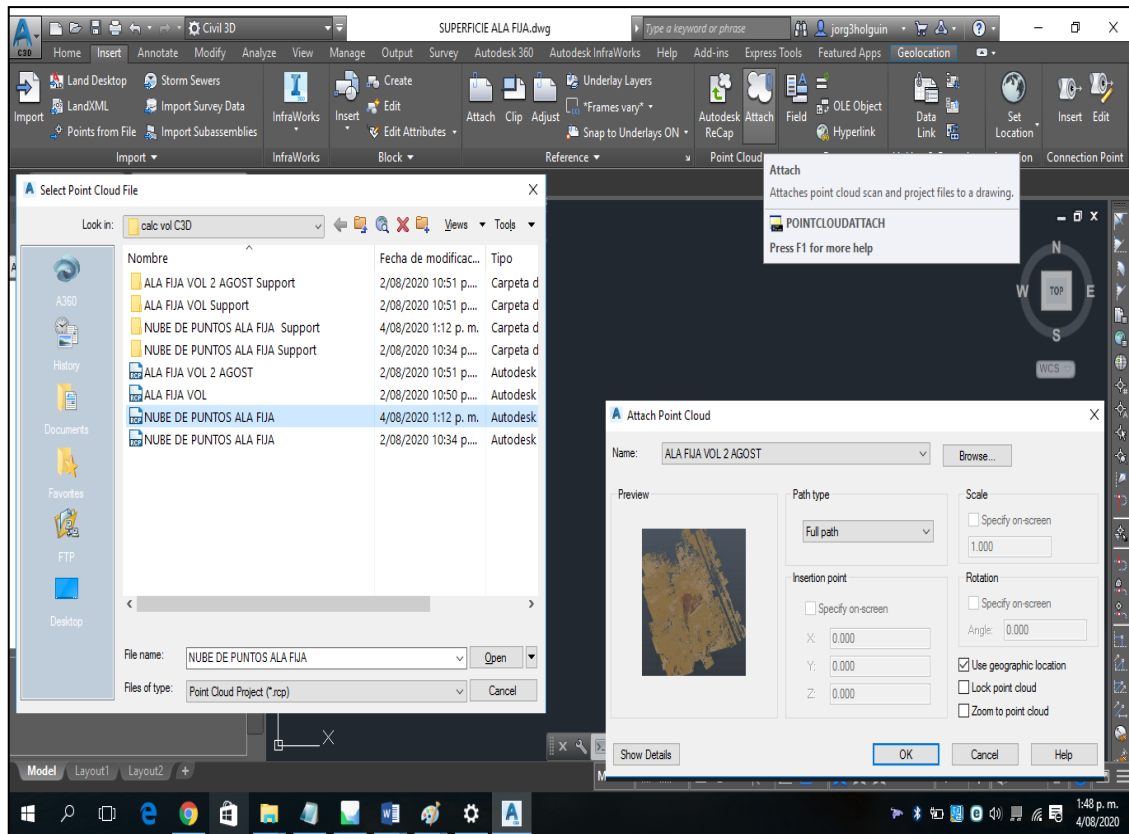
En el apartado configuraciones se procede a georreferenciar el sistema de proyección.



**Figura 61.** Configuración del sistema de coordenadas en AutoCAD civil 3d

Cuando se adjunta el dibujo de Autodesk Civil 3D, Insert >> Panel de referencia Adjuntar (comando ATTACH).>>seleccionamos archivo de nube de puntos formato \*.RPC.





**Figura 62.** Importación de nube de puntos al AutoCAD civil 3d

**s) Generar superficie de terreno**

Se crea una superficie TIN a partir de archivos de exploración de nube de puntos en formato RCP.

Se selecciona la nube de puntos >> click en crear superficie a partir de nube de puntos. >> se configura el nombre y la plantilla para que se muestre en el modelo >> el AutoCAD Civil 3D tiene la opción página Point Cloud Selection, ajusta la selección de las nubes de puntos y las áreas de nubes de puntos. En este caso se densifica la nube de puntos el cual tomara un punto cada 1 metro. >> Non-Ground Point Filtering, se indican las opciones para filtrar puntos que no son fijos, como ya se clasificó no es necesario activar una filtración.

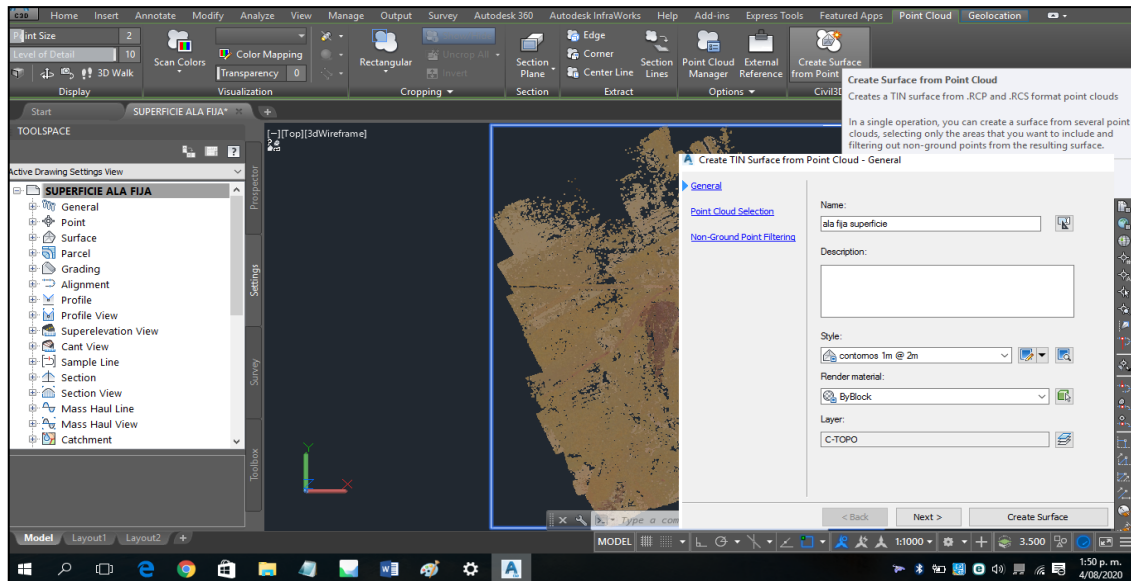


Figura 63. Creación de la superficie topográfica

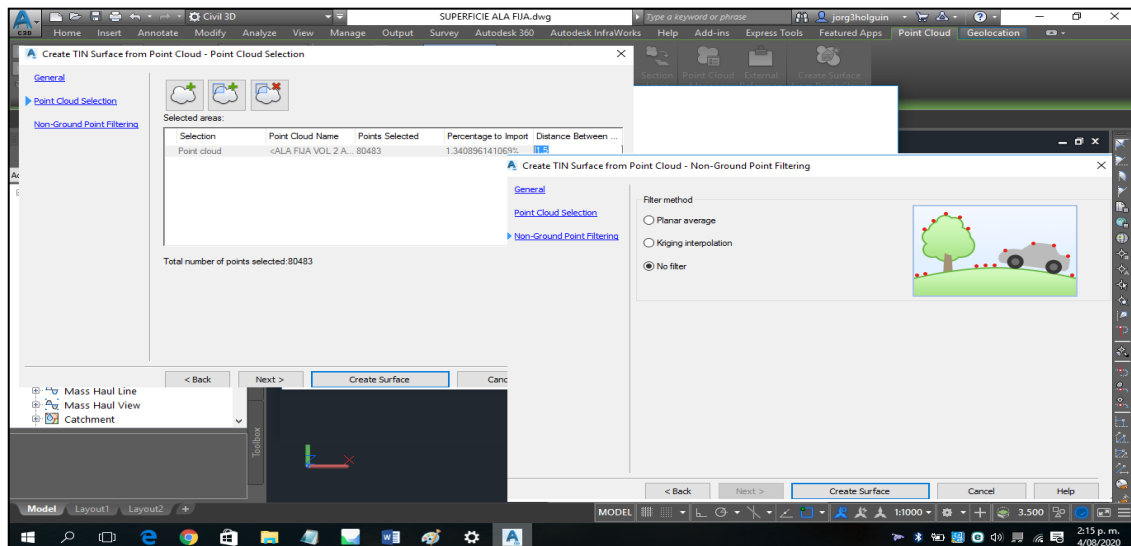
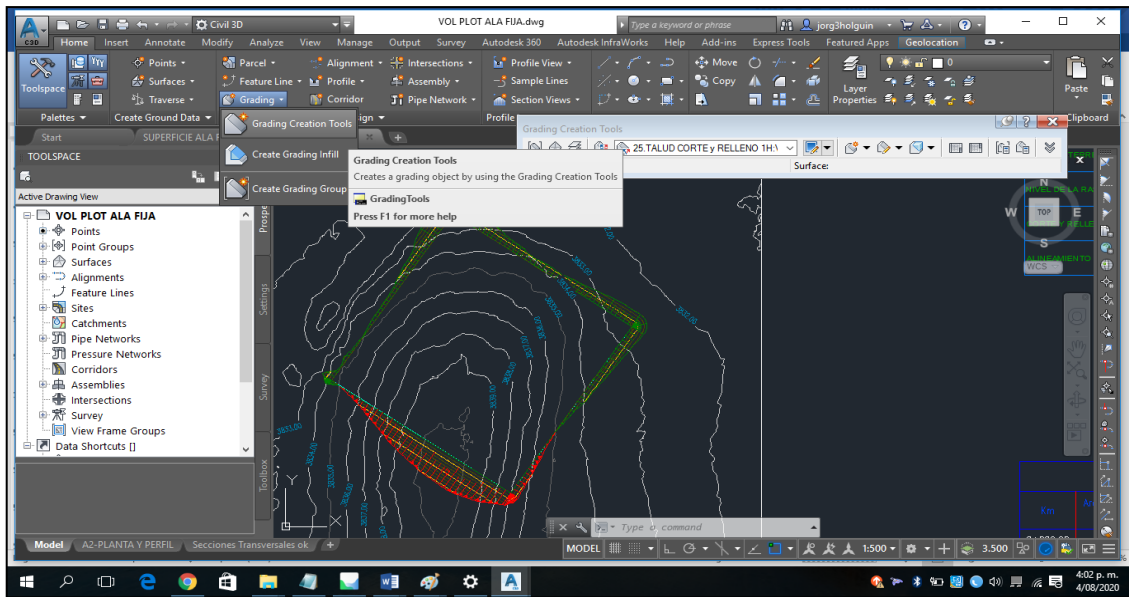


Figura 64. Ingreso de parámetros para la creación de la superficie del terreno

#### t) Creación de plataforma con método GRADING

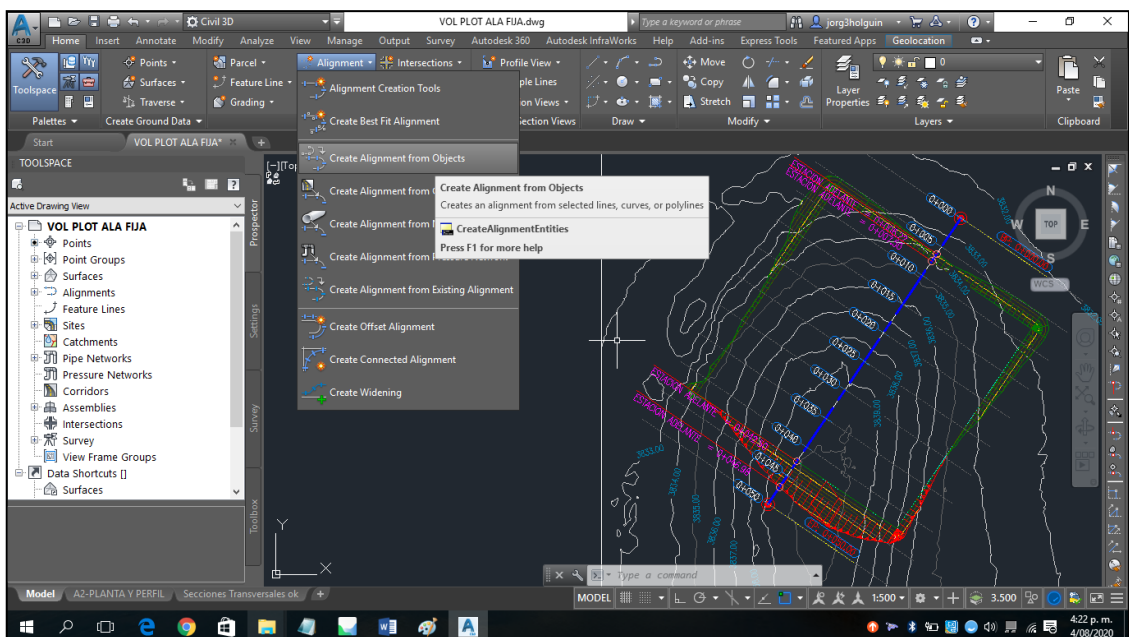
Una vez creada la superficie del terreno se delimita mediante polilíneas el área para crear una plataforma de dimensiones (35m. x 35m). se definen los criterios que conformarán la plataforma, para ello se deberá de ir barra menú y seleccionar la ficha Settings, luego seleccionar el elemento Grading se configura la dimensiones 35.00m x 35.00m, talud:1:000:1, cota rasante: 3835.00m tal y como lo muestra la siguiente ilustración:



**Figura 65.** Creación de la superficie de la plataforma

**u) Creación de alineamiento**

Una vez definido la plataforma con una línea se traza un eje perpendicular a la plataforma para poder crear una alineación mediante el comando Crear a partir de objetos, la orientación de la alineación comienza en la parte baja con una longitud de 50 m.l. para cubrir el área del proyecto.



