



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS EN CARRETERAS
GENERADO POR EL MÉTODO DE DIFERENCIA DE
SUPERFICIES CON DRONE EN CONTRASTE AL MÉTODO DE
PRISMA DE CARRETERA**

TESIS

PRESENTADA POR:

**GUSTAVO ANTONIO ALCA ARPASI
DIEGO ALFONSO GUTIERREZ YANA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A Dios, por la vida, la salud, la sabiduría y perseverancia que me brinda para poder lograr mis metas. A mi padre Julián Alca que desde el cielo ilumina mi camino. A mi madre Lucía Arpasi por enseñarme los valores y por su apoyo incondicional. A mi hermano Raúl Alca que siempre es un ejemplo a seguir. A Dina Asqui mi compañera de vida, madre de mis hijas, que con mucho amor me alienta para seguir adelante. A Diana Vianey y Evelyn Massiel mis preciosas hijas quienes siempre serán mi motivo para mi superación personal, a mis padres políticos Alberto Asqui y Cristina Mamani por su apoyo, sus consejos y su gran cariño. A mi amigo y compañero de tesis Diego Gutiérrez siempre perseverante y con actitud positiva.

Gustavo Antonio Alca Arpasi



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado con inmensa gratitud a mi madre Verónica Yana Cruz y mi padre don Alfonso Gutierrez Valdivia (Q.E.P.D) quienes depositaron en mi su buena fe y confianza. Son y siempre serán mi inspiración.

Con absoluto amor a mi compañera de vida Pilar Yesemia Pacompía Gomez quien, con su paciencia y pasión, pero principalmente con sus hechos, han motivado la ejecución y posterior culminación de este proceso académico; también porque, a través de ella tuve la fortuna de conocer a mis suegros don Leonardo Pacompía Quispe y doña Sonia Gómez Gutierrez quienes han apoyado mi causa de manera incondicional, a ellos también va dedicado mi trabajo.

A mis hermanos Ángel, Antonio, Alfredo, Ernesto, Yesenia y Max por apoyarme en los momentos más críticos de mi periodo universitario y por demostrarme el gran aprecio que me tienen.

A mi gran amigo Gustavo Antonio Alca Arpasi, compañero de tesis con quien hemos sopesado una y diez mil dificultades para llevar a cabo el presente proyecto de investigación, pero al final lo logramos.

Diego Alfonso Gutiérrez Yana



AGRADECIMIENTOS

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de nuestra prestigiosa Universidad Nacional del Altiplano Puno por compartir sus conocimientos, por ser exigentes para tener una formación de calidad, por sus consejos y recomendaciones muy acertadas y en especial a nuestro director de tesis Ing. Emilio Castillo Aroni y a nuestros jurados por las recomendaciones brindadas con el objetivo de mejorar este trabajo de investigación.

A los compañeros con quienes tuvimos la oportunidad de compartir conocimiento y momentos agradables e inolvidables en nuestra etapa de vida universitaria.

Gustavo Alca y Diego Gutierrez



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 14

ABSTRACT..... 15

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 17

1.1.1 Problema General: 17

1.1.2 Problemas Específicos: 17

1.2 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN 18

1.2.1 Objetivo General..... 18

1.2.2 Objetivos Específicos 18

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 19

1.3.1 Hipótesis General 19

1.3.2 Hipótesis Específicas 19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES 20

2.2 BASE NORMATIVA 26

2.3 MARCO TEÓRICO..... 26



2.3.1	Método tradicional de levantamientos topográficos.....	26
2.3.2	Método de radiación	27
2.3.3	Fotogrametría	28
2.3.4	Drone	28
2.3.5	Aplicaciones de drone	30
2.3.6	Fotogrametría con drone.....	32
2.3.7	Plan de vuelo	32
2.3.8	Prisma de carreteras.....	34
2.3.9	Nivelación Trigonométrica.....	34
2.3.10	Diseño geométrico de carreteras.....	35
2.3.11	Cálculo de volumen por diferencia de superficies.....	41
2.3.12	Hipótesis estadística	43
2.3.13	La hipótesis nula y la hipótesis alternativa.....	43
2.3.14	Bases para la elección de una prueba estadística.....	43
2.3.15	Pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas	45
2.3.16	Probabilidades de error.....	46
2.3.17	Elección de la prueba estadística.....	47

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	MATERIALES	49
3.1.1	Recursos utilizados para el método de fotogrametría con drone.....	49
3.1.2	Recursos utilizados por el método tradicional de levantamiento topográfico	50
3.2	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	53
3.2.1	Área de influencia.....	53



3.2.2	Generación de superficie topográfica por fotogrametría con dron	55
3.2.3	Generación de superficie por el método tradicional con estación total	75
3.2.4	Determinación de cotas en las progresivas del perfil longitudinal	82
3.2.5	Diseño geométrico de carreteras	93
3.2.6	Cálculo de volúmenes de movimiento de tierras	119

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RESULTADOS	130
4.1.1	Prueba de hipótesis	130
4.1.2	Interpretación de resultados	156
4.2	DISCUSIÓN	159
V.	CONCLUSIONES	162
VI.	RECOMENDACIONES	165
VII.	REFERENCIAS	167
ANEXOS		170

Área : TRANSPORTES Y GESTIÓN VIAL

Tema : INNOVACIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 17 DE DICIEMBRE DEL 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Levantamiento topográfico por radiación	28
Figura 2: Tipologías de drones según su arquitectura	29
Figura 3: Aplicaciones de uso de drones	32
Figura 4: Plan de vuelo para ortomosaico	33
Figura 5: Diagrama general para el cálculo de volumen entre dos superficies	41
Figura 6: Ilustración gráfica del cálculo de volumen por comparación de superficies por Autodesk.....	42
Figura 7: Proceso de selección de una prueba de hipótesis	44
Figura 8: Área de influencia	55
Figura 9: Establecimiento de fotocontroles en campo.	57
Figura 10: Área de influencia de la misión 02	59
Figura 11 Ejecución del vuelo fotogramétrico.	60
Figura 12: Imágenes insertadas al software Agisoft Metashape.	61
Figura 13: Creación de nube de puntos dispersa.	63
Figura 14: Posiciones de cámaras y traslape de imágenes.	64
Figura 15 Vinculación de los marcadores con la nube de puntos dispersa.	65
Figura 16: Nube de puntos densa.	67
Figura 17: Visualización de puntos del terreno natural.	68
Figura 18: Nube de puntos insertada al software Quick Terrain Modeler.	69
Figura 19: Producción de líneas de rotura (secciones transversales).	70
Figura 20: Visualización isométrica de las líneas de rotura	71
Figura 21: Inserción de líneas de rotura (Breaklines)	72
Figura 22: Densificación de puntos del terreno.....	73
Figura 23: Curvas de nivel a partir de datos fotogramétricos.	74



Figura 24: Modelamiento de la superficie topográfica por fotogrametría.....	74
Figura 25: Vista del punto de control PC-01 y lectura GPS submétrico.....	76
Figura 26: Red de control planimétrico para el método tradicional	77
Figura 27: Importación de puntos de estación total.....	79
Figura 28: Configuración de la triangulación de la superficie topográfica	80
Figura 29: Superficie topográfica representado por curvas de nivel.....	81
Figura 30: Modelamiento de la superficie topográfica.....	82
Figura 31: Convergencia de perfiles longitudinales	93
Figura 32: Velocidad de diseño en función a su clasificación	95
Figura 33: Datos básicos de vehículo de diseño.....	96
Figura 34: Longitud de tramos en tangentes	97
Figura 35: Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras.....	98
Figura 36: Dimensiones del vehículo representativo	99
Figura 37: Orientación del alineamiento.	101
Figura 38: Angulo de deflexión.....	102
Figura 39: Pendientes máximas en porcentaje (%)	108
Figura 40: Longitud mínima de curva vertical convexa PIV 0+023.92	109
Figura 41: Longitud mínima de curva vertical convexa PIV 0+786.23	110
Figura 42: Longitud mínima de curva vertical convexa PIV 1+804.93	111
Figura 43: Longitud mínima de curva vertical cóncavo PIV 1+547.72	112
Figura 44: Longitud mínima de curva vertical cóncavo PIV 1+978.59	113
Figura 45: Anchos mínimos de calzada en tangente	114
Figura 46: Determinación de ancho de bermas	115
Figura 47: Determinación del valor de bombeo de la calzada	115
Figura 48: Determinación del valor de peralte máximo	116



Figura 49: Valores referenciales para taludes de corte.....	116
Figura 50: Valores referenciales para taludes de terraplenes	117
Figura 51: Sección típica de la vía	119
Figura 52: Modelamiento de diferencia de superficies	125
Figura 53: Segmentación de la superficie topográfica de la vía proyectada.	126
Figura 54: Creación de superficie de volumen segmentado.....	127
Figura 55: Representación en barras de volumen de corte y relleno.....	127
Figura 56: Reporte de volúmenes de corte y relleno, por defecto.....	128
Figura 57: Reporte de prueba de hipótesis específico 1	143
Figura 58: Reporte de prueba de hipótesis para la diferencia absoluta de volumen de corte	154
Figura 59: Reporte de prueba de hipótesis para la diferencia de volumen de relleno.	155
Figura 60: Reporte de contraste de hipótesis para la diferencia absoluta de volumen de corte y relleno.....	156



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Situaciones posibles al probar una hipótesis estadística.....	47
Tabla 2: Prueba estadística de acuerdo con los objetivos del estudio y la escala de medición de las variables	47
Tabla 3: Cuadro de utilización de equipos y herramientas.....	50
Tabla 4: Cuadro de utilización de materiales para el método tradicional.....	51
Tabla 5: Cuadro de utilización de equipos y herramientas para el método tradicional .	52
Tabla 6: Cuadro de materiales y útiles de escritorio.....	53
Tabla 7: Ubicación política.....	54
Tabla 8: Ubicación geográfica de inicio de carretera (PI-0).....	54
Tabla 9: Ubicación geográfica de fin de carretera (PI-F)	54
Tabla 10: Datos de fotocontroles	57
Tabla 11: Parámetros de misión 02.....	59
Tabla 12: Datos generales de vuelo fotogramétrico	60
Tabla 13: Cuadro de corrección de fotocontroles.....	66
Tabla 14: Red de control planimétrico	76
Tabla 15: Leyenda de códigos del levantamiento topográfico	78
Tabla 16: Datos de perfil longitudinal tomado con estación total.	83
Tabla 17: Datos de perfil longitudinal a partir de fotogrametría.	88
Tabla 18: Cuadro de cálculo de sobreamanchos	100
Tabla 19: Cuadro de elementos de curva.....	106
Tabla 20: Parámetros de diseño	118
Tabla 21: Cálculo de movimiento de tierras por el método de prisma de carreteras...	120
Tabla 22: Cálculo de movimiento de tierras por el método de diferencia de superficies	129



Tabla 23: Cotas de superficie topográfica por método tradicional y fotogrametría con drone.....	131
Tabla 24: Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la diferencia de cotas.....	137
Tabla 25: Tabla de cálculo de rangos con signo de Wilcoxon	138
Tabla 26: Tabla de datos para determinar la diferencia de volumen de movimiento de tierras	145
Tabla 27: Exploración descriptiva de datos de volumen de corte	147
Tabla 28: Exploración descriptiva de datos de volumen de relleno	149
Tabla 29: Pruebas de normalidad para análisis de diferencia de volúmenes de corte y relleno.....	151
Tabla 30: Resumen de contraste de distribución normal.....	152



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- MDT : Modelo digital de terreno.
- TIN : Red irregular triangulada (Triangulated irregular network).
- VANT : Vehículos aéreos no tripulados.
- UAV : Unmanned aerial vehicle.
- RPA : Aeronave pilotada a distancia (remotely piloted aircraft).
- RPAS : Sistema de aeronave pilotada a distancia (Remote piloted aircraft system).
- GPS : Sistema de posición global (Global positioning system).
- RTK : Cinemático en tiempo real (Real time kinematic).
- PPK : Post Proceso Cinemático (Post-processed kinematic).
- GNSS : Sistema global de navegación por satélite (Global navigation satellite system).
- EG : Manual de carreteras - Especificaciones técnicas generales para construcción - EG-2013.
- DG : Manual de carreteras: Diseño geométrico – DG-2018.
- IMDA : Índice medio diario anual.
- BM : Bench mark.
- QTM : Software quick terrain modeler.
- UTM : Universal transverse Mercator
- WGS-84: Sistema geodésico mundial 1984 (Wold geodetic system 84)



RESUMEN

La presente investigación está motivada en la validación de un método alternativo de cálculo de volumen de movimiento de tierras, para lo cual, se ha considerado el tramo de una carretera proyectada que une la vía Puno-Moquegua con la vía Puno-Desaguadero. Para el análisis se ha considerado la fase de levantamiento topográfico por dos métodos que consiste en la obtención de la superficie topográfica aplicando principios de fotogrametría con drone y el otro método que es el método tradicional de levantamiento topográfico con estación total. Para el proceso se ha utilizado software especializado agisoft metashape, quick terrain modeler, autodesk civil 3D con la finalidad de aumentar la precisión para generar, como primera medida, la superficie topográfica para luego realizar el diseño geométrico de carreteras con la finalidad de generar una superficie de vía proyectada. Obtenida una superficie real de terreno y la superficie de vía proyectada, se divide la vía en tramos de 100 metros donde cada tramo es una muestra y se procede a calcular el volumen de movimiento de tierras, tanto por el método propuesto de diferencia de superficies que considera toda la superficie y el método de prisma de carreteras que consiste en la estimación por promedio de áreas de corte y relleno en cada progresiva multiplicada por la distancia entre ellos. Con los resultados de cada método se calcula la diferencia de volumen de cada muestra, que al someterlos a prueba estadística resultan significativamente diferentes con lo que se concluye que el volumen de movimiento de tierras en carreteras, generado del método de diferencia de superficies, representa el volumen real de movimiento de tierras debido a que no subestima información en intermedio de dos progresivas consecutivas y garantiza mayor precisión en metrados y presupuesto de obras viales en comparación a los resultados obtenidos con el método de prisma de carreteras.

Palabras Clave: volumen de movimiento de tierras, diferencia de superficies, fotogrametría con drones, prisma de carreteras, método tradicional.



ABSTRACT

This research is motivated by the validation of an alternative method of calculating the volume of earthworks, for which, the section of a projected highway that connects the Puno-Moquegua road with the Puno-Desaguadero road has been considered. For the analysis, the topographic survey phase has been considered by two methods that consists of obtaining the topographic surface applying principles of photogrammetry with drone and the other method, which is the traditional method of topographic survey with a total station. For the process, specialized software has been used agisoft metashape, quick terrain modeler, autodesk civil 3D in order to increase the precision to generate, as a first measure, the topographic surface and then carry out the geometric design of roads in order to generate a surface of projected track. Once a real land area and the projected road surface are obtained, the road is divided into sections of 100 meters where each section is a sample and the volume of earthworks is calculated, both by the proposed method of surface difference that It considers the entire surface and the road prism method, which consists of estimating the cut and fill areas in each progressive multiplied by the distance between them. With the results of each method, the difference in volume of each sample is calculated, which when subjected to statistical test results significantly different, with which it is concluded that the volume of earthworks on roads, generated from the surface difference method, represents the real volume of earthworks due to the fact that it does not underestimate information in between two consecutive progressives and guarantees greater precision in metering and budget of road works compared to the results obtained with the road prism method.

Key Words: earthmoving volume, surface difference, drone photogrammetry, road prism, traditional method.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente la tecnología avanza de una manera acelerada en la que se ponen a la disposición de profesionales y estudiantes de ingeniería diversas herramientas para trabajar proyectos con una mejor calidad y exactitud entre las cuales mencionamos la aplicación de drones en trabajos de ingeniería. Nos enfocaremos específicamente en obras viales donde, para el cálculo de volumen de movimiento de tierras en carreteras, se usa el método de “Prisma de Carreteras” que consiste en estimar el promedio de área de corte y relleno multiplicado por su longitud entre dos secciones de progresivas consecutivas, el cual desestima la variación de volumen que puede existir entre dos progresivas, el método de prisma de carreteras se ha planteado aquellos años en que la generación de superficie topográfica solo se podía obtener mediante levantamientos topográficos por métodos tradicionales de acuerdo a los equipos topográficos disponible en ese entonces.