**Figura 66.** Creación del alineamiento en el eje de la plataforma

## v) Creación de perfil longitudinal

Se Crea un Perfil longitudinal que es básicamente una lista de coordenadas (progresiva, con su respectiva elevación, alturas de corte y relleno) obtenidas en base al muestreo realizado a lo largo de la alineación y con respecto a la superficie.

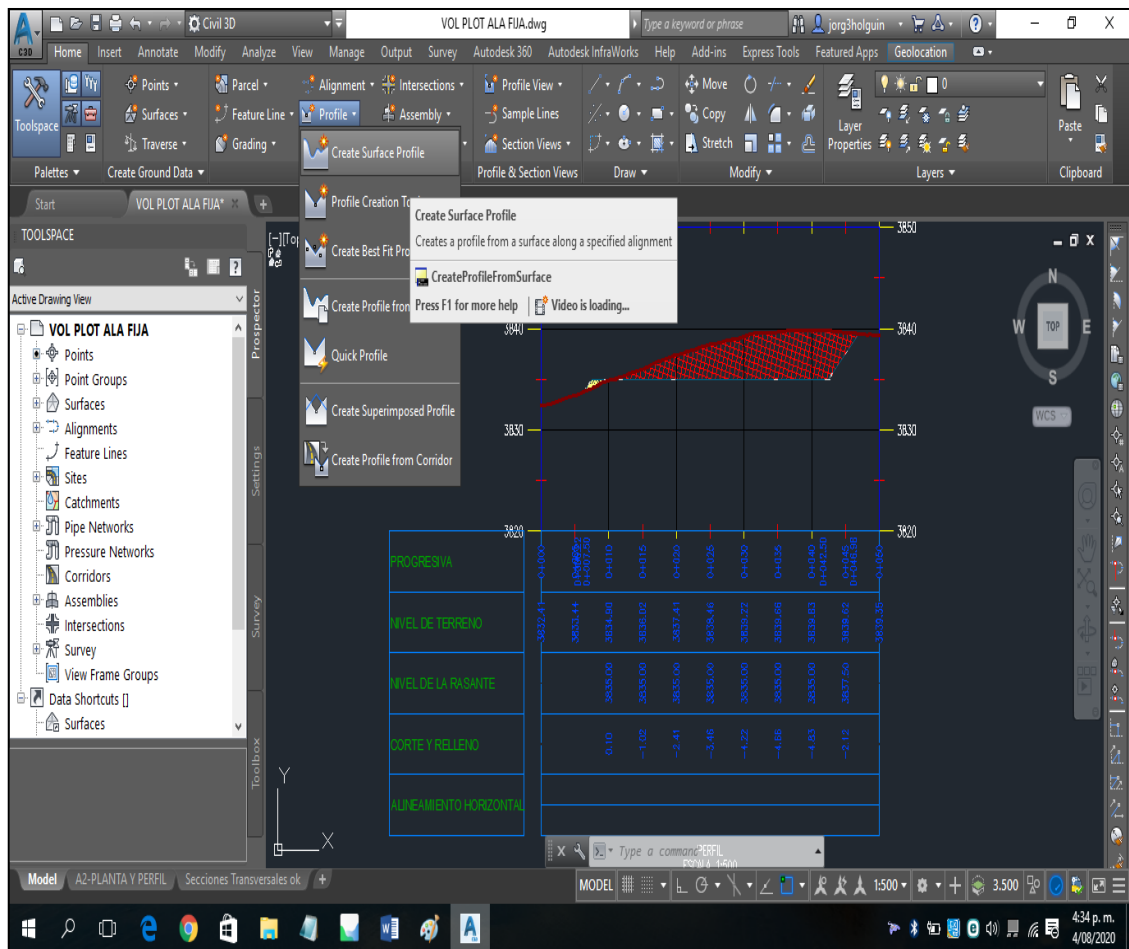


Figura 67. Creación del perfil longitudinal

## w) Creación de secciones

Para la creación de las secciones transversales primeramente se crean las líneas de muestreo perpendiculares al alineamiento a cada 5 metros y con un ancho de faja de 22 metros a los márgenes derecho e izquierdo. Para que sea cubierta y pueda tener resultado óptimo en el cálculo de volumen.

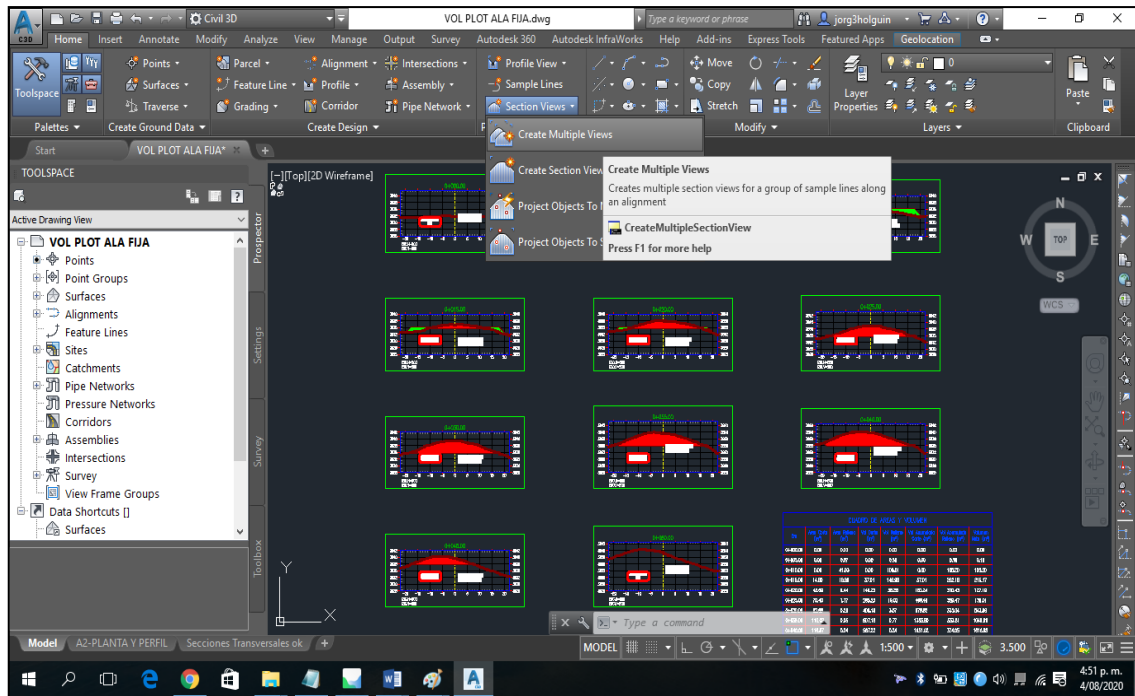


Figura 68. Creación de secciones transversales

#### x) Datos obtenidos

Realizando un análisis de los métodos que tiene el programa AutoCAD Civil 3D se eligió el método de VOLUMEN COMPUESTO por la metodología de trabajo y mejor precisión que se obtiene. Es necesario indicar que este método hace que en las secciones transversales obtenidas no sea posible el sombreado de los cortes y rellenos además no calcula por áreas si por superficies comparando la superficie natural y la superficie de la plataforma, Concluido el proceso para el cálculo de volumen se han generado los siguientes planos:

- Plano topográfico del proyecto (Ver anexos)
- Plano de planta y perfil longitudinal (Ver anexos)
- Plano de secciones transversales (Ver anexos)

Además, se han obtenido los siguientes resultados:

**Tabla 14.** Volumen calculado con datos obtenidos por el RPA eBee senseFly

CUADRO DE VOLUMENES - RPAS EBEE SENSEFLY							
Km	Area Corte (m <sup>2</sup> )	Area Relleno (m <sup>2</sup> )	Vol Corte (m <sup>3</sup> )	Vol Relleno (m <sup>3</sup> )	Vol Acumulado Corte (m <sup>3</sup> )	Vol Acumulado Relleno (m <sup>3</sup> )	Volumen Neto (m <sup>3</sup> )
0+000.00	0	0	0	0	0	0	0
0+005.00	0	0	0	0	0	0	0
0+010.00	0	0	0	194.99	0	194.99	194.99
0+015.00	0	0	27.92	134.5	27.92	329.49	301.57
0+020.00	0	0	142.6	53.52	170.52	383.01	212.49
0+025.00	0	0	284.08	15.77	454.6	398.78	55.82
0+030.00	0	0	407.03	3.3	861.63	402.08	459.55
0+035.00	0	0	512.83	0.32	1374.45	402.4	972.06
0+040.00	0	0	568.02	1.05	1942.47	403.45	1539.02
0+045.00	0	0	487.84	2.62	2430.31	406.07	2024.24
0+050.00	0	0	49.15	0	2479.47	406.07	2073.39

**Tabla 15.** Volumen calculado con datos obtenidos por el RPA Phantom 4 PRO

CUADRO DE VOLUMENES - RPAS PHANTOM 4 PRO							
Km	Area Corte (m <sup>2</sup> )	Area Relleno (m <sup>2</sup> )	Vol Corte (m <sup>3</sup> )	Vol Relleno (m <sup>3</sup> )	Vol Acumulado Corte (m <sup>3</sup> )	Vol Acumulado Relleno (m <sup>3</sup> )	Volumen Neto (m <sup>3</sup> )
0+000.00	0	0	0	0	0	0	0
0+005.00	0	0	0	0	0	0	0
0+010.00	0	0	0	183.89	0	183.89	183.89
0+015.00	0	0	30.04	132.21	30.04	316.09	286.06
0+020.00	0	0	144.89	52.45	174.92	368.54	193.62
0+025.00	0	0	287.88	15.78	462.8	384.32	78.47
0+030.00	0	0	411.47	2.2	874.27	386.53	487.75
0+035.00	0	0	515.53	0.25	1389.8	386.78	1003.02
0+040.00	0	0	568.82	0.75	1958.62	387.53	1571.09
0+045.00	0	0	490.01	1.82	2448.64	389.36	2059.28
0+050.00	0	0	48	0	2496.63	389.36	2107.28



De los trabajos realizados en campo y gabinete de los vuelos fotogramétricos realizados con los RPAS de ala fija y ala rotatoria se resumen en los siguientes resultados:

- Volumen de corte, RPA eBee senseFly 2479.47 m<sup>3</sup>
- Volumen de relleno RPA eBee senseFly 406.07 m<sup>3</sup>.
- Volumen de corte, RPA phantom 4 pro 2496.63 m<sup>3</sup>
- Volumen de relleno RPA phantom 4 pro 389.36 m<sup>3</sup>.

El tiempo necesario para el trabajo en campo y gabinete hasta la producción de planos finales se detallan a continuación:

**Tabla 16.** Tiempo empleado – RPA ala fija

<b>TIEMPO EMPLEADO EN EL CALCULO DE VOLUMEN CON DATOS DEL RPA DE ALA FIJA</b>			
<b>Trabajo en campo</b>			
	Inicio	final	tiempo
Configuración del plan de vuelo	11:45:00	11:55:00	00:10:00
Ejecución del vuelo	12:00:00	12:04:50	00:04:50
Tiempo sub total			00:14:50
<b>Trabajo en gabinete</b>			
	Inicio	final	tiempo
Aplicación del software Agisoft Metashape hasta la creación de nube de puntos, MDE y Ortomosaico	08:00:00	10:43:00	02:43:00
Aplicación del software Autodesk Recap	10:43:00	10:55:00	00:12:00
Empleo del software autocad civil 3d para el cálculo de volúmenes	11:00:00	16:00:00	05:00:00
Tiempo sub total			07:55:00
<b>TIEMPO TOTAL</b>			<b>08:09:50</b>





**Tabla 17.** Tiempo empleado – RPA ala rotatoria

<b>TIEMPO EMPLEADO EN EL CALCULO DE VOLUMEN CON DATOS DEL RPA DE ALA ROTATORIA</b>			
<b>Trabajo en campo</b>			
	Inicio	final	tiempo
Configuración del plan de vuelo	12:35:00	12:45:00	00:10:00
Ejecución del vuelo	12:49:00	12:54:09	00:05:09
Tiempo sub total			00:15:09
<b>Trabajo en gabinete</b>			
	Inicio	final	tiempo
Aplicación del software Agisoft Metashape hasta la creación de nube de puntos, MDE y Ortomosaico	08:00:00	12:38:00	04:38:00
Aplicación del software Autodesk Recap	12:38:00	12:50:00	00:12:00
Empleo del software autocad civil 3d para el cálculo de volúmenes	13:00:00	18:00:00	05:00:00
Tiempo sub total			09:50:00
<b>TIEMPO TOTAL</b>			<b>10:05:09</b>

### **3.7. VARIABLES**

#### **3.7.1. Variable independiente**

- Datos, información, mediciones de RPAS ala fija, RPAS ala rotatoria y estación total

#### **3.7.2. Variable dependiente**

- Precisión y tiempo en el cálculo de volumen



### **3.8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

#### **3.8.1. Análisis de los resultados para el primer objetivo específico**

Para el análisis del primer objetivo que consiste en Determinar la diferencia en precisión en el cálculo de volúmenes utilizando información obtenidas de RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria en contrastación con la estación total. Primeramente, se verifico la confiabilidad de los datos obtenidos extrayendo de la población una muestra de 33 puntos con coordenadas conocidas las cuales fueron analizadas mediante el método de correlación lineal de Pearson, en donde se verificó la existencia de la correlación entre las metodologías de medición empleadas, para que posterior a la verificación de la confiabilidad existente en las mediciones se pueda comparar los volúmenes calculados con las RPAS en base a la estación total mediante ecuaciones matemáticas.

#### **3.8.2. Análisis de los resultados para el segundo objetivo específico**

Para el análisis del segundo objetivo que es Comparar el tiempo en el cálculo de volúmenes, utilizando información de RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria en contrastación con una estación total. Primeramente, se recolectaron a detalle los tiempos necesarios para el cálculo de volúmenes de las metodologías de medición directas e indirectas, obviando los tiempos de traslado de personal, traslado de equipos, tiempo de refrigerio y otros que sean similares entre las dos metodologías, por lo que solo se consideraron los tiempos efectivos de trabajo, para que posteriormente los tiempos resultantes de los trabajos realizados con los RPAS de ala fija y ala rotatoria hasta la obtención de resultados finales presentadas en planos, sean comparadas con el resultado calculado por el método directo utilizando el equipo Estación Total mediante ecuaciones matemáticas.



### **3.8.3. Técnica de recolección de datos**

#### **3.8.3.1. Método directo**

Se tomaron en campo un total de 1277 puntos con una estación total marca Topcon modelo GPT 7500, con precisión de 3 segundos en el lugar de estudio.

#### **3.8.3.2. Método Indirecto**

Se realizaron las tomas fotográficas aéreas los RPA de ala fija eBee Sensefly y RPA ala rotatoria phantom 4 PRO a una altura de vuelo, de 100m.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Datos obtenidos con la estación total y vuelo con RPAS ala fija eBee Sensefly

**Tabla 18.** Cuadro comparativo de coordenadas entre estación total y RPA ala fija

DATOS OBTENIDAS CON LA ESTACION TOTAL				DATOS OBTENIDAS CON LA RPA ALA FIJA			
NUM.	ESTE	NORTE	ELEVACION	ESTE	NORTE	ELEVACION	DESCRP.
1	374166.0700	8300972.6670	3840.4380	374166.0700	8300972.6670	3840.4380	P1
2	374193.2320	8301016.0870	3832.2570	374193.2320	8301016.0870	3832.2570	P3
3	374172.9270	8300972.6740	3838.9490	374172.9460	8300972.7370	3838.9690	A1
4	374180.1290	8300956.0260	3835.5320	374180.1560	8300956.0760	3835.5220	A3
5	374171.8900	8300962.3840	3838.6110	374171.8970	8300962.4390	3838.6100	A4
6	374165.6020	8300959.8270	3840.0010	374165.6010	8300959.8870	3840.0050	A5
7	374168.3490	8300950.5950	3838.9030	374168.3540	8300950.6200	3838.9060	A6
8	374173.3120	8300942.8660	3836.5090	374173.3280	8300942.8810	3836.4960	A7
9	374162.4300	8300941.1970	3838.3300	374162.4380	8300941.2260	3838.3340	A8
10	374163.2880	8300932.9890	3837.7280	374163.2860	8300933.0030	3837.7280	A9
11	374168.7640	8300928.2040	3836.6770	374168.7440	8300928.2130	3836.6880	A10
12	374165.4340	8300912.8370	3835.9500	374165.4340	8300912.8370	3835.95000	A11
13	374158.1250	8300912.1580	3835.2040	374158.1160	8300912.1920	3835.2290	A12
14	374147.9010	8300922.2430	3833.2200	374147.9010	8300922.2430	3833.2200	A13
15	374147.1750	8300946.2200	3833.9700	374147.1540	8300946.2230	3834.0380	A14
16	374159.3370	8300949.1430	3838.5400	374159.3460	8300949.1830	3838.5120	A15
17	374151.6300	8300957.7970	3835.9340	374151.6320	8300957.8640	3835.9460	A16
18	374157.8190	8300965.7480	3838.2650	374157.8360	8300965.7820	3838.3290	A17
19	374148.0370	8300973.9010	3834.9990	374148.0500	8300973.9080	3835.0340	A18
20	374158.8160	8300982.9380	3838.8250	374158.8330	8300982.9440	3838.8600	A19
21	374146.1440	8300993.8800	3833.2520	374146.1490	8300993.8750	3833.2870	A20
22	374152.4150	8301000.5810	3834.7970	374152.4240	8301000.6430	3834.7600	A21
23	374161.9690	8300997.8850	3838.0670	374161.9140	8300997.9460	3838.0420	A22
24	374168.1170	8301008.9450	3835.9680	374168.1090	8301008.9830	3835.9310	A23
25	374162.7740	8301019.4830	3832.1930	374162.7740	8301019.4830	3832.1930	A24
26	374175.4010	8301022.3050	3832.7200	374175.3930	8301022.3540	3832.6840	A25
27	374178.5660	8301006.6680	3835.9780	374178.5430	8301006.7120	3835.9680	A26
28	374190.8260	8301003.8760	3833.5630	374190.8090	8301003.9070	3833.5500	A27
29	374183.4270	8300995.8950	3836.1070	374183.4170	8300995.9230	3836.1850	A28
30	374174.6460	8300995.3300	3838.6560	374174.6440	8300995.3440	3838.6190	A29
31	374186.5440	8300985.6400	3834.6920	374186.5390	8300985.6730	3834.7020	A30
32	374175.7480	8300984.2330	3838.7940	374175.7650	8300984.2600	3838.7770	A31
33	374167.4670	8300990.0920	3839.5960	374167.4500	8300990.0650	3839.6140	A32

#### 4.1.2. Datos obtenidos con la estación total y vuelo con RPAS ala rotatoria Phantom

### 4 PRO

**Tabla 19.** Cuadro comparativo de coordenadas entre estación total y RPA ala rotatoria

DATOS OBTENIDAS CON LA ESTACION TOTAL				DATOS OBTENIDAS CON EL RPA DE ALA ROTATORIA			
NUM.	ESTE	NORTE	ELEVACION	ESTE	NORTE	ELEVACION	DESCRIP.
1	374166.0700	8300972.6670	3840.4380	374166.0700	8300972.6670	3840.4380	P1
2	374193.2320	8301016.0870	3832.2570	374193.2320	8301016.0870	3832.2570	P3
3	374172.9270	8300972.6740	3838.9490	374172.9280	8300972.6800	3838.9750	A1
4	374180.1290	8300956.0260	3835.5320	374180.1330	8300956.0380	3835.5750	A3
5	374171.8900	8300962.3840	3838.6110	374171.8820	8300962.3990	3838.6670	A4
6	374165.6020	8300959.8270	3840.0010	374165.6030	8300959.8900	3840.0100	A5
7	374168.3490	8300950.5950	3838.9030	374168.3300	8300950.5940	3838.9190	A6
8	374173.3120	8300942.8660	3836.5090	374173.3090	8300942.8660	3836.5670	A7
9	374162.4300	8300941.1970	3838.3300	374162.4340	8300941.2110	3838.3380	A8
10	374163.2880	8300932.9890	3837.7280	374163.2880	8300932.9930	3837.7370	A9
11	374168.7640	8300928.2040	3836.6770	374168.7510	8300928.2110	3836.7070	A10
12	374165.4340	8300912.8370	3835.9500	374165.4340	8300912.8370	3835.9500	A11
13	374158.1250	8300912.1580	3835.2040	374158.1300	8300912.1780	3835.2370	A12
14	374147.9010	8300922.2430	3833.2200	374147.9010	8300922.2430	3833.2200	A13
15	374147.1750	8300946.2200	3833.9700	374147.1700	8300946.2250	3834.0590	A14
16	374159.3370	8300949.1430	3838.5400	374159.3250	8300949.1390	3838.4910	A15
17	374151.6300	8300957.7970	3835.9340	374151.6320	8300957.8070	3835.9450	A16
18	374157.8190	8300965.7480	3838.2650	374157.8220	8300965.7700	3838.2590	A17
19	374148.0370	8300973.9010	3834.9990	374148.0270	8300973.8920	3834.9950	A18
20	374158.8160	8300982.9380	3838.8250	374158.8120	8300982.9560	3838.8090	A19
21	374146.1440	8300993.8800	3833.2520	374146.1120	8300993.8650	3833.2110	A20
22	374152.4150	8301000.5810	3834.7970	374152.3670	8301000.6470	3834.7250	A21
23	374161.9690	8300997.8850	3838.0670	374161.9590	8300997.9080	3838.0160	A22
24	374168.1170	8301008.9450	3835.9680	374168.1060	8301008.9490	3835.9320	A23
25	374162.7740	8301019.4830	3832.1930	374162.7740	8301019.4830	3832.1930	A24
26	374175.4010	8301022.3050	3832.7200	374175.3960	8301022.3130	3832.7110	A25
27	374178.5660	8301006.6680	3835.9780	374178.5690	8301006.6780	3836.0030	A26
28	374190.8260	8301003.8760	3833.5630	374190.8010	8301003.8930	3833.5890	A27
29	374183.4270	8300995.8950	3836.1070	374183.4370	8300995.9050	3836.1190	A28
30	374174.6460	8300995.3300	3838.6560	374174.6570	8300995.3210	3838.6710	A29
31	374186.5440	8300985.6400	3834.6920	374186.5580	8300985.6480	3834.7130	A30
32	374175.7480	8300984.2330	3838.7940	374175.7480	8300984.2430	3838.8200	A31
33	374167.4670	8300990.0920	3839.5960	374167.4670	8300990.0340	3839.6180	A32

#### 4.1.3. Diferencia de coordenadas norte, este y elevación en Datos obtenidos con la estación total y vuelo con RPAS ala fija eBee Sensefly