El análisis de movimiento de tierras en carreteras es uno de los resultados del diseño geométrico de un proyecto vial, donde uno de los estudios básicos es el levantamiento topográfico. En la actualidad se siguen aplicando métodos tradicionales de levantamiento con estación total para la obtención de puntos que formarán parte de una red que represente una superficie de terreno; sin embargo, con la aplicación de fotogrametría con drones, es posible realizar el levantamiento topográfico y generar una superficie en base a nube de puntos que nos brinda mayor detalle y exactitud en la generación de superficie de terreno; teniendo una superficie en base a nube de puntos, nos permite calcular con mayor precisión el volumen de movimiento de tierras en proyecto de carreteras que se basa en el cálculo de volúmenes de corte y relleno a nivel de subrasante que consiste en la comparación entre dos superficies topográficas el cual



llamaremos “Método de Diferencia de Superficies”; la primera superficie se obtiene de la materialización de los parámetros del diseño geométrico de la vía constituyéndose como la superficie de la vía proyectada y la segunda superficie es aquella superficie topográfica que representa de la manera más precisa el terreno real existente en campo.

En el desarrollo de la presente investigación se calculará el volumen de movimiento de tierras por el método de diferencia de superficies y el método de prisma de carreteras para determinar la diferencia entre ellos, describir sus ventajas y desventajas, luego, explicar cuál de ellos presenta mayor precisión. Se pretende aplicar y comparar los métodos de cálculo de volumen de movimiento de tierras elaborando el diseño geométrico de la carretera que conecta el Centro Poblado de Salcedo con la carretera Puno-Moquegua a la altura de la comunidad Mi Perú.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Problema General:

¿Es factible adoptar método de diferencia de superficies en lugar del método de prisma de carretera en el cálculo de movimiento de tierras en carreteras?

1.1.2 Problemas Específicos:

- ¿De qué forma obtener la superficie topográfica por el método de fotogrametría con drones y el método tradicional?
- ¿Cómo comprobar que la superficie topográfica obtenida por fotogrametría con dron se aproxima a la superficie real de terreno?
- ¿Cómo calcular el volumen de movimiento de tierras en carreteras aplicando el principio de diferencia de superficies?



- ¿Qué diferencia existe entre los volúmenes de movimiento de tierras calculados por el método de diferencia de superficies y el método de prisma de carretera sugerido por la EG-2013?

1.2 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo General

Analizar el volumen de movimiento de tierras en carreteras obtenido por el método de diferencia de superficies aplicando la fotogrametría con drone, en contraste al método de prisma de carretera basado en el método tradicional.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Obtener la superficie topográfica aplicando un adecuado post proceso de fotogrametría con drone y la superficie topográfica por el método tradicional con estación total.
- Comprobar que la superficie topográfica generada por fotogrametría con drone representa la superficie real de terreno.
- Determinar el volumen de movimiento de tierras por el método de diferencia de superficies aplicando fotogrametría con drone y por el método de prisma de carreteras sobre un levantamiento topográfico tradicional.
- Evaluar la diferencia de volumen de movimiento de tierras obtenido por diferencia de superficies respecto al método de prisma de carretera.



1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis General

El volumen calculado por el método de diferencia de superficies aplicando fotogrametría con dron representa el volumen real de movimiento de tierras en carreteras.

1.3.2 Hipótesis Específicas

- La superficie topográfica obtenida por fotogrametría con dron representa la superficie real de terreno.
- Existe considerable diferencia entre el volumen de movimiento de tierra calculado por el método de diferencia de superficies y el método de prisma de carreteras sugerido por la EG-2013.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Santamaria Sandoval (2019) en su trabajo de tesis de grado de la Universidad Cesar Vallejo titulado “Comparación técnica económica utilizando drone y estación total para el diseño geométrico de carreteras, centro poblado cruz del médano - Mórrope” concluye que la topografía realizada con drone es una técnica innovadora al método tradicional, proporciona imágenes de alta calidad, para luego llevarlas al programa Agisoft y así unir las fotos lo cual genera el relieve del terreno de calidad, el cual servirá para una adecuada elaboración de planos.

Ayala Valdivia (2018) en su tesis de grado de la Universidad Privada de Trujillo titulado “Evaluación de levantamientos topográficos con drone (DJI Phantom 4 pro) y estación total, quebrada señor de Quinuapata del distrito de Ayacucho, Perú 2018” concluye que ambos equipos de topografía como el drone DJI Phantom 4 pro y la estación total, resultan iguales en un levantamiento topográfico con un 95% de nivel de confianza estadística, lo que resulta un equipo de drone apropiado para trabajos topográficos en fotogrametría, también enfatiza que es mejor y más conveniente el uso de drone para trabajos de topografía debido a que con este equipo se realiza el trabajo en menor tiempo y por ende resulta más barato y más eficiente comparado con el método tradicional con estación total.

Cuenca Granados (2021) en su tesis de grado “Análisis comparativo técnico - económico entre el levantamiento topográfico aerofotogramétrico usando drones y el método tradicional con estación total” de la Universidad Peruana del Centro, indica que



su investigación surge ante la problemática de la fiabilidad de los levantamientos topográficos realizados mediante aerofotogrametría usando drones ya que esta nueva técnica de trabajo se está usando masivamente en los últimos años aún a costas de que la fiabilidad de la toma real de datos de la geomorfología del terreno no está demostrada; por ello, se plantearon problemas con respecto a las variaciones entre técnicas demostradas y confiables como lo es el levantamiento topográfico con Estación Total; de esta manera se planteó el objetivo de determinar la variación de las mediciones realizadas mediante aerofotogrametría con drone con respecto al método tradicional con Estación Total concluyendo que existe diferencia en coordenadas “Norte” y “cota de terreno”, mientras que no existe diferencia en coordenada “Este”, esto con un nivel de significancia de 5%; por lo que, existe una diferencia significativa entre ambas técnicas, siendo el levantamiento Aerofotogramétrico con drone menos precisó que el levantamiento con estación total. Por otro lado, se plantea también como objetivo determinar la diferencia en la comparación del cálculo de movimiento de tierras en levantamientos topográficos realizados mediante aerofotogrametría con drone y con método tradicional con estación total concluyendo que se tiene una variación a nivel de superficie de $0.0392 \text{ m}^3/\text{m}^2$, por lo que existe una pequeña exageración en el cálculo del movimiento de tierras en una superficie generada mediante aerofotogrametría con drones.

Según Mamani y Platero (2021) en su tesis de grado titulado “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” de la Universidad Nacional del Altiplano, se plantean como objetivo comprobar la diferencia en precisión en el cálculo de volúmenes utilizando información obtenida de RPAS ala fija y ala rotatoria en contrastación con la estación total, se concluye que se ha comprobado estadísticamente por el método de Coeficiente de Correlación de Pearson,



que 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 es aproximadamente perfecta entre los dos métodos y que la diferencia en precisión es mínima.

En la Universidad Cooperativa de Colombia, Machado Pertúz (2020), en su trabajo de tesis titulado “Análisis de la utilización de drones para el levantamiento topográfico en sitios habitados donde se presentan aguas estancadas en el Municipio de Ciénaga Magdalena” con el propósito de implementar métodos innovadores para el desarrollo de estudios topográficos y en busca de mayores beneficios con la implementación de drones, se plantea objetivos como conceptualizar el uso drones y las variables mínimas necesarias para su implementación en levantamientos topográficos, además caracterizar los procesos tecnológicos y la viabilidad que genera el uso de drones en topografía identificando ventajas y desventajas que trae consigo la implementación de los mismos. En el desarrollo de su investigación destacan las ventajas de levantamiento topográfico con drone, respecto al tiempo en que se lleva a cabo un levantamiento y el escaso recurso humano requerido para ejecutar dicha actividad.

Tacca (2015), en su tesis de grado titulado “Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional” de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, plantea como objetivo comparar los resultados del método drone y el método directo, específicamente pretende determinar si las mediciones obtenidas a través de tomas aerofotográficas son similares a los obtenidos con una estación total, a la vez, determinar cuál de los dos métodos es más económico y requiere menor tiempo; en dicha investigación concluye que los datos obtenidos en campo tomados con drone y las medidas obtenidas con la estación total,



ambos equipos georreferenciados tienen resultados muy similares con un nivel de confianza de un 95%, además se requiere menos personal en comparación del método tradicional.

Chambilla y Mamani (2018); en su trabajo de investigación titulado “Diferencia de áreas de los predios catastrales con estación total, dron e imágenes satelitales del centro poblado de Salcedo - Puno” plantean comparar la diferencia de áreas de los predios catastrales del Centro Poblado de Salcedo obtenidos con los métodos: levantamiento con estación total versus levantamiento con dron, levantamiento con estación total versus Imágenes Satelitales Sentinel 2^a y levantamiento con drones versus imágenes satelitales Sentinel 2A; con estas comparaciones, llega a la conclusión de que entre la estación total y el dron en el 30% de su muestra no existe diferencia significativa y en el 70% de su muestra si hay diferencia de áreas de forma significativa; además al comparar dron con imagen satelital y estación total con imagen satelital se ha evidenciado diferencias significativas.

Jiménez et al (2019) en su trabajo de tesis titulado “Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total como método directo y el uso de drones y GPS como métodos indirectos” busca comprobar el resultado de medidas obtenidas en forma directa con una estación total con las medidas obtenidas con fotos aéreas tomadas desde un dron y las medidas obtenidas desde un GPS navegador, la investigación concluye que los datos obtenidos con dron y las medidas con estación total presentan resultados similares, sin embargo, afirma que el método de dron es más viable por su versatilidad y sus ventajas respecto a tiempos y costos minimizando el riesgo laboral para el personal técnico. Además, afirma que los resultados de fotogrametría son confiables y muy ventajosos comparados con otros instrumentos topográficos convencionales ya que



en coordenadas entre estación total y dron presenta desviaciones que varía en un rango de 1 a 5 cm considerando que el uso de estación total conlleva más fuentes de errores.

Sodano y Pari (2018) de la Universidad Privada del Norte, en su trabajo de investigación académica titulado “Ventajas en los levantamientos topográficos con el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV)” cuyo objetivo es determinar los procedimientos para un levantamiento topográfico y procesamiento hasta llegar a la obtención de mapas 3D y modelos digitales del terreno, realizado mediante fotogrametría aérea utilizando drones; en su investigación se concluye que con UAV se puede conseguir millones de puntos del terreno sin adicionar mayor tiempo, muy por el contrario con el método tradicional donde apenas se puede conseguir mil puntos diarios, además, enfatiza la reducción de tiempos y gastos de movilización que implica la topografía convencional resulta reducido en un 60% con el método indirecto.

Galarza et al. (2017) en su artículo “Modelo matemático para el control y auditoría de movimientos de tierra” presenta el desarrollo de la herramienta informática denominada Auditoría en Movimiento de Tierra (AMT), cuyo modelo matemático está basado en la integración numérica de elementos diferenciales de volumen. El software además de ser de bajo costo computacional permite realizar el seguimiento y control del movimiento de tierra de forma práctica y sencilla. En su justificación indica que programas como MicroStation civil 3d, AutoCAD civil 3d y AutoCAD civil permiten determinar el volumen entre una superficie base y una superficie de comparación, utilizando algoritmos basados en la triangulación de Delaunay (alta precisión) o definiendo secciones transversales y utilizando fórmulas básicas de geometría (media precisión). Dichos programas calculan el volumen dadas dos superficies pero no realizan el análisis del proceso constructivo en el movimiento de tierra de obras civiles, en cuyo



caso es necesario controlar el déficit o exceso en volumen respecto a los requerimientos del proyecto, para la cual propone el desarrollo de un software denominado AMT pretende organizar adecuadamente los datos y resultados de un proyecto de movimiento de terreno, simplificar el proceso de cálculo, optimizar la toma de datos, ofrecer un servicio de baja demanda de sistemas tecnológicos pero con alta calidad y precisión donde la base numérica para el cálculo de volúmenes entre superficies consiste en trazar una retícula de puntos equiespaciados que definen elementos prismáticos regulares alrededor de cada punto de la retícula en la superficie para aplicar la integración numérica de cada diferencial de volumen. Finalmente concluye que el uso del software AMT en el cálculo del volumen de movimiento de tierra de un proyecto de obra civil en sus diferentes etapas, puede ser una herramienta de utilidad tanto para el contratista como para el fiscalizador. AMT permite determinar las desviaciones que ocurren en el proceso poniendo a disposición información georreferenciada de los puntos donde se ha producido sobre excavación sin clasificar, sobre relleno con material de préstamo local, déficit de relleno o de excavación y así poder corregirlo oportunamente.

Peña Carbajal E. & Peña Carbajal L. (2020) en su trabajo de investigación de la Universidad Ricardo Palma titulado “Propuesta de Levantamiento de Tipos de Fallas Asistido por el Sistema de Aeronaves Pilotadas Remotamente (RPAS) para intervenir en Carreteras de Bajo Volumen en Lima Provincias”, en unos de sus objetivos específicos busca identificar el tipo de drone a usar para reducir el tiempo de levantamiento de inventario vial de una carretera de bajo volumen de tránsito, bajo este propósito se plantea una hipótesis, aplicando el drone Phantom 4 pro se reduce en un 72% el tiempo de recorrido para el levantamiento de inventario vial superficial en carreteras de bajo volumen. En la contrastación de hipótesis se aplicó el drone Phantom 4 porque reúne las mejores condiciones en cuanto a sus características como la robustez del chasis, batería



de 6000 mAH, a comparación de otros drones de gamma intermedia. Se aplicó en la carretera Mirador de Huancas Sonche que demandó un tiempo de vuelo de 25 minutos incluido la calibración, plan de vuelo, despegue vuelo del drone- y aterrizaje. Donde se concluye que identificó el drone Phantom 4 Pro entre 5 modelos de drones como el modelo de vuelo por las características acorde al trabajo a realizar en carreteras de bajo volumen, el mismo que reduce un 72% en tiempo. Además, el sensor como el RGB CMOS con el que cuenta éste modelo de drone, tiene sus atributos de alta resolución que permite observar un mayor detalle en fotografías generadas por la cámara.

2.2 BASE NORMATIVA

- Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013 aprobado por RD N° 22-2013-MTC/14 el 07 de agosto del 2013.
- Manual de carreteras: Diseño geométrico DG-2018 aprobado por RD N° 03-2018-MTC/14 el 30 de enero del 2018.
- Ley N° 30740, ley que regula el uso y las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) publicada el 22 de marzo 2018 y su reglamento.

2.3 MARCO TEÓRICO

2.3.1 Método tradicional de levantamientos topográficos

Son el conjunto de operaciones necesarias para determinar posiciones sobre la superficie de la Tierra, de las características naturales y/o artificiales de una zona determinada y establecer la configuración del terreno. El procedimiento a seguir en los levantamientos topográficos comprende dos etapas fundamentales las cuales son: El trabajo de campo, que es la recopilación de los datos. Esta recopilación fundamentalmente



consiste en medir ángulos horizontales y/o verticales y distancias horizontales o verticales (Junior, 2010).