**Tabla 20.** Diferencia entre datos de estación total y RPA de ala fija

ERROR OBTENIDO ENTRE ESTACION TOTAL Y DRON DE ALA FIJA				
NUM.	ERROR ESTE	ERROR NORTE	ERROR ELEVACION	DESCRIPCION
1	0.000	0.000	0.000	P1
2	0.000	0.000	0.000	P3
3	-0.019	-0.063	-0.019	A1
4	-0.027	-0.050	0.009	A3
5	-0.007	-0.055	0.001	A4
6	0.001	-0.060	-0.004	A5
7	-0.006	-0.025	-0.004	A6
8	-0.017	-0.015	0.013	A7
9	-0.007	-0.029	-0.005	A8
10	0.002	-0.014	0.000	A9
11	0.020	-0.009	-0.010	A10
12	0.000	0.000	0.000	A-11
13	0.009	-0.034	-0.025	A12
14	0.000	0.000	0.000	A-13
15	0.021	-0.003	-0.068	A14
16	-0.009	-0.040	0.028	A15
17	-0.002	-0.067	-0.011	A16
18	-0.017	-0.034	-0.064	A17
19	-0.013	-0.007	-0.035	A18
20	-0.017	-0.006	-0.035	A19
21	-0.005	0.005	-0.036	A20
22	-0.009	-0.062	0.036	A21
23	0.055	-0.061	0.025	A22
24	0.007	-0.038	0.037	A23
25	0.000	0.000	0.000	A-24
26	0.008	-0.049	0.036	A25
27	0.023	-0.044	0.010	A26
28	0.018	-0.031	0.013	A27
29	0.011	-0.028	-0.078	A28
30	0.001	-0.014	0.037	A29
31	0.005	-0.033	-0.010	A30
32	-0.017	-0.027	0.017	A31
33	0.016	0.027	-0.017	A32



#### 4.1.4. Diferencia de coordenadas norte, este y elevación en Datos obtenidos con la estación total y vuelo con RPAS ala rotatoria Phantom 4 PRO

**Tabla 21.** Diferencia entre datos de estación total y RPA de ala rotatoria

ERROR OBTENIDO ENTRE ESTACION TOTAL Y DRON DE ALA ROTATORIA				
NUM.	ERROR ESTE	ERROR NORTE	ERROR ELEVACION	DESCRIPCION
1	0.000	0.000	0.000	P1
2	0.000	0.000	0.000	P3
3	-0.001	-0.006	-0.025	A1
4	-0.004	-0.012	-0.044	A3
5	0.008	-0.015	-0.056	A4
6	0.000	-0.063	-0.009	A5
7	0.019	0.001	-0.016	A6
8	0.003	0.000	-0.058	A7
9	-0.003	-0.014	-0.008	A8
10	0.000	-0.004	-0.009	A9
11	0.013	-0.007	-0.029	A10
12	0.000	0.000	0.000	A-11
13	-0.006	-0.020	-0.033	A12
14	0.000	0.000	0.000	A-13
15	0.005	-0.005	-0.089	A14
16	0.012	0.004	0.050	A15
17	-0.002	-0.010	-0.010	A16
18	-0.004	-0.022	0.006	A17
19	0.010	0.009	0.004	A18
20	0.004	-0.018	0.017	A19
21	0.032	0.015	0.040	A20
22	0.048	-0.066	0.072	A21
23	0.010	-0.023	0.051	A22
24	0.011	-0.004	0.037	A23
25	0.000	0.000	0.000	A-24
26	0.005	-0.008	0.009	A25
27	-0.003	-0.010	-0.024	A26
28	0.025	-0.017	-0.026	A27
29	-0.010	-0.010	-0.012	A28
30	-0.011	0.009	-0.016	A29
31	-0.014	-0.008	-0.021	A30
32	0.000	-0.010	-0.026	A31
33	0.000	0.058	-0.022	A32





## 4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS 1

La prueba de hipótesis en este trabajo de investigación es una herramienta para determinar la precisión en coordenadas Norte, Este y Elevación de 33 puntos las mismas que influyen en el cálculo de volumen en contrastación con los datos obtenidos con la estación total.

### 4.2.1. Planteamiento de hipótesis

$H_0$  = No existe diferencia entre la precisión de la información obtenida con los RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria al contrastar con la estación total.

$H_1$  = Existe diferencia entre la precisión de la información obtenida con los RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria al contrastar con la estación total.

### 4.2.2. Nivel de significancia en la precisión de coordenadas

Se comprobó con el coeficiente de correlación de Pearson El valor del índice de correlación varía en el intervalo  $[-1,1]$ , indicando el signo el sentido de la relación.

### 4.2.3. Prueba estadística con R Project, para precisión de datos

Para verificar la hipótesis del trabajo se comprobó primeramente la precisión de los métodos empleados mediante el método **coeficiente de correlación de Pearson** que es una medida de dependencia lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. Para nuestros datos seleccionados con coordenadas Este, Norte y elevación obtenidos de los RPAS ala fija y ala rotatoria en contrastación con la estación total. Para esta prueba se utilizó el Software Libre R Project, software estadístico especializado para trabajar con datos cuantitativos en el cual se ingresó los datos de investigación, posterior a ello se procedió con a comparar estadísticamente los resultados de los cálculos de volúmenes



mediante ecuaciones matemáticas para así comprobar que la hipótesis es aprobada o rechazada.

#### 4.2.4. Aplicación del software R para cálculos estadísticos

En la aplicación del software se siguieron los siguientes procedimientos:

> library(readxl)>>> se carga el paquete “readxl” para importar tablas de datos de Excel.

> library(psych)>>> se carga el paquete “Psych” para hacer los gráficos de la comparación

> getwd() >>> Para comprobar la ruta del archivo de datos excel

[1] "E:/TESIS 2020/ESTADISTICA">>> Ruta del archivo Excel

> DATOS <- read\_xlsx("DATOS.xlsx", sheet = "Hoja2")>>> importamos el archivo Excel.

> DATOS>> verificación de tabla de datos

**# A tibble: 33 x 12**

**Tabla 22.** Datos para el análisis estadístico con R (1)

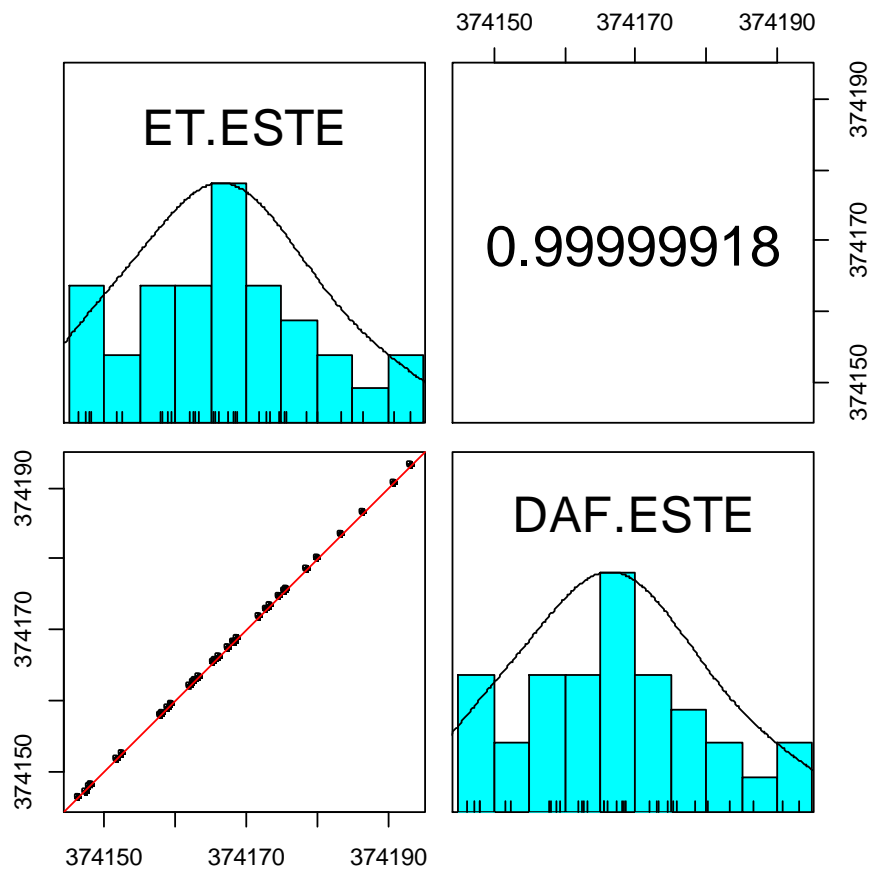
DATOS OBTENIDOS MEDIANTE LA ESTACION TOTAL				DATOS OBTENIDOS MEDIANTE RPA ALA FIJA			
1	2	3	4	5	6	7	8
ET.ESTE	ET.NORTE	ET.ELEV.	ET.D.	AF.ESTE	AF.NORTE	AF.ELEV.	AF.D.
374166.0700	8300972.6670	3840.4380	P1	374166.0700	8300972.6670	3840.4380	P1
374193.2320	8301016.0870	3832.2570	P3	374193.2320	8301016.0870	3832.2570	P3
374172.9270	8300972.6740	3838.9490	A1	374172.9460	8300972.7370	3838.9690	A1
374180.1290	8300956.0260	3835.5320	A3	374180.1560	8300956.0760	3835.5220	A3
374171.8900	8300962.3840	3838.6110	A4	374171.8970	8300962.4390	3838.6100	A4
374165.6020	8300959.8270	3840.0010	A5	374165.6010	8300959.8870	3840.0050	A5
374168.3490	8300950.5950	3838.9030	A6	374168.3540	8300950.6200	3838.9060	A6
374173.3120	8300942.8660	3836.5090	A7	374173.3280	8300942.8810	3836.4960	A7
374162.4300	8300941.1970	3838.3300	A8	374162.4380	8300941.2260	3838.3340	A8
374163.2880	8300932.9890	3837.7280	A9	374163.2860	8300933.0030	3837.7280	A9
374168.7640	8300928.2040	3836.6770	A10	374168.7440	8300928.2130	3836.6880	A10
374165.4340	8300912.8370	3835.9500	A11	374165.4340	8300912.8370	3835.9500	A11
374158.1250	8300912.1580	3835.2040	A12	374158.1160	8300912.1920	3835.2290	A12
374147.9010	8300922.2430	3833.2200	A13	374147.9010	8300922.2430	3833.2200	A13
374147.1750	8300946.2200	3833.9700	A14	374147.1540	8300946.2230	3834.0380	A14
374159.3370	8300949.1430	3838.5400	A15	374159.3460	8300949.1830	3838.5120	A15
374151.6300	8300957.7970	3835.9340	A16	374151.6320	8300957.8640	3835.9460	A16
374157.8190	8300965.7480	3838.2650	A17	374157.8360	8300965.7820	3838.3290	A17
374148.0370	8300973.9010	3834.9990	A18	374148.0500	8300973.9080	3835.0340	A18
374158.8160	8300982.9380	3838.8250	A19	374158.8330	8300982.9440	3838.8600	A19
374146.1440	8300993.8800	3833.2520	A20	374146.1490	8300993.8750	3833.2870	A20
374152.4150	8301000.5810	3834.7970	A21	374152.4240	8301000.6430	3834.7600	A21
374161.9690	8300997.8850	3838.0670	A22	374161.9140	8300997.9460	3838.0420	A22
374168.1170	8301008.9450	3835.9680	A23	374168.1090	8301008.9830	3835.9310	A23
374162.7740	8301019.4830	3832.1930	A24	374162.7740	8301019.4830	3832.1930	A24
374175.4010	8301022.3050	3832.7200	A25	374175.3930	8301022.3540	3832.6840	A25
374178.5660	8301006.6680	3835.9780	A26	374178.5430	8301006.7120	3835.9680	A26
374190.8260	8301003.8760	3833.5630	A27	374190.8090	8301003.9070	3833.5500	A27
374183.4270	8300995.8950	3836.1070	A28	374183.4170	8300995.9230	3836.1850	A28
374174.6460	8300995.3300	3838.6560	A29	374174.6440	8300995.3440	3838.6190	A29
374186.5440	8300985.6400	3834.6920	A30	374186.5390	8300985.6730	3834.7020	A30
374175.7480	8300984.2330	3838.7940	A31	374175.7650	8300984.2600	3838.7770	A31
374167.4670	8300990.0920	3839.5960	A32	374167.4500	8300990.0650	3839.6140	A32

**Tabla 23.** Datos para el análisis estadístico con R (2)

DATOS OBTENIDOS MEDIANTE LA ESTACION TOTAL				DATOS OBTENIDOS MEDIANTE RPA ALA ROTATORIA			
1	2	3	4	9	10	11	12
ET.ESTE	ET.NORTE	ET.ELEV.	ET.D.	ARESTE	AR.NORTE	ARELEV.	AR.D.
374166.0700	8300972.6670	3840.4380	P1	374166.0700	8300972.6670	3840.4380	P1
374193.2320	8301016.0870	3832.2570	P3	374193.232	8301016.087	3832.257	P3
374172.9270	8300972.6740	3838.9490	A1	374172.928	8300972.680	3838.975	A1
374180.1290	8300956.0260	3835.5320	A3	374180.133	8300956.038	3835.575	A3
374171.8900	8300962.3840	3838.6110	A4	374171.882	8300962.399	3838.667	A4
374165.6020	8300959.8270	3840.0010	A5	374165.603	8300959.890	3840.010	A5
374168.3490	8300950.5950	3838.9030	A6	374168.330	8300950.594	3838.919	A6
374173.3120	8300942.8660	3836.5090	A7	374173.309	8300942.866	3836.567	A7
374162.4300	8300941.1970	3838.3300	A8	374162.434	8300941.211	3838.338	A8
374163.2880	8300932.9890	3837.7280	A9	374163.288	8300932.993	3837.737	A9
374168.7640	8300928.2040	3836.6770	A10	374168.751	8300928.211	3836.707	A10
374165.4340	8300912.8370	3835.9500	A11	374165.434	8300912.837	3835.950	A11
374158.1250	8300912.1580	3835.2040	A12	374158.130	8300912.178	3835.237	A12
374147.9010	8300922.2430	3833.2200	A13	374147.901	8300922.243	3833.220	A13
374147.1750	8300946.2200	3833.9700	A14	374147.170	8300946.225	3834.059	A14
374159.3370	8300949.1430	3838.5400	A15	374159.325	8300949.139	3838.491	A15
374151.6300	8300957.7970	3835.9340	A16	374151.632	8300957.807	3835.945	A16
374157.8190	8300965.7480	3838.2650	A17	374157.822	8300965.770	3838.259	A17
374148.0370	8300973.9010	3834.9990	A18	374148.027	8300973.892	3834.995	A18
374158.8160	8300982.9380	3838.8250	A19	374158.812	8300982.956	3838.809	A19
374146.1440	8300993.8800	3833.2520	A20	374146.112	8300993.865	3833.211	A20
374152.4150	8301000.5810	3834.7970	A21	374152.367	8301000.647	3834.725	A21
374161.9690	8300997.8850	3838.0670	A22	374161.959	8300997.908	3838.016	A22
374168.1170	8301008.9450	3835.9680	A23	374168.106	8301008.949	3835.932	A23
374162.7740	8301019.4830	3832.1930	A24	374162.774	8301019.483	3832.193	A24
374175.4010	8301022.3050	3832.7200	A25	374175.396	8301022.313	3832.711	A25
374178.5660	8301006.6680	3835.9780	A26	374178.569	8301006.678	3836.003	A26
374190.8260	8301003.8760	3833.5630	A27	374190.801	8301003.893	3833.589	A27
374183.4270	8300995.8950	3836.1070	A28	374183.437	8300995.905	3836.119	A28
374174.6460	8300995.3300	3838.6560	A29	374174.657	8300995.321	3838.671	A29
374186.5440	8300985.6400	3834.6920	A30	374186.558	8300985.648	3834.713	A30
374175.7480	8300984.2330	3838.7940	A31	374175.748	8300984.243	3838.820	A31
374167.4670	8300990.0920	3839.5960	A32	374167.467	8300990.034	3839.618	A32

a. **Correlación entre las mediciones obtenidas con la Estación Total y RPAS Ala**

**Fija. Analizamos las columnas x=1 (ET. ESTE); Y=5 (AF. ESTE)**



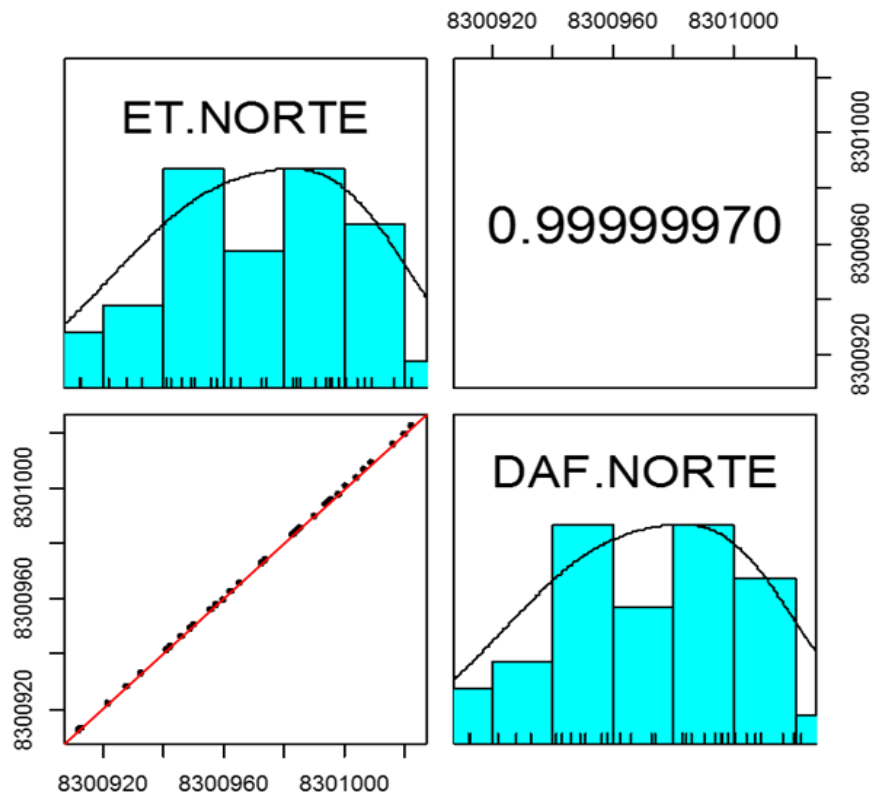
**Figura 69.** Correlación en “Este” entre Estación total y RPA de ala fija

En el gráfico de arriba, en la diagonal inferior de la matriz se puede apreciar el diagrama de dispersión entre las mediciones de Este, obtenidas por los métodos de Estación Total y RPAS Ala Fija, en la diagonal de la matriz esta la distribución de cada una de la variable (mediciones) y en la diagonal superior de la matriz se encuentra los valores de correlación entre las mediciones obtenidas por los dos métodos, correlaciones que están en un rango de -1 a +1.

Se puede notar que hay una correlación (0.99999918) aproximadamente perfecta entre los métodos de Estación Total y el RPAS Ala Fija respecto a las mediciones de coordenadas Este.

b. **Correlación entre las mediciones obtenidas con la Estación Total y RPAS Ala**

**Fija. Analizamos las columnas  $x=2$  (ET. NORTE);  $Y=6$  (AF. NORTE)**



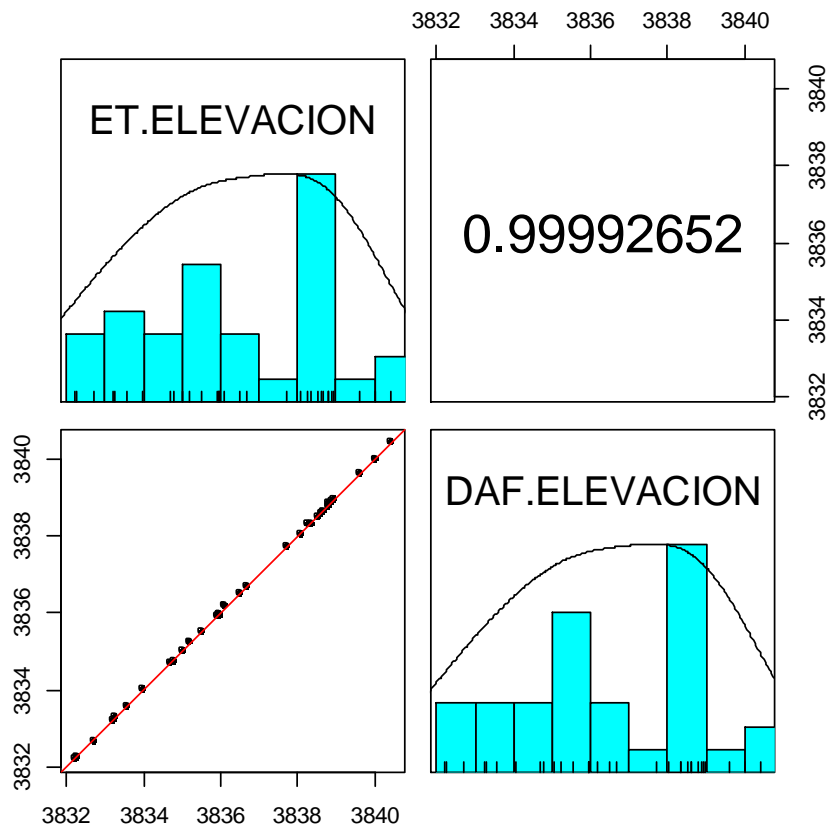
**Figura 70.** Correlación en “Norte” entre Estación total y RPA de ala fija

En el gráfico de arriba, en la diagonal inferior de la matriz se puede apreciar el diagrama de dispersión entre las mediciones Norte, obtenidas por los métodos de Estación Total y el RPAS Ala Fija, en la diagonal de la matriz esta la distribución de cada una de la variable (mediciones) y en la diagonal superior de la matriz se encuentra los valores de correlación entre las mediciones obtenidas por los dos métodos, correlaciones que están en un rango de -1 a +1.

Referente a las mediciones de Norte, se puede observar también una correlación (0.99999970) aproximadamente perfecta entre los dos métodos.

c. **Correlación entre las mediciones obtenidas con la Estación Total y RPAS Ala**

**Fija. Analizamos las columnas x=3 (ET.ELEVACION); Y=7 (AF.ELEVACION)**



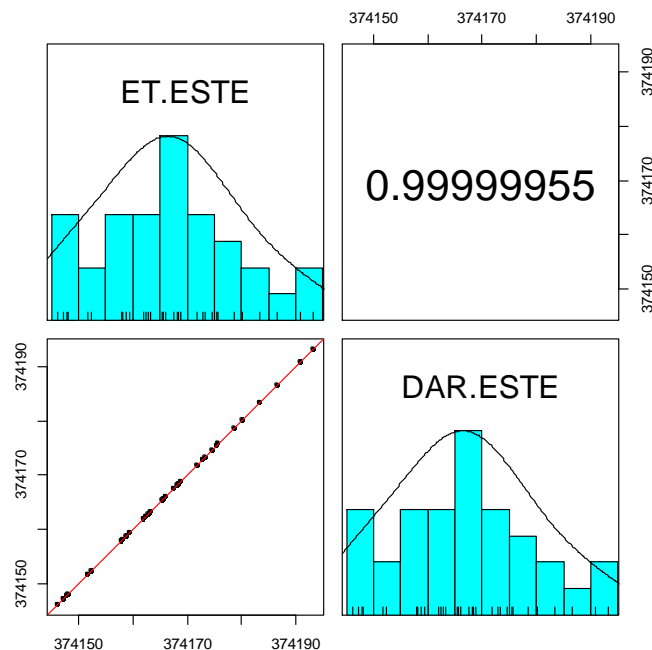
**Figura 71.** Correlación en “Elevación” entre Estación total y RPA de ala fija

En el gráfico superior, en la diagonal inferior de la matriz se puede apreciar el diagrama de dispersión entre las mediciones de Este, Norte y Elevación obtenidas por los métodos de Estación Total y el de Dron de Ala Fija, en la diagonal de la matriz esta la distribución de cada una de la variable (mediciones) y en la diagonal superior de la matriz se encuentra los valores de correlación entre las mediciones obtenidas por los dos métodos, correlaciones que están en un rango de -1 a +1.

las mediciones relacionadas a la Elevación tienen una correlación (0.99992652) aproximadamente perfecta entre estos métodos, pero mínimamente menor a las correlaciones anteriores.



d. **Correlación entre las mediciones obtenidas con la Estación Total y RPAS Ala Rotatoria. Analizamos las columnas x=1 (ET. ESTE); Y=5 (AR. ESTE)**

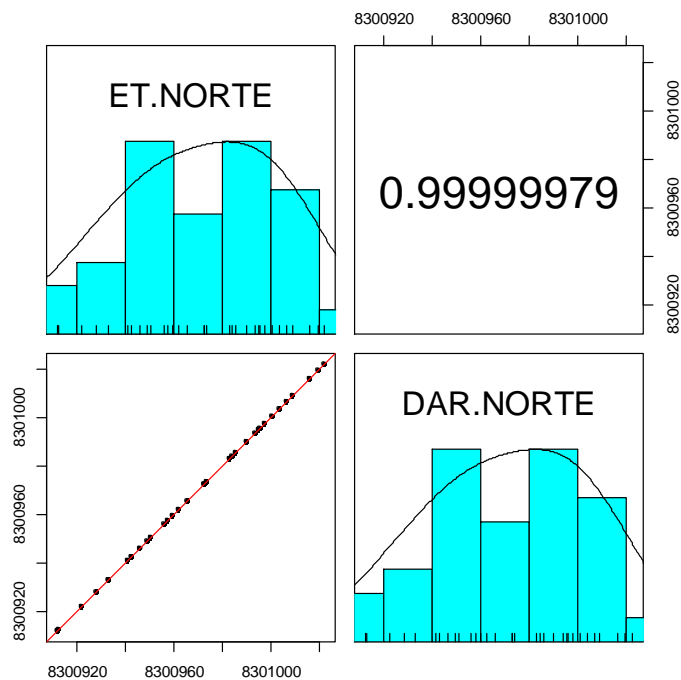


**Figura 72.** Correlación en “Este” entre Estación total y RPA de ala rotatoria

En el gráfico superior, de la matriz se puede apreciar el diagrama de dispersión entre las mediciones de Este obtenidas por los métodos de Estación Total y el de Dron de Ala rotatoria, en la diagonal de la matriz esta la distribución de cada una de las variables (mediciones) y en la diagonal superior de la matriz se encuentra los valores de correlación entre las mediciones obtenidas por los dos métodos, correlaciones que están en un rango de -1 a +1.