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

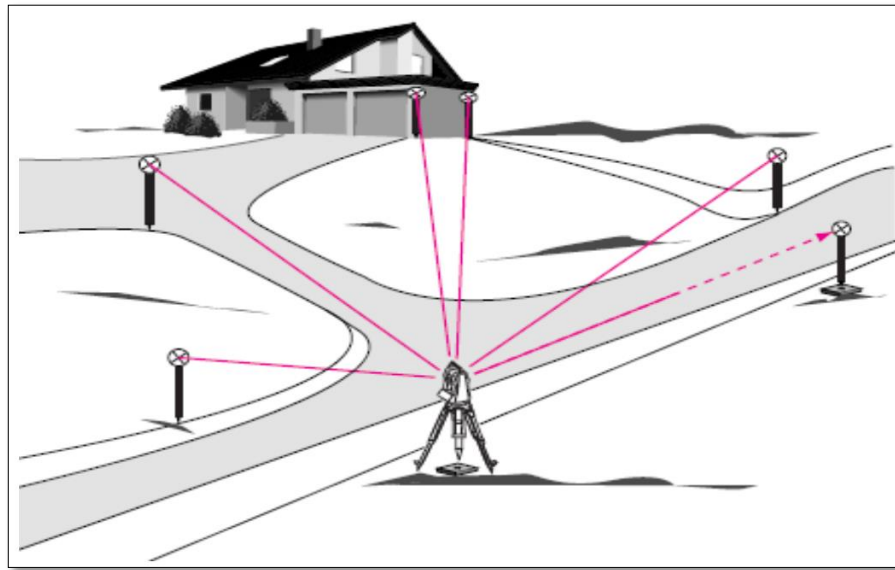
Se realiza los levantamiento topográficos con el fin de determinar la configuración del terreno y la posición sobre la superficie de la tierra, se toman los datos necesarios para la representación gráfica o elaboración del mapa del área de estudio (Casanova Matera, 2002)

2.3.2 Método de radiación

Es el método comúnmente empleado en levantamientos de superficies de mediana y gran extensión, el método se apoya en una poligonal base y a partir de cuyos vértices se hace la radiaciones a fin de determinar la ubicación de los puntos de relleno y de detalles (Casanova Matera, 2002). Los equipos actualmente utilizados para levantamiento por radiación son estación total y prismas, en la Figura 1 se tiene un esquema de método de radiación.

Figura 1:

Levantamiento topográfico por radiación



FUENTE: *Principios básicos de topografía*: <http://civilgeeks.com/2012/08/08/manual-de-principios-basicos-de-topografia>.

2.3.3 Fotogrametría

Fotogrametría es la ciencia por medio de la cual, a partir de fotografías del terreno, se consigue deducir su planta y su alzado, llegando a formar un plano topográfico del mismo. Estas fotografías pueden tomarse desde tierra o desde el aire, dando lugar a la división en dos grandes ramas de la fotogrametría: terrestre y aérea. Puede definirse también la fotogrametría como el conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuáles podemos deducir de la fotografía de un objeto, la forma y dimensiones del mismo (Santamaría Peña Sanz Méndez, 2011)

2.3.4 Drone

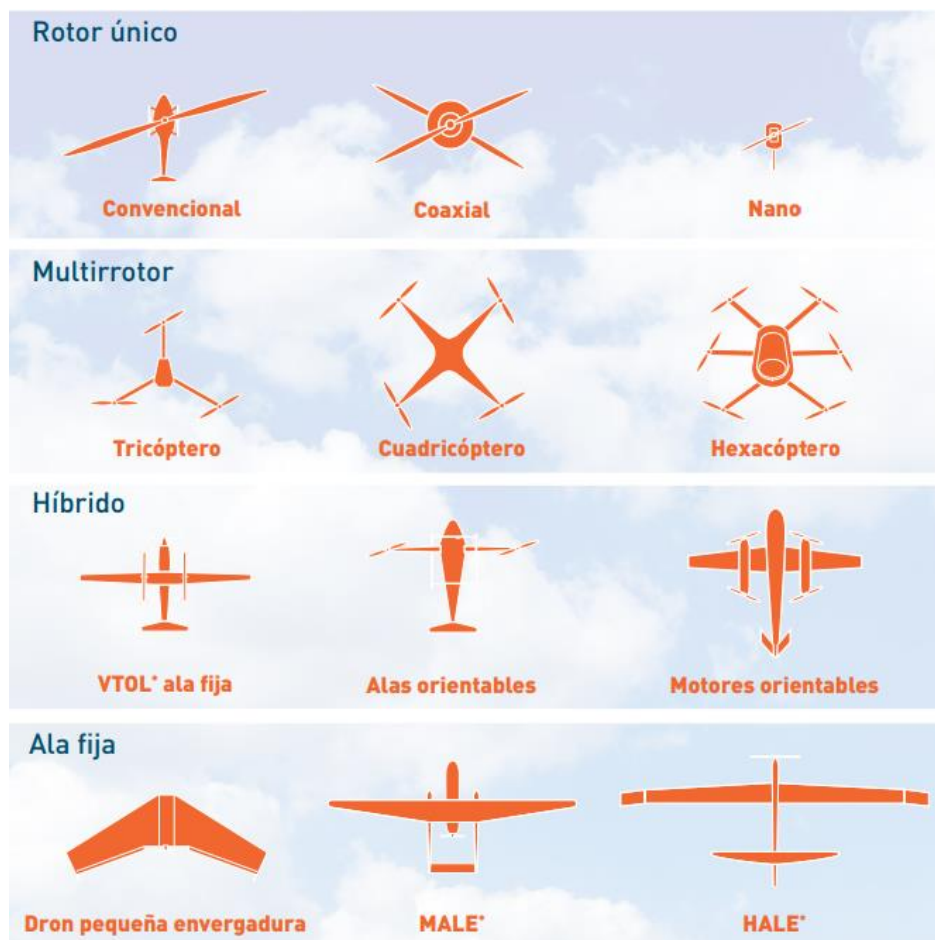
Bajo el termino drone se engloban todas las aeronaves sin piloto a bordo, según el grado de autonomía durante la operación divide a los drones en dos grandes grupos: los drones autónomos, que no requieren intervención humana y los de control remoto,

aquellos en los que el dron está controlado permanentemente por un piloto. Estos últimos se denominan habitualmente RPAS (De la Serna, 2018)

Por otro lado, este tipo de plataformas presentan arquitecturas muy diversas, distinguiéndose dos grandes grupos, las de ala fija y las que consiguen la sustentación mediante el empleo de alas rotatorias (de uno o varios rotores), aunque existen algunos modelos denominados híbridos que conjugan ambas soluciones técnicas

Figura 2:

Tipologías de drones según su arquitectura



Nota: VTOL: Despegue/Aterrizaje vertical, MALE: Altitud Media Largo Alcance, HALE: Altitud Elevada Largo Alcance.

FUENTE: Plan Estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España (De la Serna, 2018).



2.3.5 Aplicaciones de drone

Se describe aplicaciones consideradas por diferentes autores y cuyas aplicaciones se resumen en la *Figura 3*.

- Aplicaciones al control de calidad del aire: Consiste en implementar al drone con instrumentos que le permitan medir el nivel de contaminación atmosférica en el ambiente. Se utilizó sensores electrónicos, los cuales permitirían hacer observaciones continuas mediante drones de la contaminación atmosférica en diferentes entornos con los rangos espaciales y temporales requeridos (Escrura y Diaz 2015 como se citó en Peña E. y Peña L., 2020)
- Aplicaciones cartográficas: Mediante los RPAs obtendremos datos espaciales en un periodo corto de tiempo y con resolución espacial a un costo bajo. En tiempos anteriores a la aparición de los drones se dependía de la disponibilidad de los satélites, vehículos aéreos pilotados o cartografía ejecutada en campo los cuales servirán de base para los distintos procesos con el fin de elaborar la cartografía requerida (Sáez y Beltrán, 2015 como se citó en Peña E. y Peña L., 2020)
- Aplicaciones a la prospección y explotación de recursos minerales indica que los drones son ideales para la exploración y explotación de recursos mineros (López y Martin, 2015 como se citó en Peña E. y Peña L., 2020)
- Aplicaciones hidrológicas menciona a los vehículos submarinos no tripulados y VANT para adaptarlos con herramientas flexibles y sean capaces de monitorear y controlar grandes masas de agua (Ramos y Montes, 2015 como se citó en Peña E. y Peña L., 2020)
- Aplicaciones en agricultura indica que su uso se basa en que los agricultores puedan monitorear su explotación a través del drone y obtengan una perspectiva de sus cosechas (Montesinos, 2015 como se citó en Peña E. y Peña L., 2020)



- Aplicación al seguimiento fitosanitario de masas forestales donde los drones captan la información, a través de los índices espectrales de los drones, para saber sobre el estado de la vegetación (Checa et al., 2015 como se citó en Peña E. y Peña L., 2020)
- Aplicaciones en la gestión del patrimonio y herencia cultural nos dice que el dron será empleado para obtener datos de zonas inaccesibles de los bienes patrimoniales (Domínguez, 2015 como se citó en Peña E. y Peña L., 2020)
- Aplicaciones al mantenimiento de líneas eléctricas se utilizará el dron para inspecciones aéreas, apoyo en actuaciones de emergencia, topografía (Reinoso, 2015 como se citó en Peña E. y Peña L., 2020).
- Aplicaciones de rescate nos dice que los drones son capaces de acudir a un punto fijado por GPS, con un desfibrador, y facilitar la asistencia técnica y médica desde la propia cámara del dron (Diaz, J. 2015 como se citó en Peña E. y Peña L., 2020)
- Aplicaciones urbanísticas, aplicaríamos el dron como sistema de vigilancia, inspección urbanística (Mesas, F. y García, A., 2015 como se citó en Peña E. y Peña L., 2020)

Figura 3:

Aplicaciones de uso de drones



FUENTE: Plan Estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España (De la Serna, 2018).

2.3.6 Fotogrametría con dron

Esta técnica nos permite conocer las propiedades geométricas de un objeto o una superficie a partir de la información obtenida a partir de varias imágenes con información redundante. Simplificando, para que un objeto pueda estar fielmente reconstruido, éste, debe de aparecer en un número suficiente de imágenes. Es esta información repetida, la que permite extraer su estructura.(Aerial Insights, 2019).

2.3.7 Plan de vuelo

El vuelo fotogramétrico de un terreno, debe hacerse por pasadas paralelas y todas a la misma altura de vuelo. Eje de la pasada es la línea que une los puntos principales de todos los fotogramas. Debe existir un recubrimiento longitudinal (para ver en estereoscopia) y otro recubrimiento transversal, de una pasada sobre otra.(Santamaría Peña & Sanz Méndez, 2011)

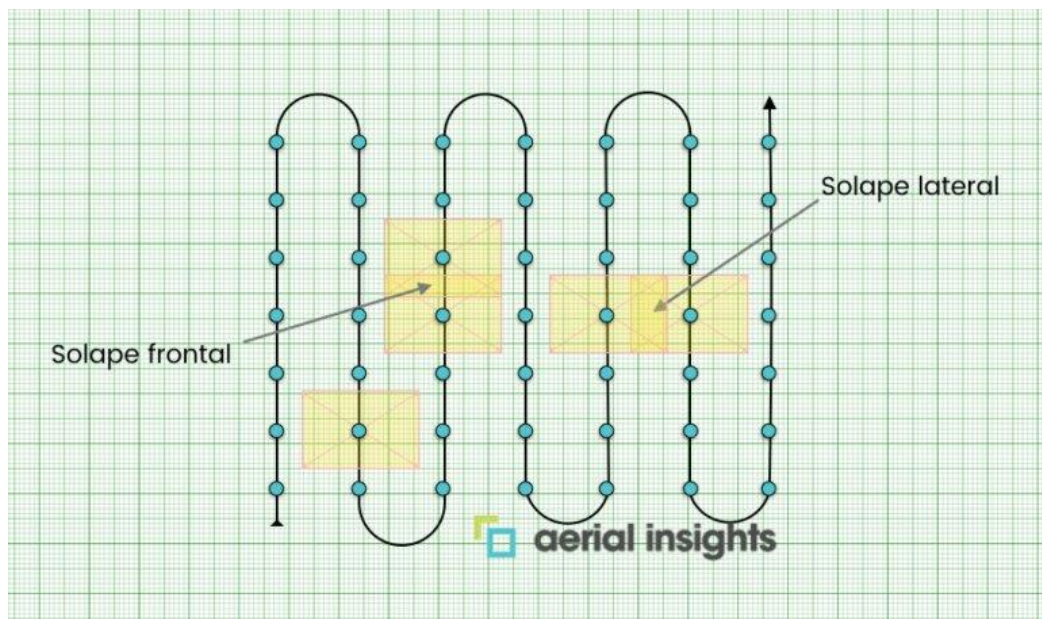
En la Web de Aerial Insights con título “Cómo planificar el vuelo del drone” nos brinda aspectos importantes que hay que tener en cuenta para realizar el plan de vuelo para fotogrametría con drones:

- La trayectoria de vuelo
- El solape entre las imágenes.
- Posición de la cámara.

La trayectoria a seguir será la de forma de cuadrícula, los solapes mínimos son entre 75% (frontal) y al menos el 60% (lateral) como se muestra en la *Figura 4*. La posición de la cámara estará totalmente perpendicular apuntando al suelo (Aerial Insights, 2019)

Figura 4:

Plan de vuelo para ortomosaico



Nota. El grafico representa un plan de vuelo donde se resalta la importancia de solapar frontal y lateralmente las imágenes.

FUENTE: *Aerial Insights*: <https://www.aerial-insights.co/blog/como-planificar-capturas-de-dron/>.



2.3.8 Prisma de carreteras

Según las especificaciones técnicas del EG-2013, Generalidades, Sección 07, el numeral 07.02 Términos de medición, literal a) metro cúbico, indica lo siguiente: En el prisma de carretera “para el cálculo de volúmenes de excavaciones y terraplenes se usará el método del promedio de áreas extremas, en base a la determinación de las áreas en secciones transversales consecutivas, su promedio y multiplicado por la longitud entre las secciones a lo largo de la línea del eje de vía”, de esta manera describe específicamente el método de prisma de carretera.

2.3.9 Nivelación Trigonométrica

Según Albornoz Olivares (2013) “Muchos ingenieros Geomensores en la actualidad con sólo escuchar “Nivelación Trigonométrica” le atribuyen inmediatamente la clasificación de "mediana precisión", usando solamente la nivelación geométrica para la mayoría de sus trabajos. Sin embargo, se debe tener siempre en cuenta que el método conocido por la mayoría, no necesariamente es el mejor método.” Es decir, en su investigación se precisa que la nivelación trigonométrica de precisión cumple con las tolerancias admisibles de error de cierre exigidas a la nivelación geométrica, de acuerdo al análisis de los resultados obtenidos en terreno durante el desarrollo de trabajo donde en una distancia de 2.4 km obtuvo un error de cierre de 8.7 mm.



2.3.10 Diseño geométrico de carreteras.

2.3.10.1 Aspectos generales.

2.3.10.1.1 Clasificación de la carretera.

a) Carreteras de tercera clase (clasificación según su demanda).

Son carreteras con IMDA menores a 400 Veh/día, con calzada de dos carriles de 3.00m de ancho como mínimo. De manera excepcional estas vías podrán tener carriles hasta de 2.50m, contando con el sustento técnico correspondiente. (DG-2018, p.12).

b) Terrenos accidentados y escarpados (clasificación según su orografía).

Según la definición del (DG-2018, p.13); se tiene que, para terreno accidentados, las pendientes transversales al eje de vía varían entre el 51% y el 100% y sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre 6% y 8%; mientras que para terreno escarpados las pendientes transversales al eje de la vía superan al 100% y sus pendientes longitudinales excepcionales son superiores al 8%.

2.3.10.1.2 Velocidad de diseño.

Es la velocidad escogida para el diseño, entendiéndose que será la máxima que se podrá mantener con seguridad y comodidad, sobre una sección determinada de la carretera, cuando las circunstancias sean favorables para que prevalezcan las condiciones de diseño. (DG-2018, p.96).

2.3.10.1.3 Vehículo de diseño.

Las características físicas y la proporción de vehículos de distintos tamaños que circulan por las carreteras, son elementos clave en su definición geométrica. Por ello, se hace necesario examinar todos los tipos de vehículos, establecer grupos y seleccionar el



tamaño representativo dentro de cada grupo para su uso en el proyecto. Estos vehículos seleccionados, con peso representativo, dimensiones y características de operación, utilizados para establecer los criterios de los proyectos de las carreteras, son conocidos como vehículos de diseño. (DG-2018, p.24).