En el grafico anterior, se observa que la correlación (0.99999955) está próxima a uno (correlación perfecta) entre los métodos de Estación Total y el de Dron de Ala Rotatoria respecto a las mediciones de Este. Estas correlaciones aproximadamente perfectas se pueden verificar también en los diagramas de dispersión, en donde los puntos se sobrepone en la línea roja con pendiente positiva.

- e. **Correlación entre las mediciones obtenidas con la Estación Total y RPAS Ala Rotatoria. Se analizan las columnas x=2 (ET.NORTE); Y=10 (AR.NORTE)**

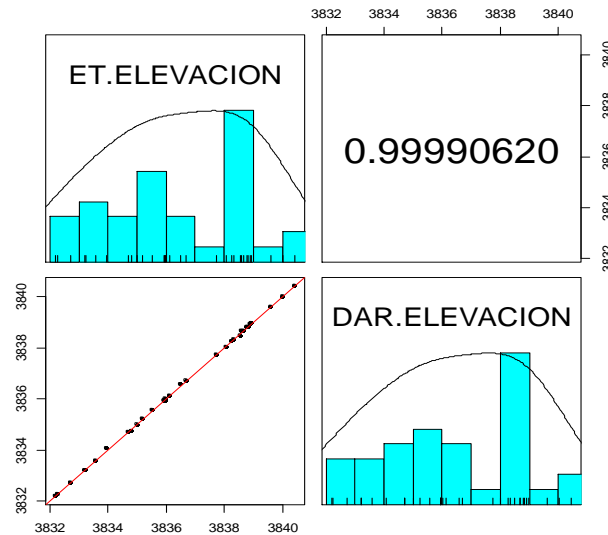


**Figura 73.** Correlación en “Norte” entre Estación total y RPA de ala rotatoria

En el gráfico anterior, en la diagonal inferior de la matriz se puede apreciar el diagrama de dispersión entre las mediciones de Norte obtenidas por los métodos de Estación Total y el de Dron de Ala rotatoria, en la diagonal de la matriz esta la distribución de cada una de las variables (mediciones) y en la diagonal superior de la matriz se encuentra los valores de correlación entre las mediciones obtenidas por los dos métodos, correlaciones que están en un rango de -1 a +1.

En el gráfico anterior, se observa que la correlación entre los métodos de Estación Total y el de Dron de Ala Rotatoria respecto a las mediciones de Norte, también observamos una correlación (0.99999979) aproximadamente perfecta, Estas correlaciones aproximadamente perfectas se pueden verificar también en los diagramas de dispersión, en donde los puntos se sobreponen en la línea roja con pendiente positiva.

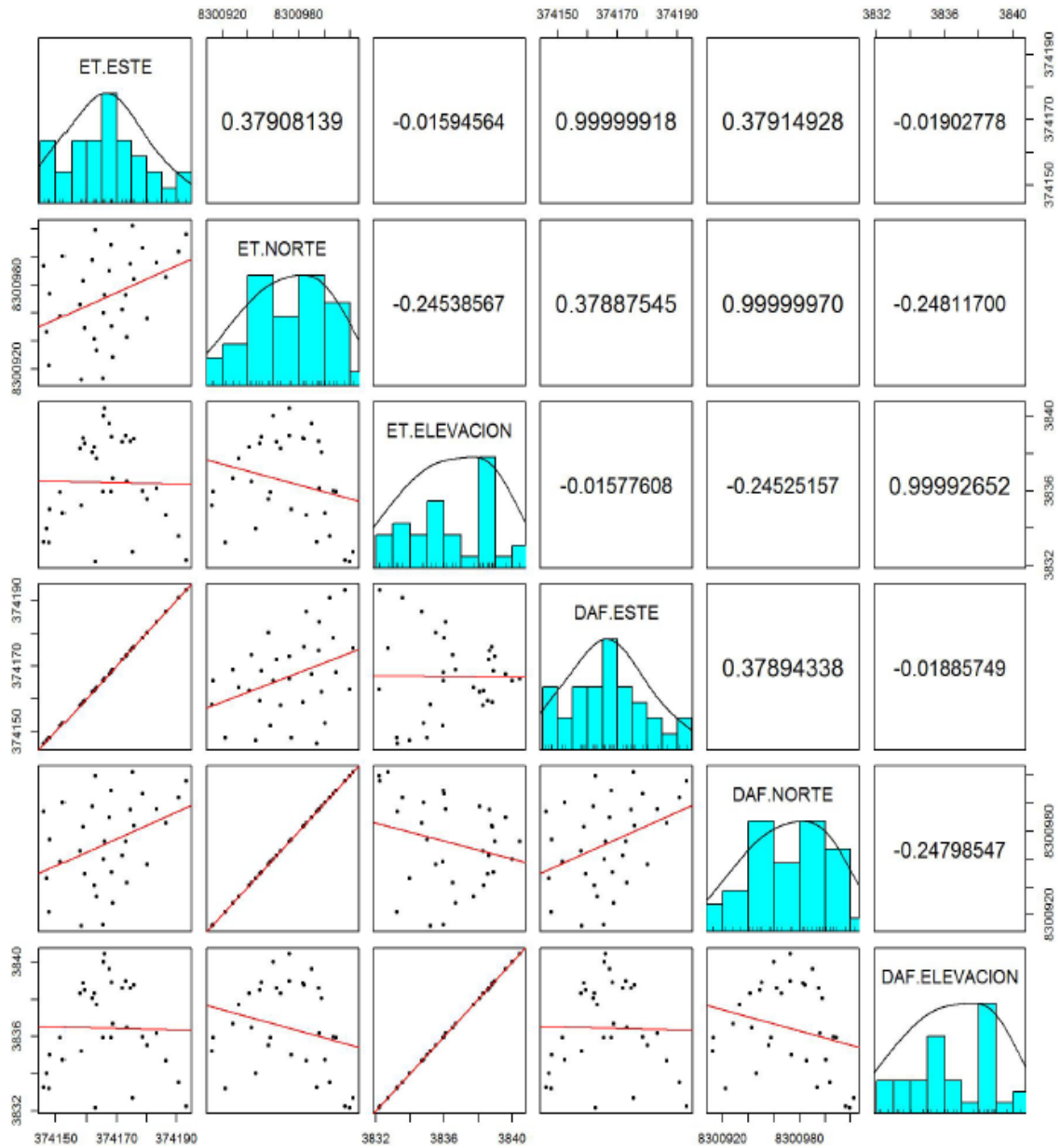
- f. **Correlación entre las mediciones obtenidas con la Estación Total y RPAS Ala Rotatoria. Analizamos las columnas  $x=3$  (ET.ELEVACION);  $Y=11$  (AR.ELEVACION)**



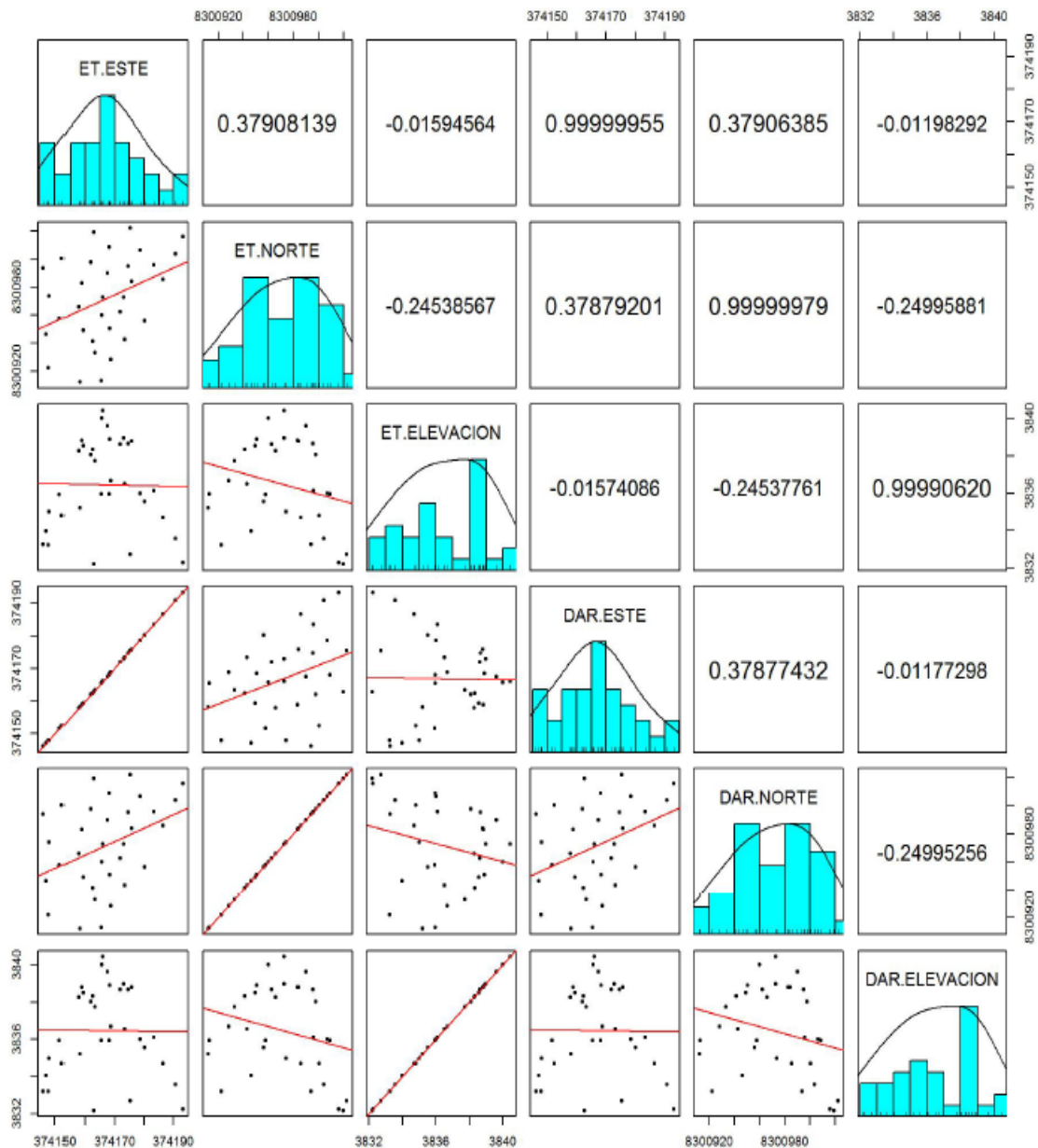
**Figura 74.** Correlación en “Elevación” entre Estación total y RPA de ala rotatoria

En el gráfico superior, en la diagonal inferior de la matriz se aprecia el diagrama de dispersión entre las mediciones de Elevación obtenidas por los métodos de Estación Total y el de Dron de Ala rotatoria, en la diagonal de la matriz esta la distribución de cada una de las variables (mediciones) y en la diagonal superior de la matriz se encuentra los valores de correlación entre las mediciones obtenidas por los dos métodos, correlaciones que están en un rango de -1 a +1.

En el grafico anterior, se observa finalmente las mediciones referentes a la Elevación entre los métodos de Estación Total y el de Dron de Ala Rotatoria tienen una correlación de 0.99990620, inferior a las anteriores correlaciones. Estadísticamente no está muy cerca del valor 1 por lo se interpreta que hay una variación en altura lo que afecta en los resultados del cálculo de volumen como se aprecia en los resultados respecto a los datos obtenidos por la estación total.



**Figura 75.** Correlación entre las mediciones obtenidas con la Estación Total y con el Dron de Ala Fija



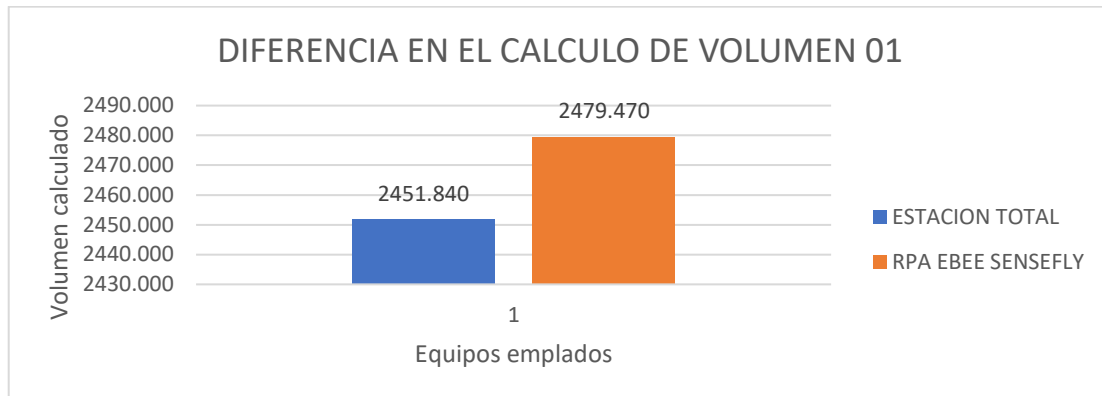
**Figura 76.** Correlación entre las mediciones obtenidas con la Estación Total y con el Dron de Ala Rotatoria

#### 4.2.5. Cálculo matemático

Para esta hipótesis se cotejaron los volúmenes obtenidos del software AutoCAD civil 3d obtenido del cálculo efectuado con los datos recopilados con el RPAS de ala fija (ebee senseFly) con respecto a los resultados obtenidos del software AutoCAD civil 3d calculado a partir de los datos de la estación total.

**Tabla 24.** Volúmenes obtenidos con estación total y RPAS de ala fija

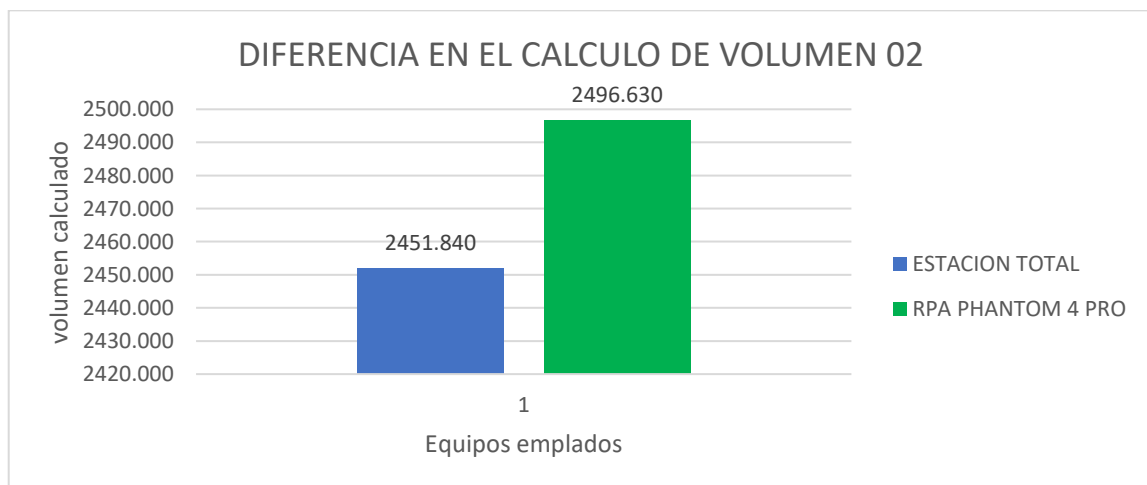
DESCRIPCION	METODO VOLUMEN COMPUESTO	
	CORTE	RELLENO
ESTACION TOTAL	2451.840	415.050
RPA EBEE SENSEFLY	2479.470	406.070
DIFERENCIA	-27.630	8.980



**Figura 77.** Volúmenes estación total y RPAS de ala fija

**Tabla 25.** Volúmenes obtenidos con estación total y RPAS de ala rotatoria

DESCRIPCION	METODO VOLUMEN COMPUESTO	
	CORTE	RELLENO
ESTACION TOTAL	2451.840	415.050
RPA PHANTOM 4 PRO	2496.630	389.360
DIFERENCIA	-44.790	25.690



**Figura 78.** Volúmenes estación total y RPAS de ala rotatoria

#### 4.2.6. Análisis

Del resultado obtenido se acepta la hipótesis alterna en donde se indica que. La información obtenida mediante RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria, tienen estadísticamente un alto grado de precisión para el cálculo de volúmenes al contrastar con la estación total.

### 4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS 2

#### 4.3.1. Planteamiento de hipótesis

Ho= El tiempo empleado en el cálculo de volúmenes, utilizando los datos obtenidos de los RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria que empleando los datos obtenidos con la estación total es igual.

Hi= El tiempo empleado en el cálculo de volúmenes, utilizando los datos obtenidos de los RPAS ala fija y RPAS ala rotatoria que empleando los datos obtenidos con la estación total no es igual.

#### 4.3.2. Cálculo matemático

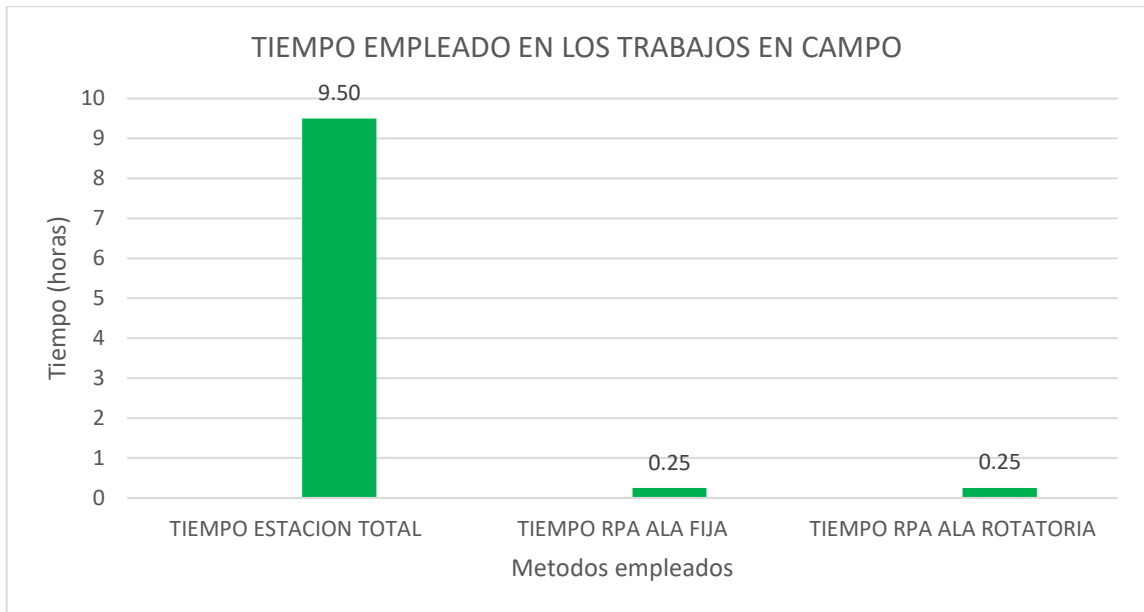
**Tabla 26.** Tiempos de trabajos en campo y gabinete en h:m:s

NUM.	DESCRIPCION	TIEMPO ESTACION TOTAL	TIEMPO RPA ALA FIJA	TIEMPO RPA ALA ROTATORIA
1	Trabajo en campo	09:30:00	00:14:50	00:15:09
2	Trabajo en gabinete	05:00:00	07:55:00	09:50:00

**Tabla 27.** Tiempos de trabajos en campo en horas

NUM.	DESCRIPCION	TIEMPO ESTACION TOTAL	TIEMPO RPA ALA FIJA	TIEMPO RPA ALA ROTATORIA
1	Trabajo en campo	9.50	0.25	0.25



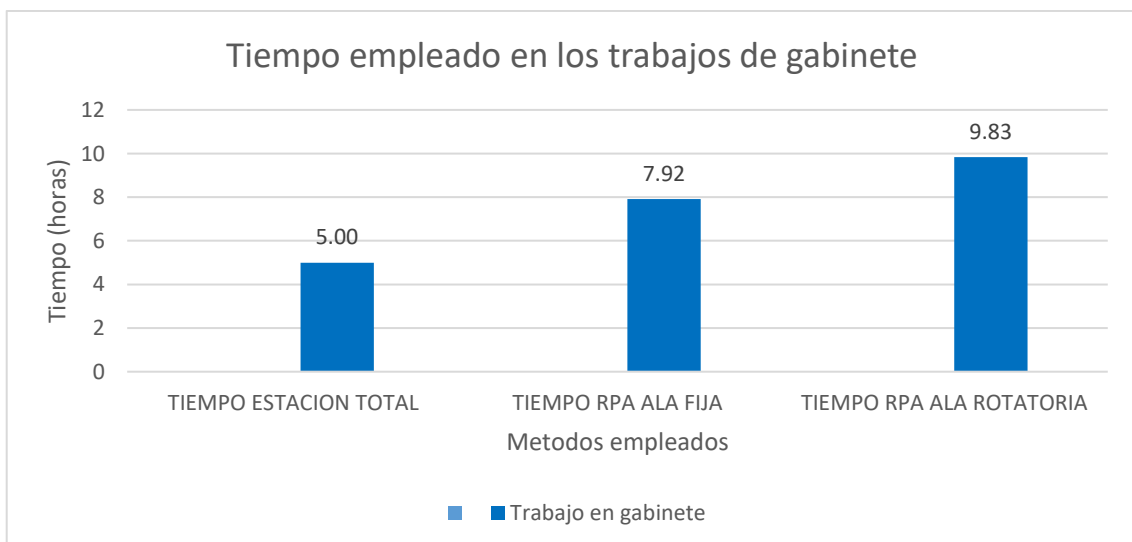


**Figura 79.** Tiempo en los trabajos de campo

Del grafico se establece que el tiempo requerido para la toma de datos de campo de los RPAS son mucho menores que el requerido por la estación.

**Tabla 28.** Tiempos de trabajos en gabinete en horas

NUM.	DESCRIPCION	TIEMPO ESTACION TOTAL	TIEMPO RPA ALA FIJA	TIEMPO RPA ALA ROTATORIA
2	Trabajo en gabinete	5.00	7.92	9.83

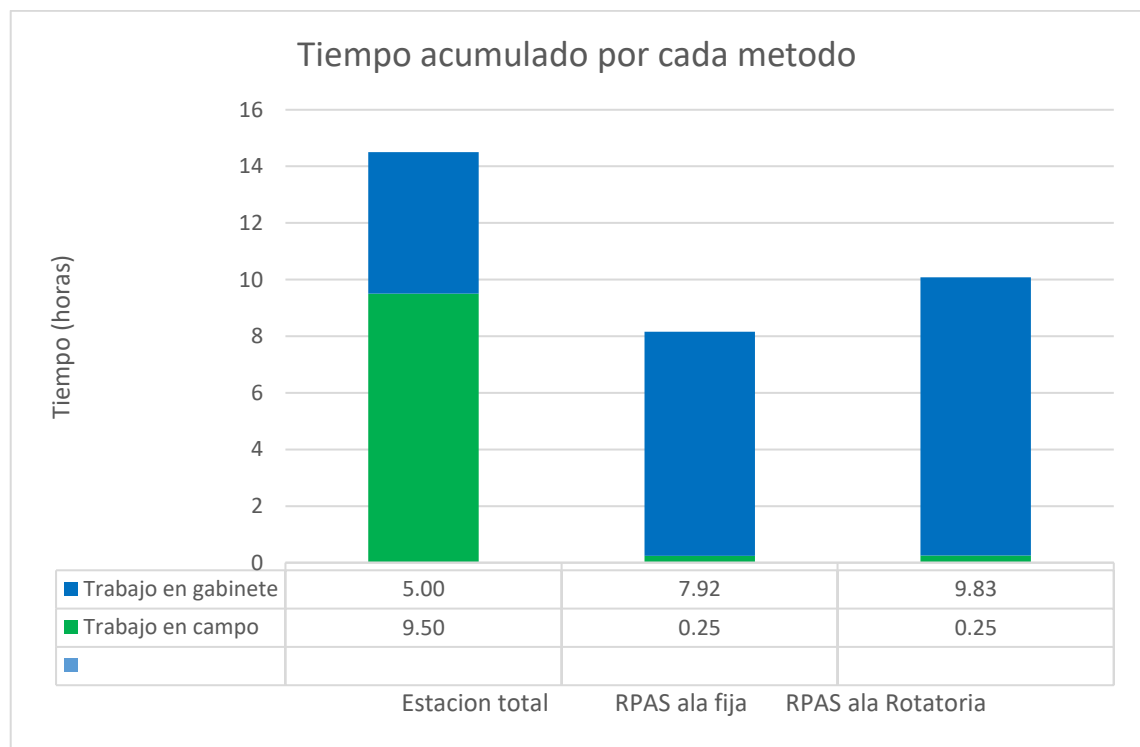


**Figura 80.** Tiempo en los trabajos de gabinete

Del grafico anterior se define que el tiempo requerido para el procesamiento de datos hasta producir los planos finales, en mayor el requerido por los RPAS de ala fija y ala rotatoria respecto a la estación total.