2.3.10.2 Diseño geométrico horizontal.

El diseño geométrico en planta o alineamiento horizontal, está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares y de grado de curvatura variable, que permiten una transición suave al pasar de alineamientos rectos a curvas circulares o viceversa o también entre dos curvas circulares de curvatura diferente. (DG-2018, p.125).

2.3.10.2.1 Restricciones para tramos en tangente.

Las longitudes mínimas admisibles y máximas deseables de los tramos en tangente, en función a la velocidad de diseño, serán indicadas en la tabla 302.01 del DG-2018, p.127).

2.3.10.2.2 Radios mínimos y peraltes máximos.

Los radios mínimos de curvatura horizontal son los menores radios que pueden recorrerse con la velocidad de diseño y la tasa máxima de peralte, en condiciones aceptables de seguridad y comodidad, para cuyo cálculo puede utilizarse la siguiente fórmula: (DG-2018, p.128).

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(P_{m\acute{a}x} + f_{m\acute{a}x})} \quad (1)$$

Donde:

Rmín. : Radio mínimo absoluto (m).

V : Velocidad directriz en Km/h.



Pmáx. : Peralte máximo asociado a V (en tanto por uno).

fmáx. : Coeficiente de fricción lateral asociado a V.

2.3.10.2.3 Cálculo de sobreanchos.

El sobreancho es el ancho adicional de la superficie de rodadura de la vía, en los tramos en curva para compensar el mayor espacio requerido por los vehículos. (DG-2018, p.159).

Para el cálculo de los sobreanchos hay que tener en cuenta que para la carretera en estudio se ha optado por una calzada de dos carriles. Además de tener en consideración la siguiente formula: (DG-2018, p.125).

$$Sa = n(R - \sqrt{R^2 - L^2} + \frac{V}{10 * \sqrt{R}}) \quad (2)$$

Donde:

Sa : Sobreancho (m)

L : Distancia entre eje posterior y parte frontal (m)

n : Número de carriles

r : Radio de la curva circular (m)

V : Velocidad de diseño (Km/h)

En casos excepcionales se debe considerar lo siguiente: “El primer término, depende de la geometría y el segundo de consideraciones empíricas, que tienen en cuenta un valor adicional para compensar la mayor dificultad, en calcular distancias transversales en curvas. Debe precisarse, que la inclusión de dicho valor adicional, debe ser evaluado y determinado por el diseñador, para aquellas velocidades que éste considere bajas para el tramo en diseño.” (DG-2018, p.160).

Además, según el (DG-2018, p.161). La consideración del sobreancho, tanto durante la etapa de proyecto como la de construcción, exige un incremento en el costo y



trabajo, compensado solamente por la eficacia de ese aumento en el ancho de la calzada. Por tanto, los valores muy pequeños de sobreechancho no deben considerarse, ello implica que un valor mínimo de 0.40 justifica su adopción.

2.3.10.3 Diseño geométrico vertical.

2.3.10.3.1 Pendiente.

a) Pendiente mínima

Es conveniente proveer una pendiente mínima del orden de 0.5%, a fin de asegurar en todo punto de la calzada un drenaje de las aguas superficiales. Se pueden presentar los siguientes casos particulares: (DG-2018, p. 170)

- Si la calzada posee un bombeo de 2% y no existen bermas y/o cunetas, se podrá adoptar excepcionalmente sectores con pendientes de hasta 0.2%.
- Si el bombeo es de 2.5% excepcionalmente podrá adoptarse pendientes iguales a cero.
- Si existen bermas, la pendiente mínima deseable será de 0.5% y la mínima excepcional de 0.35%.
- En zonas de transición de peralte, en que la pendiente transversal se anula, la pendiente mínima deberá ser de 0.5%.

b) Pendiente máxima

Es conveniente considerar las pendientes máximas que están indicadas en la Tabla 303.01 del (DG-2018, p. 171).



2.3.10.3.2 Curvas verticales.

Los tramos consecutivos de rasante, serán enlazados con curvas verticales parabólicas, cuando la diferencia algebraica de sus pendientes sea mayor del 1%, para carreteras pavimentadas y del 2% para las demás. (DG.2018, p.174)

2.3.10.4 Diseño geométrico transversal.

El diseño geométrico de la sección transversal consiste en la descripción de los elementos de la carretera en un plano de corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de dichos elementos, en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

El elemento más importante de la sección transversal es la zona destinada a la superficie de rodadura o calzada, cuyas dimensiones deben permitir el nivel de servicio previsto en el proyecto, sin perjuicio de la importancia de los otros elementos de la sección transversal, tales como bermas, aceras, cunetas, taludes y elementos complementarios. (DG-2018, p. 183)

2.3.10.4.1 Calzada o superficie de rodadura

Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, no incluye la berma el cual se debe considerar la Tabla 304.01 del DG-2018. La calzada se divide en carriles, los que están destinados a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito. (DG-2018, p. 190)

El número de carriles de cada calzada se fijará de acuerdo con las previsiones y composición del tráfico, acorde al IMDA de diseño, así como del nivel de servicio deseado. Los carriles de adelantamiento, no serán computables para el número de carriles.



Los anchos de carril que se usen, serán de 3,00 m, 3,30 m y 3,60 m. Se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- En autopistas: El número mínimo de carriles por calzada será de dos.
- En carreteras de calzada única: Serán dos carriles por calzada.

2.3.10.4.2 Ancho de las bermas.

En la Tabla 304.02 del DG-2018 se establece el ancho de berma en función a la clasificación de la vía, velocidad de diseño y orografía.

2.3.10.4.3 Pendiente de bombeo.

En la Tabla 304.03 del DG-2018 se muestra los criterios para determinar el porcentaje de bombeo.

2.3.10.4.4 Pendiente del peralte.

En la Tabla 304.05 del DG-2018 se establece el peralta máximo en función a la zona de ubicación de la carretera y al tipo de terreno.

2.3.10.4.5 Talud de corte.

En la Tabla 304.10 del DG-2018 se define el talud de corte en función al tipo de suelo y la altura de corte requerida.

2.3.10.4.6 Talud para terraplenes.

En la Tabla 304.11 del DG-2018 se establece el talud a considerar en función a la altura y el material de préstamo para la conformación del talud en terraplenes.

2.3.11 Cálculo de volumen por diferencia de superficies

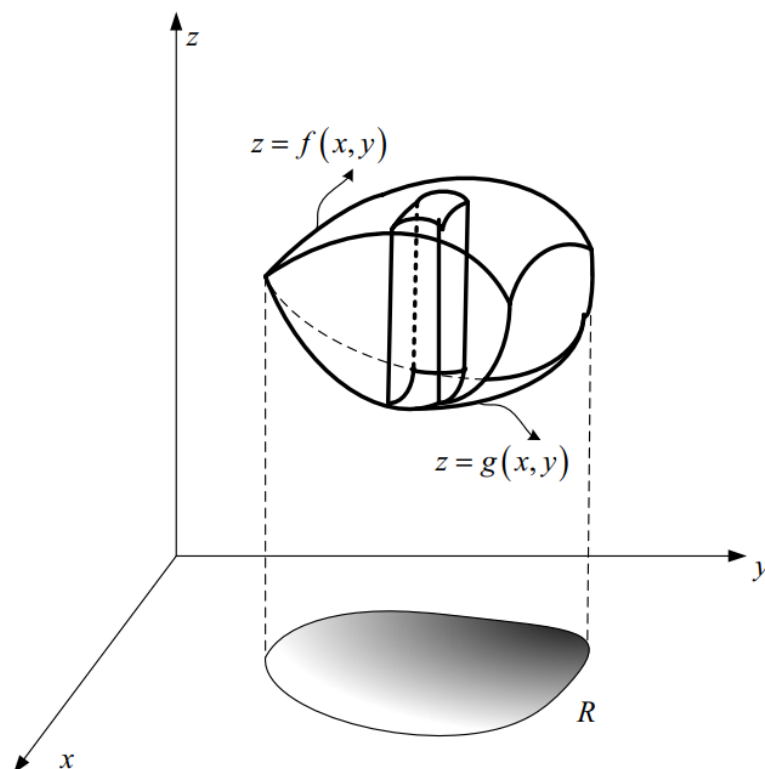
De forma genérica para el cálculo de volumen que existe entre dos superficies definidas en una determinada región R , nos basamos en los principios de cálculo integral como lo expresa Moises Villena en su publicación Integración Múltiple (pág. 169) cuya gráfica se muestra en la *Figura 5*. el volumen del sólido limitada por la superficie f y g definidas en la región R esta dado por:

$$V = \iint_R [f(x, y) - g(x, y)] dA$$

De la expresión se interpreta que el volumen del sólido delimitados por dos superficies definidos en una región R es la suma del diferencial de área multiplicado por la diferencia de alturas de las superficies.

Figura 5:

Diagrama general para el cálculo de volumen entre dos superficies



FUENTE: Integración Múltiple de Moisés Villena (pág. 169)

Galarza et al (2017), en la publicación de su artículo “Modelo matemático para el control y auditoría de movimientos de tierra” presenta el desarrollo de herramientas informáticas cuyo modelo matemático está basado en la integración numérica de elementos de diferenciales de volumen.

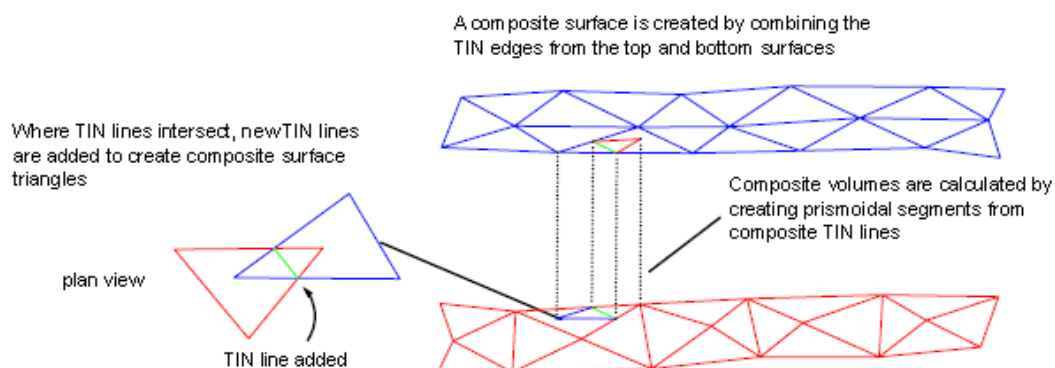
Bajo el mismo criterio la comunidad de soporte (Autodesk, 2014) en su publicación “About Composite Volumes” explica que el método compuesto por comparación de superficies, triangula una nueva superficie, basada en puntos de ambas superficies de comparación.

Este método utiliza los puntos de ambas superficies, así como cualquier ubicación donde los bordes de los triángulos entre las dos superficies se cruzan para crear segmentos prismoidales a partir de líneas TIN compuestas.

Las nuevas elevaciones de superficies compuestas se calculan en función de la diferencia entre las elevaciones de las dos superficies como se ilustra en la Figura 6, con este método proporciona medidas de volumen precisas entre las dos definiciones de superficie.

Figura 6:

Ilustración gráfica del cálculo de volumen por comparación de superficies por Autodesk



Nota. Se muestra una superficie compuesta que es creada por la combinación de los bordes de la triangulación de las dos superficies que delimitan el cálculo del volumen.



FUENTE: *Autodesk Help*: <https://knowledge.autodesk.com/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Civil3D-UserGuide/files/GUID-A3C76CEC-EE1F-45D4-8D34-E819EB51BD24-hm.html>

2.3.12 Hipótesis estadística

Una hipótesis estadística es una aseveración o conjetura respecto a una o más poblaciones (Walpole et al., 2012). La verdad o falsedad de una hipótesis estadística nunca se sabe con absoluta certeza a menos que se examine a toda la población.

2.3.13 La hipótesis nula y la hipótesis alternativa

La estructura de la prueba de hipótesis se establece usando el término hipótesis nula, el cual se refiere a cualquier hipótesis que se desea probar y se denota con H_0 . El rechazo de H_0 conduce a la aceptación de una hipótesis alternativa, que se denota con H_1 . La comprensión de las diferentes funciones que desempeñan la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1) es fundamental para entender los principios de la prueba de hipótesis.

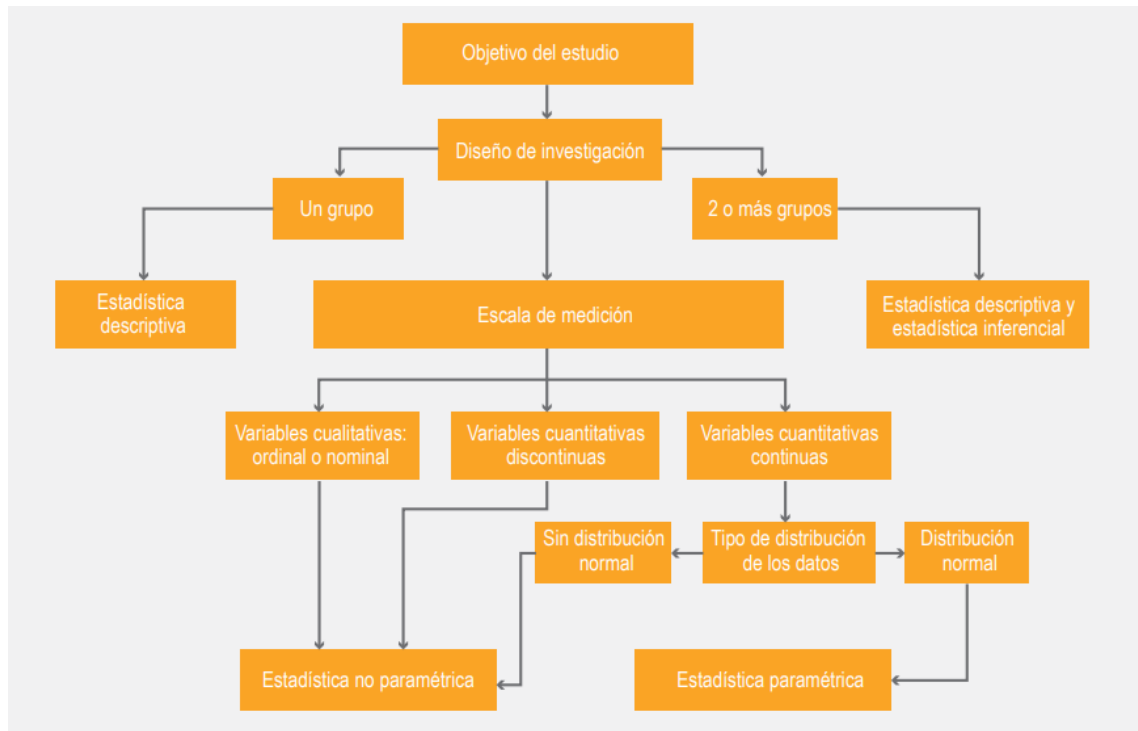
La hipótesis alternativa H_1 por lo general representa la pregunta que se responderá o la teoría que se probará, por lo que su especificación es muy importante. La hipótesis nula H_0 anula o se opone a H_1 y a menudo es el complemento lógico de H_1 (Walpole et al., 2012).

2.3.14 Bases para la elección de una prueba estadística

En la Figura 7 se establece una secuencia práctica para elegir la prueba estadística apropiada de acuerdo con cada protocolo de investigación. Los primeros 3 aspectos se describen a continuación.

Figura 7:

Proceso de selección de una prueba de hipótesis



FUENTE: El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial (Flores Ruiz et al., 2017).

2.3.14.1 Diseño de la investigación.

cuando solamente existe un grupo y el objetivo de la investigación únicamente es especificar una o más características de dicha población, el tipo de estudio se denomina descriptivo, por lo que, como su nombre lo indica, solo es necesario emplear estadística descriptiva. Los estudios comparativos se llevan a cabo con más de 2 grupos, también es necesario identificar si en el estudio se trata de determinar los cambios de las variables de resultado, antes y después de una maniobra. (Flores Ruiz et al., 2017)



2.3.14.2 Número de mediciones.

El segundo aspecto por considerar en la selección de una prueba estadística es el número de mediciones de las variables de resultado. Los investigadores pueden analizar de diferentes formas los cambios de una variable a lo largo de un periodo. (Flores Ruiz et al., 2017)

2.3.14.3 Escala de medición de las variables.

es necesario definir la naturaleza de cada uno de los datos o las mediciones que se realizan durante el desarrollo de una investigación; en general se pueden dividir en cualitativos o cuantitativos. A su vez, las variables cualitativas se clasifican en nominales y ordinales; las nominales agrupan las características similares entre sí en las que no hay diferencia entre una y otra. Por su parte, las variables cualitativas ordinales ya tienen cierta dimensión, como el estadio o gravedad de una enfermedad (leve/moderada/grave).

Por su parte, las variables cuantitativas pueden ser de 2 tipos: cuantitativas continuas y cuantitativas discontinuas (también conocidas como finitas o de intervalo). Las cuantitativas continuas son 4: peso, longitud, volumen y tiempo (por ejemplo, kilogramos de peso corporal, estatura en centímetros, mililitros de orina y edad de una persona, respectivamente). Las discontinuas con variables numéricas que de alguna manera no se pueden dividir (número de hijos, número de embarazos, etcétera) .(Flores Ruiz et al., 2017).

2.3.15 Pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas

Una vez que se definió con claridad los 3 aspectos señalados se deberá establecer a cuál de estos 2 conjuntos pertenece la prueba. Tomando en cuenta la escala de medición de las variables, al conjunto de pruebas estadísticas paramétricas les corresponde las



cuantitativas continuas; mientras que para las variables cualitativas (ya sean nominales u ordinales) y las cuantitativas discontinuas se incluyen las pruebas estadísticas no paramétricas.

Además, un requisito indispensable para seleccionar una prueba paramétrica es la distribución de los datos; en este sentido, solamente se debe utilizar este tipo de prueba cuando los datos muestran una distribución normal (es decir, semejante a una curva de Gauss). Se debe recordar que para determinar el tipo de distribución existen diferentes pruebas estadísticas, tales como Kolmogorov-Smirnov, ShapiroWilk o sesgo y curtosis. Como se observa en el Figura 7, de comprobarse que los datos no siguen una distribución normal, los investigadores deberán elegir una de las pruebas no paramétricas (Flores Ruiz et al., 2017).

2.3.16 Probabilidades de error.

El procedimiento de toma de decisiones recién descrito podría conducir a cualquiera de dos conclusiones erróneas.

El rechazo de la hipótesis nula cuando es verdadera se denomina **error tipo I**.

No rechazar la hipótesis nula cuando es falsa se denomina **error tipo II**.

Al probar cualquier hipótesis estadística, hay cuatro situaciones posibles que determinan si nuestra decisión es correcta o errónea.

Estas cuatro situaciones se re sumen en la Tabla 1, donde La probabilidad de cometer un error tipo I, también llamada nivel de significancia, se denota con la letra griega alfa “ α ”.

Tabla 1:

Situaciones posibles al probar una hipótesis estadística

	H₀ es verdadera	H₀ es falsa
No rechazar H ₀	Decisión correcta	Error tipo II
Rechazar H ₀	Error tipo I	Decision correcta

FUENTE: Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias Novena edición (Walpole et al., 2012, p. 323)

2.3.17 Elección de la prueba estadística.

En la *Tabla 2* se resume la manera de selección de las pruebas estadísticas, tomando en cuenta el objetivo, número de grupos y la escala de medición de las variables. Como parte del análisis global de los datos nunca debe omitirse la inclusión del análisis descriptivo de los datos, es decir, es necesario que los investigadores resuman cada una de las variables estudiadas en medidas de tendencia central y de dispersión, tomando en cuenta la escala de medición de las variables y su distribución.

Tabla 2:

Prueba estadística de acuerdo con los objetivos del estudio y la escala de medición de las variables

Objetivos del Estudio	Variables y Distribución	Tipo de muestra	Prueba recomendada
Comparar 2 promedios	Cuantitativas, distribución normal	Muestra relacionadas	t de Student
		Muestra Independientes	t de Student
	Cuantitativas discontinuas y continuas sin distribución normal	Muestra relacionadas	Wilcoxon
		Muestra Independientes	U Mann Whitney
Comparar ≥ 3 grupos	Cuantitativas, distribución normal	Muestra relacionadas	Análisis de varianza (ANOVA) de 2 vías
		Muestra Independientes	ANOVA de una vía



	Cuantitativas discontinuas y continuas sin distribución normal	Muestra relacionadas	Friedman
		Muestra Independientes	Kruskal-Wallis
Comparar 2 grupos	Cualitativas nominales y ordinales	Muestra relacionadas	McNemar
		Muestra Independientes	Chi-cuadrada*
Comparar ≥ 3 grupos	Cualitativas nominales y ordinales	Muestra relacionadas	Q de Cochran
		Muestra Independientes	Chi cuadrada
Correlación de 2 variables	Cuantitativas, distribución normal	Muestra Independientes	Coefficiente de correlación de Pearson
	Cuantitativas discontinuas y continuas sin distribución normal	Muestra Independientes	Coefficiente de correlación de Spearman

FUENTE: El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial (Flores Ruiz et al., 2017).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación describe los materiales utilizados en campo y gabinete y la metodología de trabajo adoptada en función a una secuencia lógica de obtención de datos previos a ser utilizados para los resultados.

3.1 MATERIALES

Para el desarrollo de la presente tesis se han realizado trabajos de campo y gabinete para la obtención de superficies topográficas vía método de fotogrametría con drone y el método tradicional con estación total, donde ha sido indispensable el uso de recursos como personal, materiales y equipos, esto se describe a continuación.

3.1.1 Recursos utilizados para el método de fotogrametría con drone

3.1.1.1 Recursos utilizados en campo para el método de fotogrametría con drone

Para realizar los trabajos de fotogrametría con drone en campo, se ha requerido de personal, materiales y equipos que se describen a continuación.

a) Personal

La operación de la estación total para la toma de datos de los fotocontroles, la planificación y vuelo fotogramétrico para la recolección de datos de campo con drone estaba a cargo de los tesisistas, mientras que el personal de apoyo que se ha requerido es de 01 ayudante encargado del marcado de fotocontroles y 01 ayudante de topografía como prismo para el levantamiento de puntos de fotocontrol con estación total.

b) Materiales

Para el marcado de fotocontroles se ha utilizado 02 bolsas de yeso de 25Kg.

c) Equipos

Se ha trasladado al personal y se ha movilizado los equipos a través de una camioneta 4x4, luego se ha establecido fotocontroles con el uso de la Estación Total de precisión 3” (incluye trípode de aluminio y prisma c/portaprisma), posterior a ello se ha ejecutado el vuelo fotogramétrico con un drone Phantom 4 pro v2.0, previo plan de vuelo. La relación de equipos utilizados en la fase de levantamiento fotogramétrico se resume en la *Tabla 3*.

Tabla 3:

Cuadro de utilización de equipos y herramientas

DESCRIPCIÓN	MARCA	CANTIDAD	UND
Camioneta 4x4	Ford	01	Und
drone Phantom 4 pro v2.0	DJI	01	Und
Estación Total precisión 3”	Leica TS-06	01	Und
Tripode de aluminio	Leica GST103	01	Und
Prisma c/Porta prisma	Leica CPR111	02	Und
Radios comunicadores	Wouxun KG-959	04	Und
Cámara Fotográfica 13 Mp	Samsung	01	Und

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.1.2 Recursos utilizados por el método tradicional de levantamiento topográfico

3.1.2.1 Recursos utilizados en campo

a) Personal

La planificación y ejecución del levantamiento topográfico de forma tradicional está a cargo de los tesisistas, además como personal de apoyo se ha requerido 01 topógrafo y 02 ayudantes de topografía como prismeros.

b) Materiales

Para la monumentación de los puntos de control (PCs) y bench mark (BMs) se ha requerido de cemento, agregados, agua y estacas de acero; para el pintado de dichos puntos y las progresivas se utilizó pintura esmalte, thinner, pinceles y brochas; además, se ha utilizado clavos de calamina y plásticas de polietileno para marcar las progresivas en la etapa de replanteo. Los materiales usados en la fase de levantamiento topográfico y replanteo se muestran en la *Tabla 4*.

Tabla 4:

Cuadro de utilización de materiales para el método tradicional

DESCRIPCION	CANTIDAD	UND
Pintura esmalte color rojo	0.50	Gln
Pintura esmalte color blanco	0.50	Gln
Thinner	0.50	Gln
Cemento portland tipo IP	01	Bls
Clavo de calamina	05	Kg
Plástica de polietileno	06	M2
Libreta de campo	02	Und.
Estacas de acero corrugado de ½" x 0.40m	27	Und
Pinceles y brochas	02	Und

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

c) Equipos

Se ha trasladado al personal y se ha movilizado los equipos a través de una camioneta 4x4, luego se ha georreferenciado el área de trabajo utilizando el GPS de precisión submétrica, para el levantamiento topográfico se empleó la estación total de precisión 3" (incluye 01 trípode de aluminio y 02 prismas con porta prismas), para la



coordinación constante de la cuadrilla de trabajo fue indispensable el uso de radio comunicadores, también se ha requerido de herramientas manuales para excavación y monumentación de puntos de control. La relación de equipos utilizados en la fase de levantamiento topográfico y replanteo se muestra en la *Tabla 5*.

Tabla 5:

Cuadro de utilización de equipos y herramientas para el método tradicional

DESCRIPCIÓN	MARCA	CANTIDAD	UND
Camioneta 4x4	Ford	01	Und
Estación total precisión 3”	Leica TS-06	01	Und
Trípode de aluminio	Leica GST103	01	Und
Prisma c/porta prisma	Leica CPR111	02	Und
GPS submétrico	Topcon	01	Und
Radios comunicadores	Wouxun KG-959	04	Und
Cámara fotográfica 13 Mp	Samsung	01	Und
Flexómetro metálico de 5m	Stanley	01	Und
Wincha de lona de 100m		01	Und
Herramientas manuales (badilejo, pala, pico)		01	Glb

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.1.2.2 Recursos utilizados en gabinete para el método tradicional.

Posterior a la toma de datos en campo se ha requerido 02 ordenadores dotados de software como Autocad Civil 3d y hojas de cálculo para realizar el procesamiento de la información. Los insumos para los trabajos realizados en gabinete se visualizan en la *Tabla 6*.

Tabla 6:

Cuadro de materiales y útiles de escritorio

DESCRIPCIÓN	MARCA	CANTIDAD	UND
Computadora portátil	Lenovo Legion / Lenovo Flex 5	02	Und
Impresora tamaño A-4	Epson L3150 / Epson L575	01	Und
Diversos útiles de escritorio		01	Glb

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

En el procedimiento de obtención de datos de la presente investigación se ha tratado, primeramente, la obtención de superficies topográficas tanto por el método de fotogrametría con drone como por el método tradicional con estación total, a partir de ello se obtuvo perfiles longitudinales del alineamiento proyectado en cada una de las superficies topográficas descritas anteriormente. Luego se generó la superficie de la vía proyectada en función a los parámetros del diseño geométrico, posteriormente se procedió a determinar los volúmenes de movimiento de tierras a través del método de diferencia de superficies aplicando fotogrametría con drone y el método de prisma de carretera basado en el método tradicional con estación total.

3.2.1 Área de influencia

El desarrollo de la investigación se aplicó en el mejoramiento de la carretera PU-1118 con la categoría de camino vecinal que une la Comunidad Mi Perú y el Centro Poblado de Salcedo, es decir, conecta la vía Puno - Moquegua (Emp. PE 36B) y la Av. industrial del Centro Poblado de Salcedo que a su vez conecta con la vía Puno – Desaguadero (Emp. PE 3S), cuya ubicación política del proyecto se muestra en Tabla 7 donde sus coordenadas del punto de inicio se describen en la Tabla 8 y las coordenadas

del punto final del tramo en estudio se detalla en la Tabla 9, y para tener un mejor enfoque del tramo en estudio se presenta una ilustración gráfica en la *Figura 8*.

3.2.1.1 Ubicación política

Tabla 7:

Ubicación política

Descripción	Denominación
País	Perú
Región	Puno
Provincia	Puno
Distrito	Puno
Lugar	Comunidad Mi Perú - C.P. Salcedo

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.1.2 Ubicación geográfica

Tabla 8:

Ubicación geográfica de inicio de carretera (PI-0)

Descripción	Denominación
Coordenada Norte	8242731.523
Coordenada Este	391382.051
Altura promedio	4015.219

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 9:

Ubicación geográfica de fin de carretera (PI-F)

Descripción	Denominación
Coordenada Norte	8243538.321
Coordenada Este	392615.098
Altura promedio	3847.042

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 8:

Área de influencia



Nota. En la figura se muestra la ubicación del Punto de Inicio en la comunidad Mi Perú y el Punto Final en el Centro Poblado de Salcedo. Adaptado de Google Earth, 2021

3.2.2 Generación de superficie topográfica por fotogrametría con dron

Previo al cálculo de volumen de movimiento de tierras, fue necesario obtener una superficie topográfica aplicando fotogrametría con dron a través de una secuencia de trabajo en campo, post proceso fotogramétrico y producción de superficie topográfica, esto se detalla a continuación.

3.2.2.1 Trabajos de campo.

El desarrollo de las actividades u operaciones de levantamiento topográfico en campo, a través de fotogrametría con dron, se dividen en tres fases de trabajo, que son las siguientes:



3.2.2.1.1 Reconocimiento de campo.

Iniciar el trabajo de la presente investigación implica tener una idea general de las actividades a realizar de manera que permita su programación, se debe realizar la inspección en campo para tener una idea de la localización del área de estudio y así determinar la existencia de sus accesos. Para ello, también es necesario apoyarse en el uso de herramientas como google earth, google maps, entre otros.

Visto lo anterior se determinó que existen dos accesos: desde la carretera que conecta la vía Puno – Moquegua intersección con la comunidad Mi Perú y desde el Centro Poblado de Salcedo, dicho sea de paso, la zona de estudio presenta pendientes pronunciadas haciendo que sean lugares de topografía accidentada y escarpada, esta área de influencia tiene acceso limitado de internet, entre otros detalles. Toda esa información preliminar sirvió para la toma de decisiones posteriores.

3.2.2.1.2 Establecimiento de fotocontroles.

Se ha establecido los fotocontroles en campo a través de marcas en forma de cruz con yeso, cuyas dimensiones son suficientemente visibles en las fotografías aéreas (aprox. 2.00m cada lado), tal como se observa en la *Figura 9*, estos puntos fueron lecturados con una estación total marca Leica modelo TS-06 R500 plus. Cabe precisar que, de los datos obtenidos en campo según la *Tabla 10*, muestra que los valores del Este y Norte son coordenadas topográficas dado que la longitud de la vía está inmersa en el rango de la ciencia de la topografía (menor a 5km), mientras que la cota (Z) está comprendida en el marco de las alturas existentes en campo. De esta forma se garantiza que la nube de puntos densa esté debidamente georreferenciada.

Figura 9:

Establecimiento de fotocontroles en campo.



Nota. La imagen muestra las marcas de yeso vistas desde una toma aérea.