**Tabla 29.** Tiempos de trabajos en campo y gabinete en horas

NUM.	DESCRIPCION	TIEMPO ESTACION TOTAL	TIEMPO RPA ALA FIJA	TIEMPO RPA ALA ROTATORIA
1	Trabajo en campo	9.50	0.25	0.25
2	Trabajo en gabinete	5.00	7.92	9.83



**Figura 81.** Tiempo en los trabajos de campo y gabinete

Del grafico anterior se deduce que el tiempo acumulado entre los trabajos de campo y gabinete por cada método de obtención de datos son diferentes, detallando que el tiempo requerido para el cálculo de volúmenes mediante los RPAS de ala fija y ala rotatoria son menores en contrastación con la estación total, difiriendo en 3.7 horas como indicador máximo en una área de 1.00 Ha.



### 4.3.3. Análisis

Del resultado obtenido se acepta la hipótesis alterna que indica que los RPAS de a la fija y ala rotatoria permite obtener información en menor tiempo para el procedimiento del cálculo de volúmenes, respecto al método convencional con estación total.

## 4.4. DISCUSION

Existe diferencia de precisión de trabajo entre el levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio, Los Olivos – 2019. Este resultado permite indicar que el levantamiento topográfico con RPAS tiene una precisión de trabajo menor al levantamiento topográfico tradicional, enlazados se enlazó a dos puntos geodésicos de control y a una nivelación geométrica de un BM oficial. La precisión vertical de trabajo que obtiene el levantamiento topográfico tradicional de 0.010m supera a lo obtenido en el levantamiento topográfico con RPAS de 0.022m. (Pedraza, 2019).

Al cual se responde que, para los trabajos que requieran una milimétrica en todas la mediciones, el vuelo fotogramétrico con RPAS si tiene una precisión menor a un levantamiento tradicional con GPS diferencial o estación total, pero en mediciones donde la precisión sea menor a los tres centímetros el método fotogramétrico de los RPAS si son precisos, la misma que se ha contrastado con el método tradicional realizando levantamientos topográficos empleando una estación total donde los resultados muestran una confiabilidad alta.

Teniendo en cuenta todos los estudios realizados se concluye que, para el cálculo de volúmenes de acopios en la cantera del Aljibe-Almonacid de Toledo, el método de fotogrametría aérea por el sistema RPAS con un multirrotor (Phantom 4 Pro) es el método



más eficiente económica y técnicamente, evitando situaciones de peligrosidad para los operarios, eliminando arduos trabajos en la toma de datos sobre zonas de difícil acceso y escasa visibilidad (Castro, 2018).

Al cual se responde que, teniendo el resultado sobre la precisión de las metodologías de medición empleadas, podemos indicar que en el cálculo de volúmenes realizadas en base a las fotos obtenidos con las RPAS de ala fija y ala rotatoria son técnicamente eficientes obteniendo resultados confiables.

Los cálculos de volúmenes y excavaciones con el uso de la fotogrametría y el dron Phantom 2 Visión +, se realiza en menor tiempo que con la estación total, además se requiere mucho menos personal que el método clásico (Tacca, 2015).

Al respecto, se responde que, en los cálculos de movimiento de tierra (volumen de corte y relleno) mediante la utilización de los datos recolectados de los vuelos fotogramétricos con los RPAS (eBee Sensefly y Phantom 4 pro) requieren menor tiempo y menor personal además de que se disminuyen los riesgos al momento de realizar los trabajos en campo. Así mismo, el tiempo empleado en los trabajos de gabinete es mayor con los RPAS que con los datos obtenidos con una estación total.



## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en la Investigación realizada se han llegado a las siguientes conclusiones:

**PRIMERA:** Se realizaron los cálculos de volúmenes utilizando información obtenida del RPAS de ala fija (eBee Sensefly) y RPAS de ala rotatoria (Phantom 4 pro) en contrastación con una estación total, donde se ha comprobado estadísticamente por el método de Coeficiente de Correlación de Pearson, el resultado obtenido es aproximadamente perfecta entre los dos métodos y que la diferencia en precisión es mínima. Las que se detallan en el capítulo IV de la presente investigación

**SEGUNDA:** Se compararon el tiempo en el cálculo de volúmenes desde el trabajo en campo hasta la producción de planos finales, donde se determinó que el tiempo requerido en el cálculo de volúmenes mediante la metodología de recolección y procesamiento de datos con el RPAS de ala fija (eBee Sensefly) es mucho menor en base a la estación total. Como también sucede en la comparación con el RPAS de ala rotatoria (Phantom 4 pro) que resulta ser menor en contrastación con la estación total.



## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda el uso del RPAS de ala fija (eBee SenseFly) y el RPAS de ala rotatoria (Phantom 4 PRO) en levantamientos fotogramétricos para el cálculo de volúmenes en zonas en donde la vegetación sea mínima y tomar imágenes en las épocas donde la superficie sea colorido y diferenciable del tipo de suelo, para tener una óptima clasificación de nube de puntos y llegar a un resultado más preciso y confiable.

**SEGUNDA:** Se recomienda utilizar los RPAS ala fija y ala rotatoria para áreas más extensas, donde el método directo pueda tener inconvenientes con el tiempo, la accesibilidad y peligros, puesto que estos equipos brindan una ventaja sobre la estación total en el tiempo y precisión.

**TERCERA:** Recomendamos realizar mayor investigación sobre la efectividad y la precisión de los resultados en diferentes ambientes de estudio, entre las recomendadas estarían los estudios en áreas de gran vegetación, vuelos a diferentes alturas y otros.

**CUARTA:** De acuerdo a los procedimientos desarrollados en esta investigación, se les recomienda a todos los que se dedican al área de fotogrametría con RPAS, que en el procesamiento de la clasificación de nube de puntos tomen criterios de acuerdo a su topografía y los elementos que se visualicen en el área de estudio para tener resultados más precisos, puesto que esta influye significativamente en los resultados finales.

**QUINTA:** Se recomienda también que la distribución de los puntos de apoyo terrestre estén bien diferenciados y bien distribuidos sobre el área de trabajo para que se puedan obtener resultados más precisos, y/o implementar tecnologías que permitan una mejor georreferenciación.



**SEXTA:** Se recomienda que el equipo empleado (computadora) para el post proceso tenga las mejores características en su hardware (memoria RAM, tarjeta de video, disco duro, procesador y otros), para reducir el tiempo del procesamiento de las imágenes tomadas por las RPAS de ala fija y ala rotatoria.





## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autodesk. (Agosto de 2020). <https://latinoamerica.autodesk.com/>. Obtenido de <https://latinoamerica.autodesk.com/products/civil-3d/overview>
- Bembibre, V. (Febrero de 2009). *Definición ABC*. Obtenido de Definición ABC: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/pixel.php>
- Castro Turga, J. J. (2018). *Medidas de volúmenes de acopio en la cantera el Aljibe-Amonacid de toledo utilizando el sistema RPAS*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Cherné Tarilonte, J., & Gonzáles Aguilar, A. (2015). *Construcciones Industriales - Movimiento de Tierras*. Ingeniería Industrial. Obtenido de [https://es.slideshare.net/spencer389/movimiento-de-tierras-45332199?from\\_action=save](https://es.slideshare.net/spencer389/movimiento-de-tierras-45332199?from_action=save)
- Claros Zelaya, R., Guevara Aguilar, A., & Pacas Cruz, N. (Agosto de 2016). Tesis: "Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados". San Miguel, El Salvador: Universidad de el Salvador.
- Cuerno Rejado, C., García Hernandez, L., Sánchez Carmona, A., Carrio, A., Sánchez Lopez, J., & Campony, P. (Mayo-Junio de 2016). Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad. *Dyna*, 91(3), 7.
- Dávila Martínez, F. J., & Camacho Arranz, E. (4-5 de Octubre de 2012). Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de Archivos y Cartotecas "Propuesta Metodológica". *IBERCARTO*, 9.
- Fernández Coppel, I. (s.f.). *Localizaciones Geográficas. EL DATUM*. España: Universidad de Valladolid.



- FotoNostra. (25 de Julio de 2020). *FotoNostra*. Obtenido de <https://www.fotonostra.com/digital/jpeg.htm>
- Huerta, E., Mangiaterra, A., & Noguera, G. (2005). *GPS Posicionamiento Satelital*. Rosario, Argentina: Universidad Nacional de Rosario UNR.
- Instituto Geográfico Nacional - Unidad de Control de Calidad y Normalización. (Diciembre de 2015). Norma Técnica Geodésica: Especificaciones técnicas para posicionamiento geodésico estático relativo con receptores del Sistema Satelital de Navegación Global. 50. Lima, Perú.
- Mendoza Dueñas, J. (2015). *Topografía técnicas modernas* (Segunda Edicion ed.). Lima, Lima, Peru: Gráfica Segrin. Obtenido de [http://biblioteca.unap.edu.pe/opac\\_css/index.php?lvl=notice\\_display&id=104185](http://biblioteca.unap.edu.pe/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=104185)
- Orta Amaro, P. (2013). *Tecnología de construcción de las explanaciones*. Cuba: Editorial Félix Valera.
- Pearlman, S. (19 de Febrero de 2019). *Talend*. Obtenido de <https://es.talend.com/resources/what-is-data-processing/>
- Pedraza Santos, A. (2019). *Análisis comparativo del levantamiento topográfico tradicional y el levantamiento topográfico con RPAS en la Huaca Aznapuquio, Los Olivos - 2019*. Lima-Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Pérez Álvarez, J. A. (2001). *Apuntes de Fotogrametría III*. Merida.
- PIX4D. (25 de Abril de 2019). *Mapeo aereo de precision*. Obtenido de <https://www.pix4d.com/es/blog/mapeo-aereo-de-precision>
- Quirós Rosado, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil* (1ra. ed.). Cáceres, Mérida, España: Universidad Extremadura UEX.



- Raffino, M. E. (27 de julio de 2020). *Definicion de Volumen*. Obtenido de Definicion de Volumen: <https://concepto.de/volumen/>
- Sánchez, C. (Junio de 2017). Vehículos aéreos no tripulados: Descripciones generales y aplicaciones. *DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL*, 7.
- Serafino, A. (s.f.). *Cálculo de Volúmenes*. San Juan, Argentina: UNSJ.
- Tacca, H. (2015). *Comparacion de Resultados de un levantamiento topografico utilizando la fotogrametria con drones al metodo tradicional*. Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Tierra Criollo, A. R. (2009). *Evaluación del EGM08 y EGM96 en el ecuador a partir de datos de GPS y nivelacion Geometrica*.
- Tiktin, J. (1994). *Procedimientos generales de construcción: movimiento de tierras : utilización de la maquinaria, producciones y casos prácticos, compactación de materiales, utilización de compactadores* (3ra. ed.). Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos.



## ANEXOS

**Anexo 1.** Ficha técnica del IGN

**Anexo 2.** Informes de procesamientos con AGISOFT METASHAPE

**Anexo 3.** Especificaciones de los equipos utilizados

**Anexo 4.** Planos

**Anexo 5.** Panel fotográfico