Tabla 10:

Datos de fotocontroles

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1	391423.401	8242756.999	4014.666	FC-1
2	391452.942	8242928.614	3998.902	FC-2
3	391420.750	8242951.011	4005.313	FC-3
4	391552.489	8243173.048	3987.553	FC-4
5	391569.511	8243249.711	3989.416	FC-5
6	391603.387	8243265.556	3977.303	FC-6
7	391630.290	8243146.026	3961.425	FC-7
8	391572.111	8243145.697	3977.261	FC-8
9	391598.785	8243065.472	3964.348	FC-9
10	391614.292	8243031.481	3962.024	FC-10
11	391727.072	8243164.140	3943.421	FC-11
12	391702.390	8243193.791	3946.627	FC-12
13	391822.593	8243210.452	3930.666	FC-13



14	391865.199	8243210.008	3926.100	FC-14
15	392031.006	8243251.134	3897.539	FC-15
16	392112.675	8243282.310	3883.631	FC-16
17	392183.823	8243344.931	3875.254	FC-17
18	392238.821	8243424.085	3875.079	FC-18
19	392368.268	8243402.308	3859.564	FC-19
20	392443.365	8243423.901	3855.048	FC-20
21	392605.155	8243543.312	3847.070	FC-21
22	391563.099	8243163.086	3984.492	BM 0+500
23	391605.373	8243150.180	3969.215	700
24	391916.609	8243211.888	3916.986	1300
25	392179.934	8243359.315	3878.716	1700
26	392373.118	8243413.007	3859.172	1920
27	392451.810	8243411.689	3853.546	2000
28	391882.569	8243176.818	3925.651	REV
29	392615.098	8243538.321	3847.027	PIF
30	391397.833	8242751.833	4015.939	PC-1
31	391852.074	8243263.150	3937.137	PC-03

Nota. Las coordenadas de los fotocontroles han sido lecturadas de forma directa con Estación Total, que al momento de generar la nube de puntos nos permite ajustar a estas coordenadas.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.2.1.3 Levantamiento fotogramétrico

En lo concerniente al levantamiento topográfico a través del método fotogrametría con drone, se tomaron en cuenta dos etapas las cuales son:

a) Plan de vuelo.

Para el plan de vuelo se ha utilizado el software Pix4D capture App que está vinculado al Ctrl+DJI App, ello asociado a un sistema operativo Android. Se han considerado varios parámetros para cada misión de manera que para cada vuelo le

corresponden distintos parámetros, en la *Tabla 11* se puede apreciar las características para la misión 02, en la *FUENTE*: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 10 se evidencia el desarrollo de dicha misión. Cabe destacar que para la presente investigación se han considerado 05 misiones de vuelo.

Tabla 11:

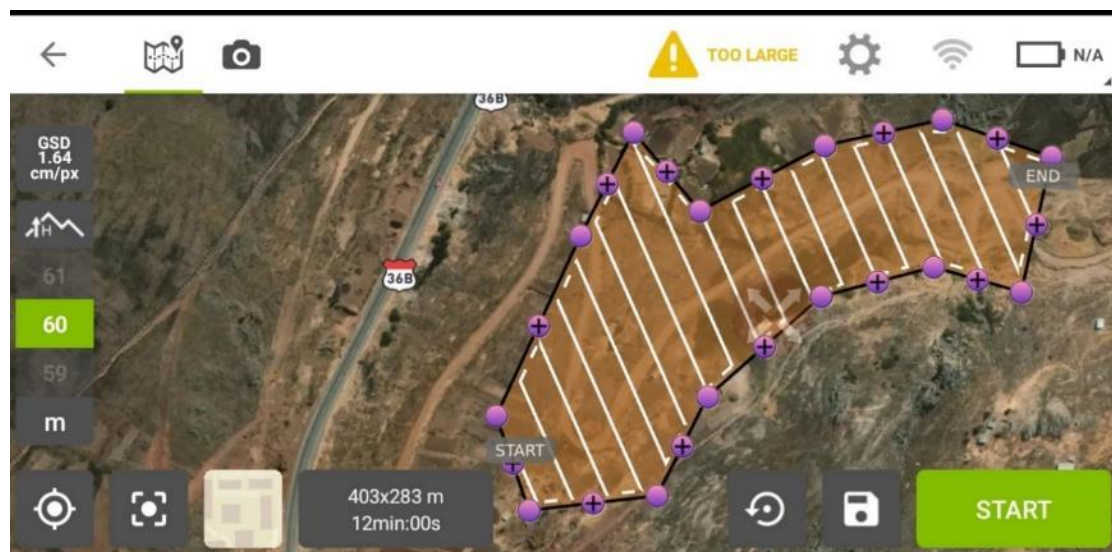
Parámetros de misión 02

DESCRIPCIÓN	PARÁMETRO
GSD	1.64 cm/px
Altura de vuelo	60.00 m
Área cubierta	403x283 m
Tiempo de vuelo	12min 00s
Traslape Longitudinal	80.00%
Traslape Transversal	80.00%
Verticalidad	90.00°

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 10:

Área de influencia de la misión 02



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

b) Vuelo fotogramétrico.

Luego de haber lecturado los BMs, fotocontroles y puntos de apoyo asociado a un correcto plan de vuelo en campo como se muestra en la

Figura 11, se procedió a realizar el vuelo fotogramétrico con la utilización del dron DJI Phantom 4 pro V2.0.

Tabla 12:

Datos generales de vuelo fotogramétrico

DESCRIPCIÓN	DATOS
Cantidad de imágenes	818
Resolución de las imágenes	5472x3648
Tiempo total de vuelo fotogramétrico	02 días
Altura promedio de vuelo	68.40 m
Superficie cubierta	0.0726 km ²
Distancia focal	8.80 mm
Pixel de la cámara (por defecto)	2.41x2.41 micras

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 11

Ejecución del vuelo fotogramétrico.



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.2.2 Post proceso fotogramétrico.

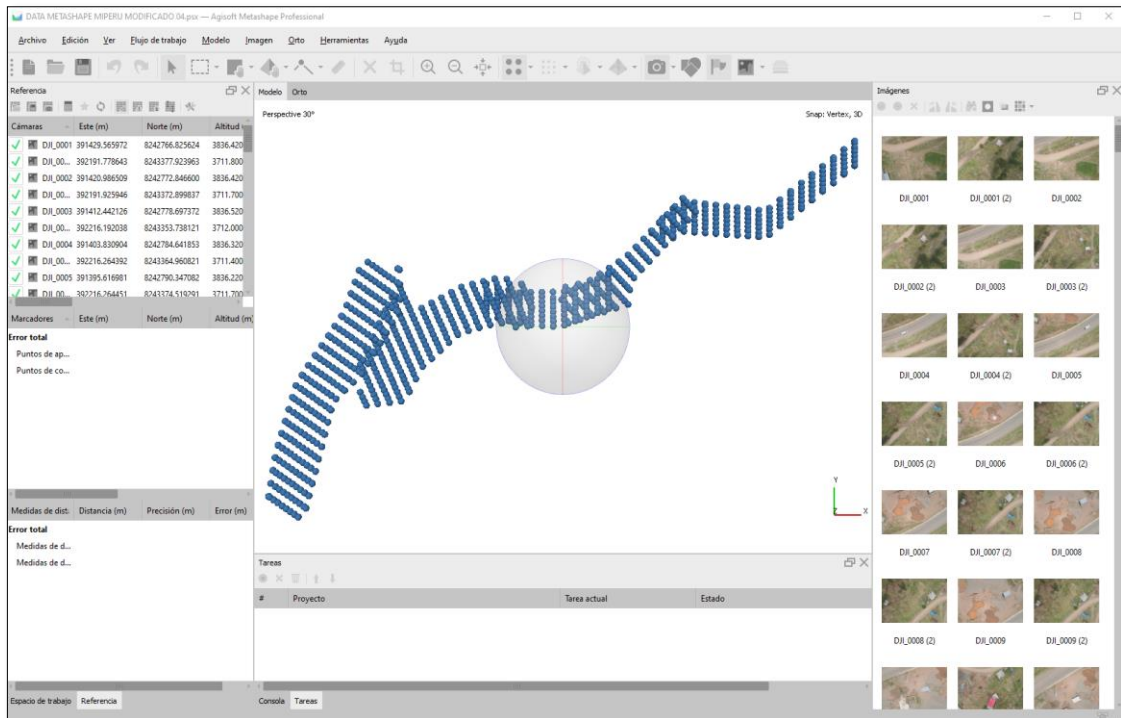
La finalidad de esta etapa de trabajo radica en la obtención de la nube de puntos densa con su respectiva clasificación o filtro de puntos que represente el terreno existente, para ello se hace uso del software Agisoft Metashape versión 1.6.5 build 11249. A continuación, se presentarán los procesos necesarios para tal fin.

3.2.2.2.1 Inserción de imágenes al Agisoft Metashape

Luego de obtener las 818 imágenes del proceso del vuelo fotogramétrico, se procede a añadir fotos al software Afisoft Metashape, tal como se evidencia en la *Figura 12*. Cabe precisar que, previamente se realiza la configuración de la zona de trabajo la cual es “WGS 84/UTM zona 19S (EPSG:32719)”

Figura 12:

Imágenes insertadas al software Agisoft Metashape.



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.2.2.2 Creación de nube de puntos dispersa-orientación de fotografías.

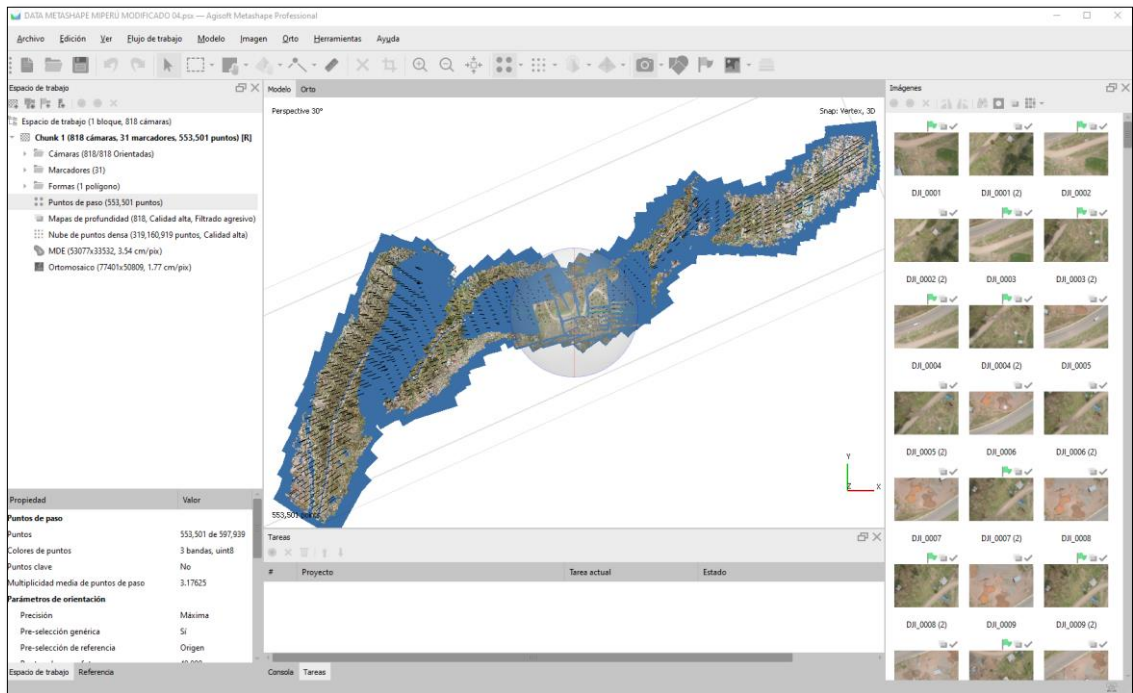
En esta etapa se procede a alinear (orientar) las fotografías teniendo en cuenta que las características generales de la precisión sean la “máxima” (proceso que es propio del software) cuyo reporte se muestra en la *Figura 14*, por consiguiente, se obtiene la nube de puntos dispersa misma que se muestra en la



Figura 13

Figura 13:

Creación de nube de puntos dispersa.

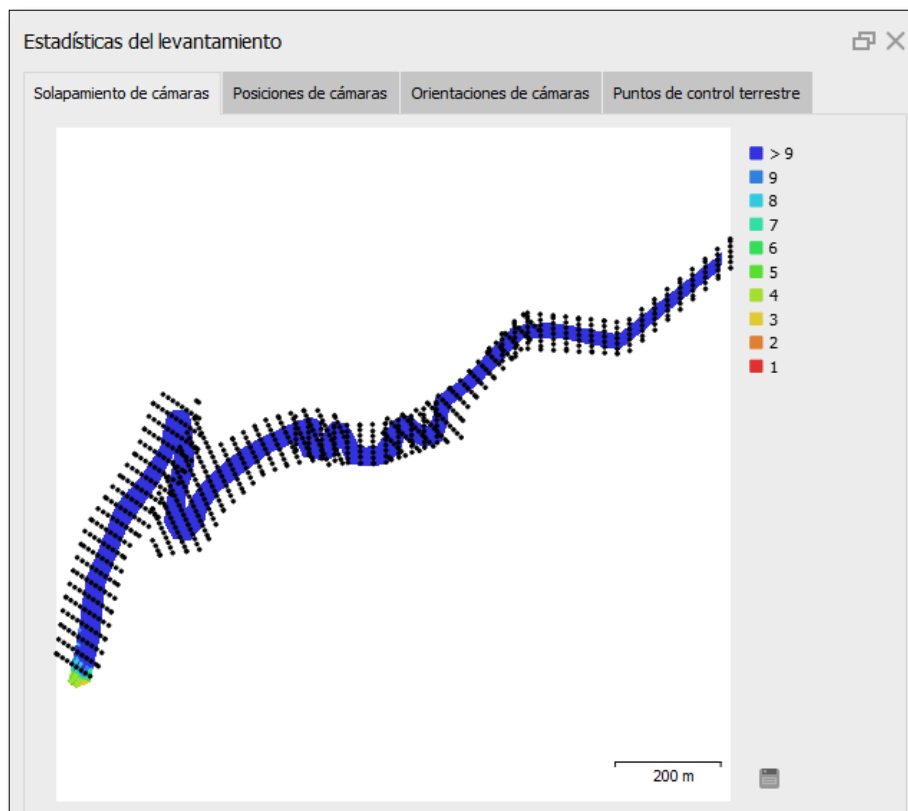


Nota. Del presente proceso se ha generado 553,501 puntos de paso.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 14:

Posiciones de cámaras y traslape de imágenes.



Nota. En la imagen se evidencia que el área de influencia de la carretera contiene suficientes imágenes traslapadas que garantizan una óptima formación de nube de puntos.

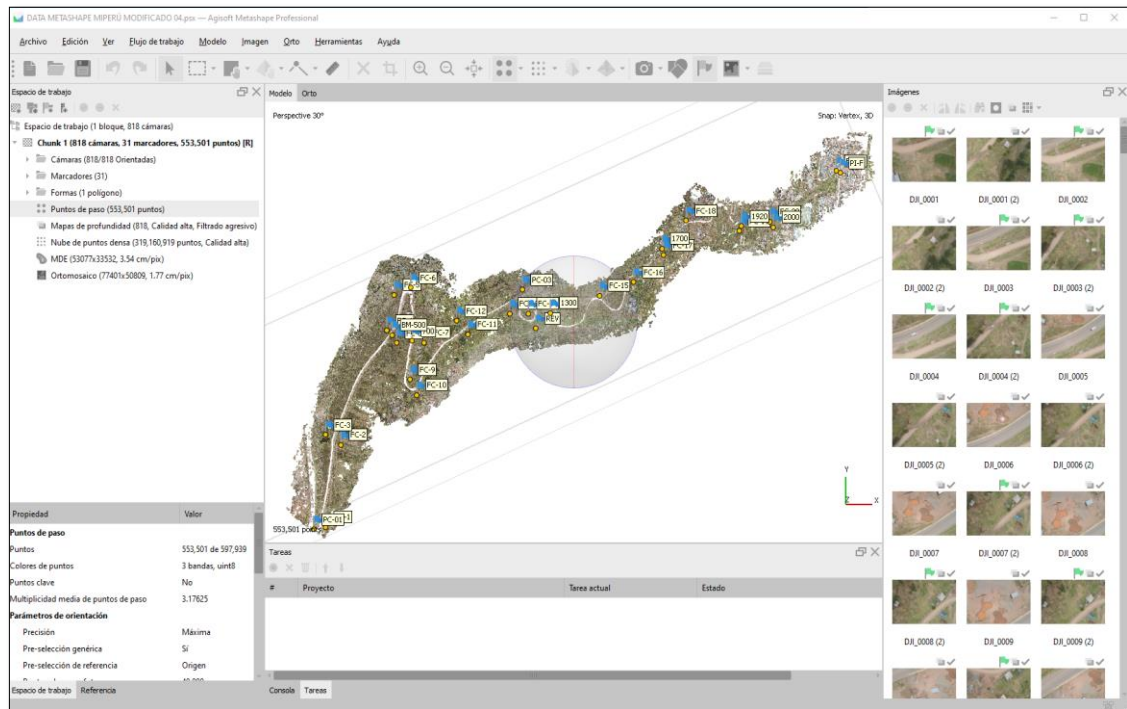
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.2.2.3 Sincronización de los fotocontroles con la nube de puntos dispersa.

Si bien el drone contiene georreferenciación propia, este que es equivalente a la de un GPS navegador, es necesario georreferenciar a través de una red de puntos de control llamados fotocontroles cuyos datos se muestran en la *Tabla 10* dado que esta información refleja la ubicación y altura real de la zona de estudio. Por tanto, en esta etapa se procederá a sincronizar (optimizar) los Fotocontroles (marcadores) con las imágenes, tal como se muestra en la *Figura 15*.

Figura 15

Vinculación de los marcadores con la nube de puntos dispersa.



Nota. Para la sincronización de los marcadores con las fotografías, previamente se han seleccionado los grupos de imágenes que contienen los fotocontroles.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Habiendo aplicado el proceso descrito anteriormente, se observa que el proyecto se ha georeferenciado exitosamente, corrigiendo en posición y altura la nube de puntos dispersa, determinándose que, el error en “X” es 4.31617cm, en “Y” es 2.88025cm, en “Z” 0.855173cm de manera que el error total es 5.25895cm, el detalle de estas correcciones se muestra en la *Tabla 13*.

Tabla 13:

Cuadro de corrección de fotocontroles.

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
FC-1	1.19053	0.166563	0.017665	1.20226	0.857 (5)
FC-2	1.75204	-2.39221	-0.388418	2.99052	0.839 (18)
FC-3	-2.3392	2.15138	0.578193	3.23027	0.890 (16)
FC-4	-1.89086	1.65463	2.05761	3.2476	0.596 (27)
FC-5	-2.62891	-0.582401	1.18804	2.94309	0.877 (28)
FC-6	-0.547341	0.501603	-0.057484	0.744642	0.499 (25)
FC-7	-0.770698	3.29536	-0.193498	3.38981	0.664 (35)
FC-8	-2.37475	1.09411	0.878444	2.75829	0.956 (42)
FC-9	-0.460209	2.28386	-0.347798	2.35558	0.952 (29)
FC-10	0.988946	-0.326656	-0.520883	1.16449	0.999 (22)
FC-11	16.0345	-4.50336	-0.085795	16.6551	1.312 (34)
FC-12	-12.4079	-6.51306	-0.341434	14.0176	1.290 (27)
FC-13	-3.17355	-1.61448	-0.061078	3.56114	1.392 (9)
FC-14	-0.335254	0.645218	0.192223	0.752098	0.774 (17)
FC-15	0.864124	-0.139159	-0.325002	0.933649	0.565 (44)
FC-16	-0.525772	-0.519163	0.459274	0.869999	0.670 (39)
FC-17	-0.719208	-1.00981	0.431388	1.31266	0.712 (31)
FC-18	0.177781	1.59866	-0.1261	1.61345	0.775 (36)
FC-19	-0.561532	-1.7857	-0.406699	1.91558	0.761 (25)
FC-20	6.52215	-6.84399	-0.09736	9.45453	1.053 (25)
FC-21	0.434627	-3.86968	-0.114728	3.8957	0.658 (22)
700	6.81578	3.26828	0.77618	7.59862	0.773 (43)
1700	1.10476	-0.229167	-0.600297	1.27803	1.611 (21)
2000	-5.02481	6.43926	-0.131667	8.16885	1.053 (30)
REV	-0.75525	-1.49133	-0.789572	1.84875	0.810 (33)
PC-01	-0.794885	0.381391	-0.087179	0.885947	0.435 (4)
PC-03	1.9476	3.3907	0.236142	3.91736	0.874 (23)
1300	-1.31245	1.3629	0.358677	1.92579	0.895 (25)
1920	-1.79072	1.66492	0.855455	2.59045	0.883 (24)
PI-F	-0.191139	4.03918	0.0992659	4.04491	0.803 (20)
BM-500	0.77162	-2.11787	-3.45357	4.12406	0.932 (34)

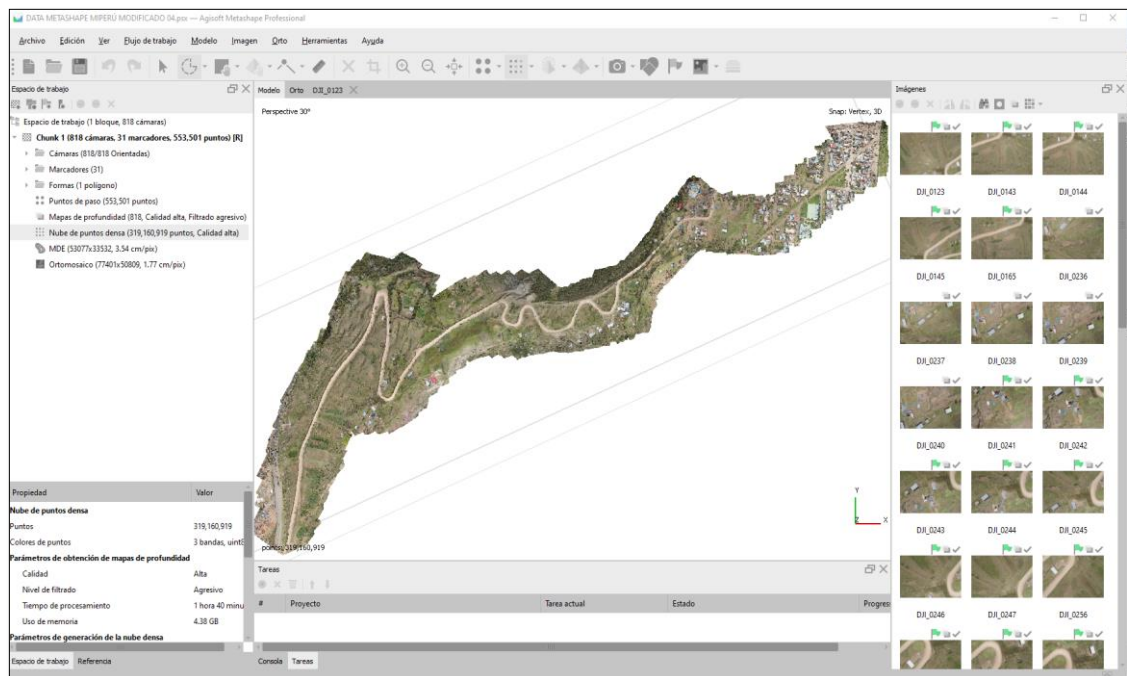
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.2.2.4 Creación de nube de puntos densa.

En esta etapa de post-proceso fotogramétrico, con base en las posiciones estimadas de la cámara, el programa calcula la información de profundidad para cada cámara que se combinan en un solo punto de enturbiamiento denso, por tanto, el Agisoft Metashape genera y permite visualizar un modelo de nube de puntos densa. Lo descrito se evidencia en la *Figura 16*.

Figura 16:

Nube de puntos densa.



Nota. El presente proceso se ha generado con calidad Alta y un filtrado de profundidad Agresivo, con estas características se ha generado 319,160,919 puntos.

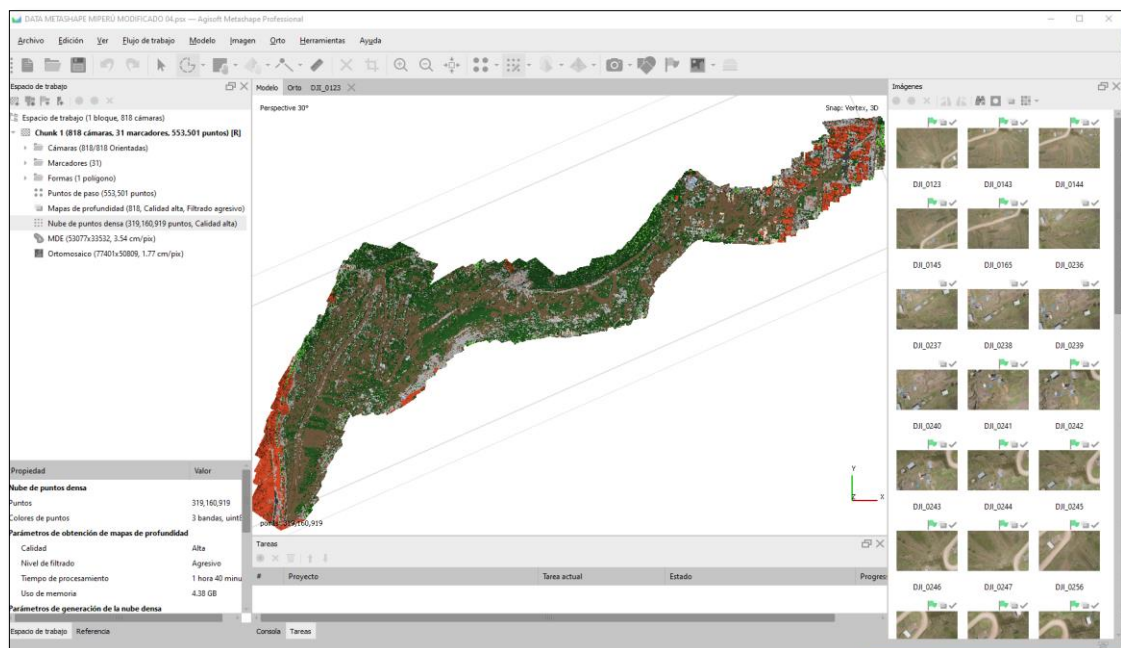
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.2.2.5 Clasificación de nube de puntos densa.

Un pre-requisito para la generación de superficie topográfica es tener en cuenta los puntos del terreno, es decir, es necesario clasificar la nube densa de puntos de manera tal que la resultante sea exclusivamente el modelo digital del terreno (MDT) o en su defecto obtener puntos exclusivamente del terreno natural como se observa en la *Figura 17*.

Figura 17:

Visualización de puntos del terreno natural.



Nota. De la imagen se desprende que los puntos coloreados de color marrón o café evidencian el terreno natural de la carretera.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.2.3 Producción de superficie topográfica en el AutoCAD Civil 3D.

La actividad de crear superficie topográfica en el AutoCAD Civil 3d a partir de la nube de puntos del terreno natural es un proceso determinante para el diseño geométrico de carreteras, esto debido a que la plataforma de trabajo generadora de movimiento de tierras es justamente el AutoCAD Civil 3d y no el Agisoft Metashape, sin embargo, ambos programas son dependientes entre sí y su nexa es el software QTM.

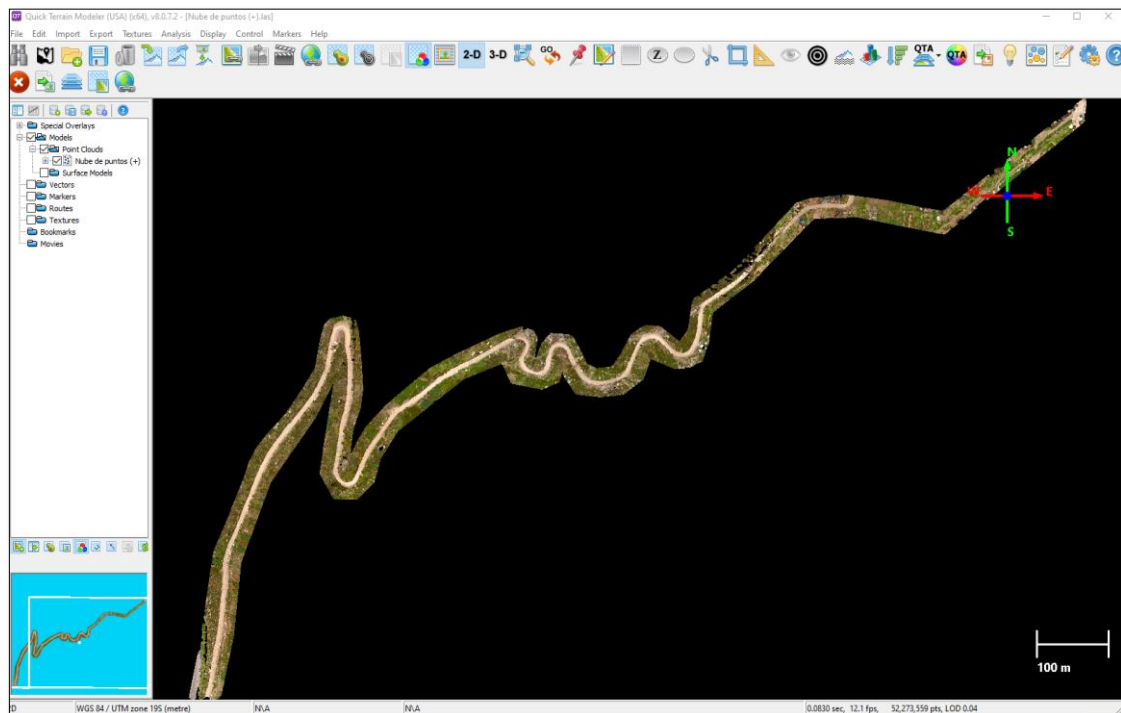
Cabe destacar que, al margen de la generación de curvas de nivel por defecto en el mismo software Agisoft Metashape, existen varias metodologías procedimentales para la obtención de superficie topográfica que dependen del post-proceso fotogramétrico, todos estos métodos exigen el uso de por lo menos un software complementario, tales como el Recap, Global Mapper, TerraSolid, TerraScan, u otros. Para el presente caso se hará uso del software Quick Terrain Modeler v8.0.7.2 dado que este método es el más efectivo, esto se demostrará en los procesos que se mostrarán a continuación:

3.2.2.3.1 Inserción de nube de puntos densa al software QTM.

Habiendo obtenido la nube de puntos densa del terreno natural se procedió a exportar, del Agisoft Metashape, un archivo cuyo formato está en “. las”, este archivo se inserta al software Quick Terrain Modeler tal como se muestra en la *Figura 18*.

Figura 18:

Nube de puntos insertada al software Quick Terrain Modeler.



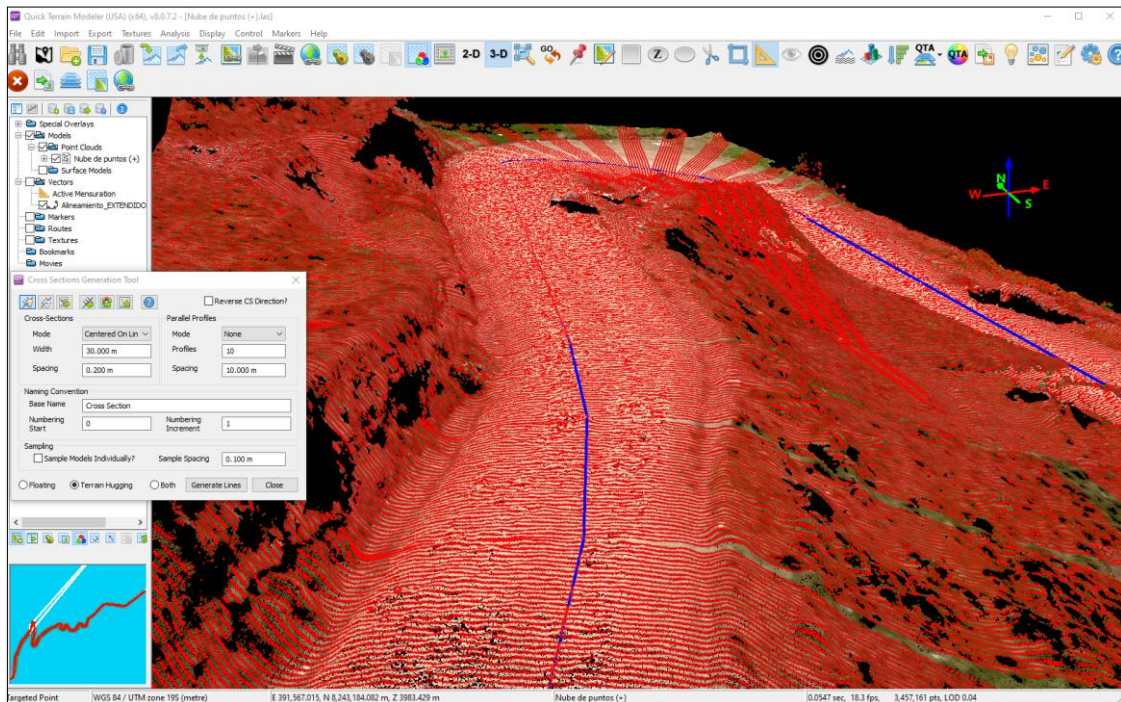
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.2.3.2 Creación de secciones transversales en el software QTM.

Una vez inmersos en el software QTM, se procedió a insertar el alineamiento de la vía proyectada para luego generar secciones transversales o llamado también “líneas de rotura” a partir de la nube de puntos densa. En este proceso se puede filtrar la cantidad de puntos representativos y necesarios de la nube de puntos en función a las secciones transversales deseadas, esto se muestra en la *Figura 19*, es decir, que se han generado puntos en las secciones transversales a cada 0.20m respecto del eje longitudinal y puntos a cada 0.10m a lo largo de la línea transversal Cabe mencionar que el uso de este software radica principalmente en este proceso. Luego se procede a exportar estas líneas de rotura en archivos de formato .dxf para luego convertirlo al formato .dwg. de manera tal que, manteniendo sus características de polilíneas en 3D, puedan ser compatibles con el software autocad civil 3d. Esto se puede evidenciar en la *Figura 20*

Figura 19:

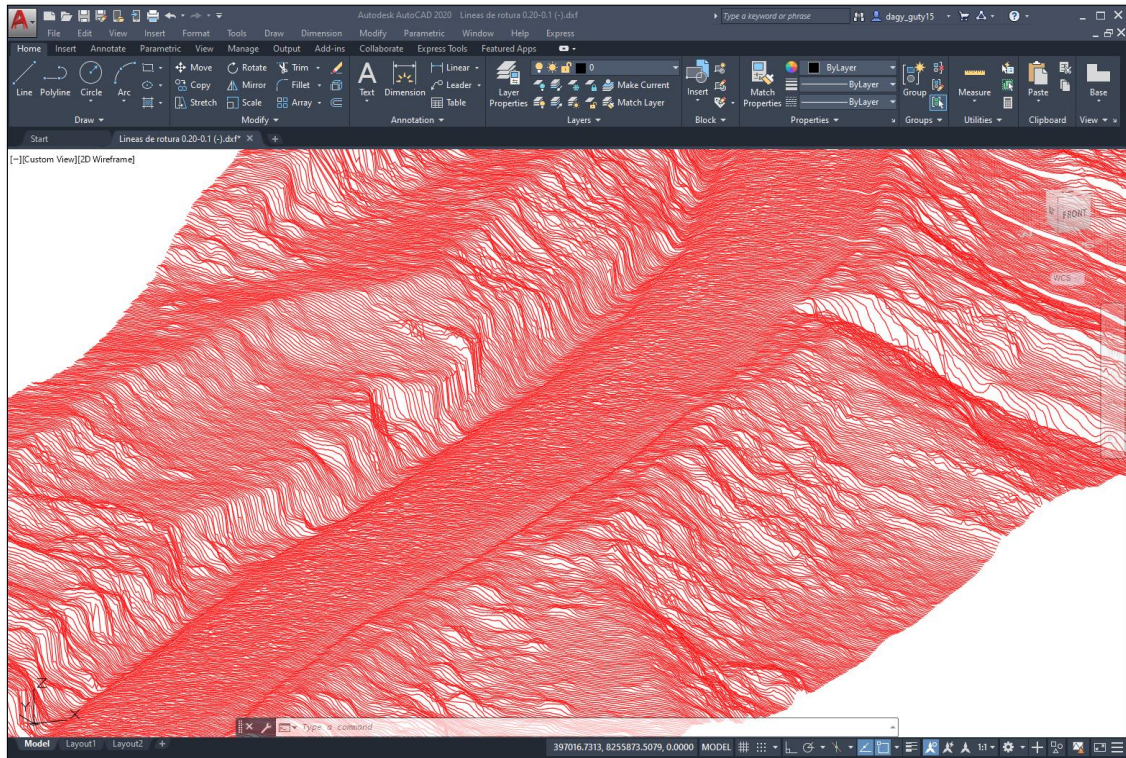
Producción de líneas de rotura (secciones transversales).



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 20:

Visualización isométrica de las líneas de rotura



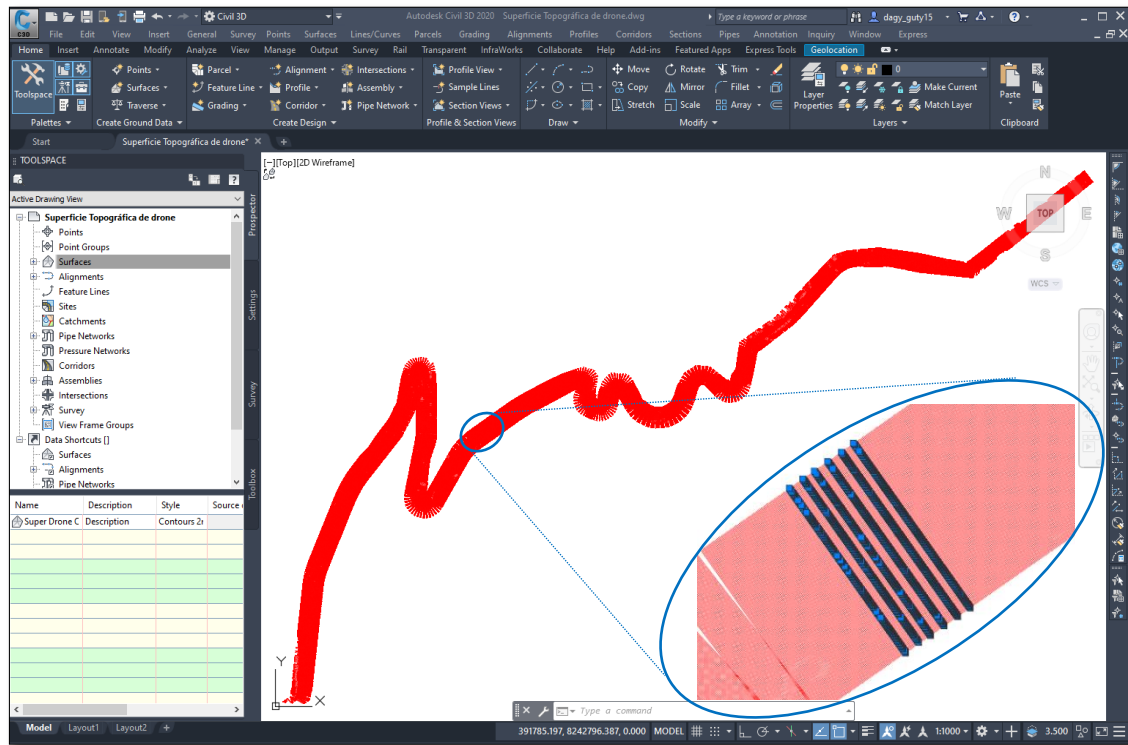
Nota. Líneas de rotura (secciones transversales) vistas en 3D en el software AutoCAD, lo que demuestra que está en formato .dwg.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.2.3.3 Importación de líneas de rotura al AutoCAD Civil 3D

En esta etapa se procede a insertar las líneas de rotura a la interfaz del AutoCAD Civil 3D obteniéndose así polilíneas 3D transversales al eje de la vía proyectada como se observa en la Figura 21.

Figura 21:
Inserción de líneas de rotura (Breaklines)



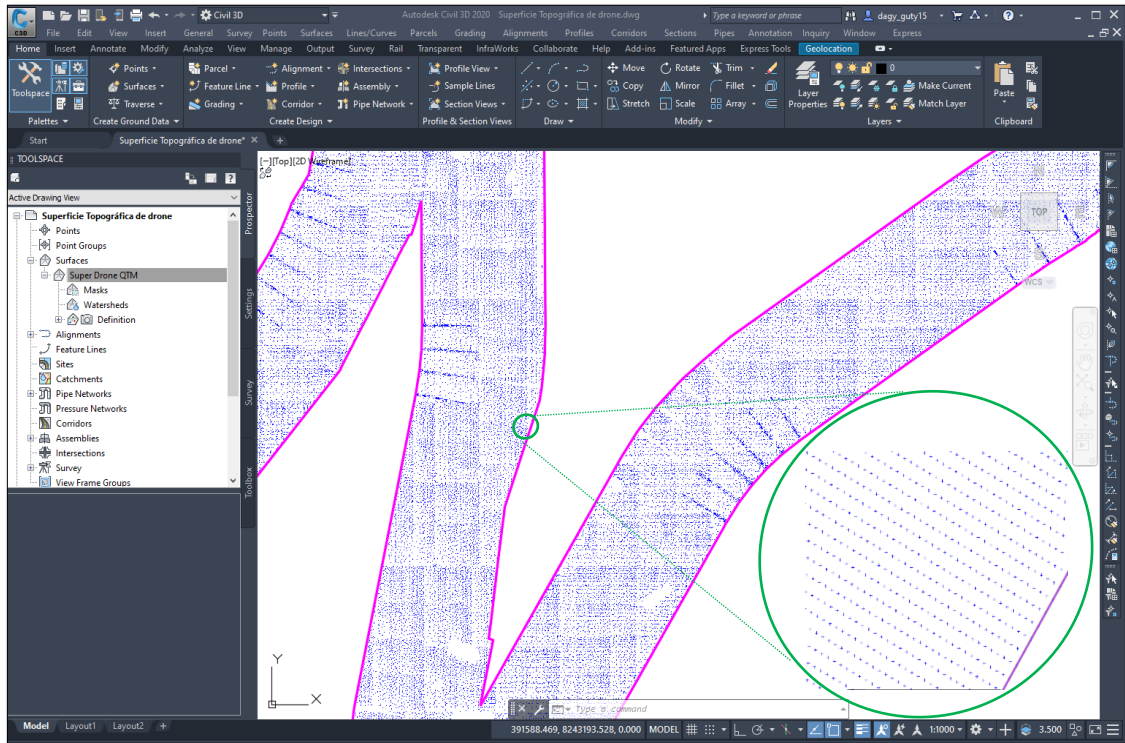
Nota. La imagen muestra una vista en planta de las mismas líneas de rotura (polilíneas 3D) mostradas en la Figura 20.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.2.3.4 Densificación de puntos para la superficie topográfica (drone)

La creación de la superficie topográfica en el AutoCAD Civil 3D, se realiza a partir de Breaklines, dado que las características que presentan los datos preliminares (líneas de rotura) se acomodan a este procedimiento. En la *Figura 22* se puede evidenciar la densificación de puntos de la superficie topográfica proveniente de la nube de puntos del terreno. Se procede de la forma descrita anteriormente debido a que la cantidad de puntos total es de 300 millones de puntos, sin embargo, el software AutoCAD Civil 3D tiene un límite de procesamiento de hasta 25 millones de puntos, según (Autodesk support, 2019), por lo que es imposible que este programa produzca superficie topográfica con la totalidad de puntos.

Figura 22:
Densificación de puntos del terreno



Nota. La superficie topográfica se ha creado con aproximadamente 4 millones de puntos, siendo estos, debidamente representativos de la nube de puntos del terreno.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.2.3.5 Representación de superficie topográfica-curvas de nivel.

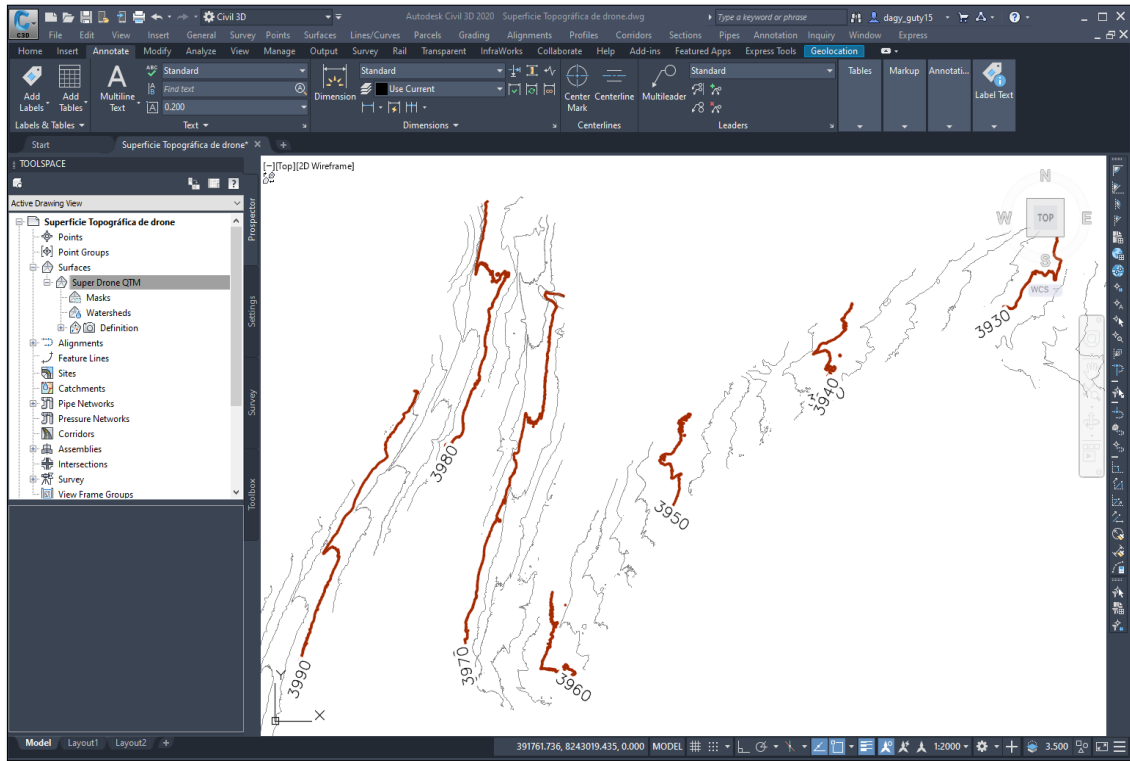
Del procesamiento de datos para la obtención de la superficie topográfica con fotogrametría, se tiene la representación a través de las curvas de nivel de las cuales, las curvas menores están a 1.00m y las curvas mayores a 5.00m. ver *Figura 23*.

3.2.2.4 Modelamiento de la superficie topográfica

Si bien las curvas de nivel son la representación de la superficie topográfica, es necesario tener en cuenta la formación de dicha superficie, para ello es necesario obtener una visualización más sensible para su interpretación, por tanto, es preciso modelar la vista isométrica la presente superficie topográfica como se observa en la *Figura 24*.

Figura 23:

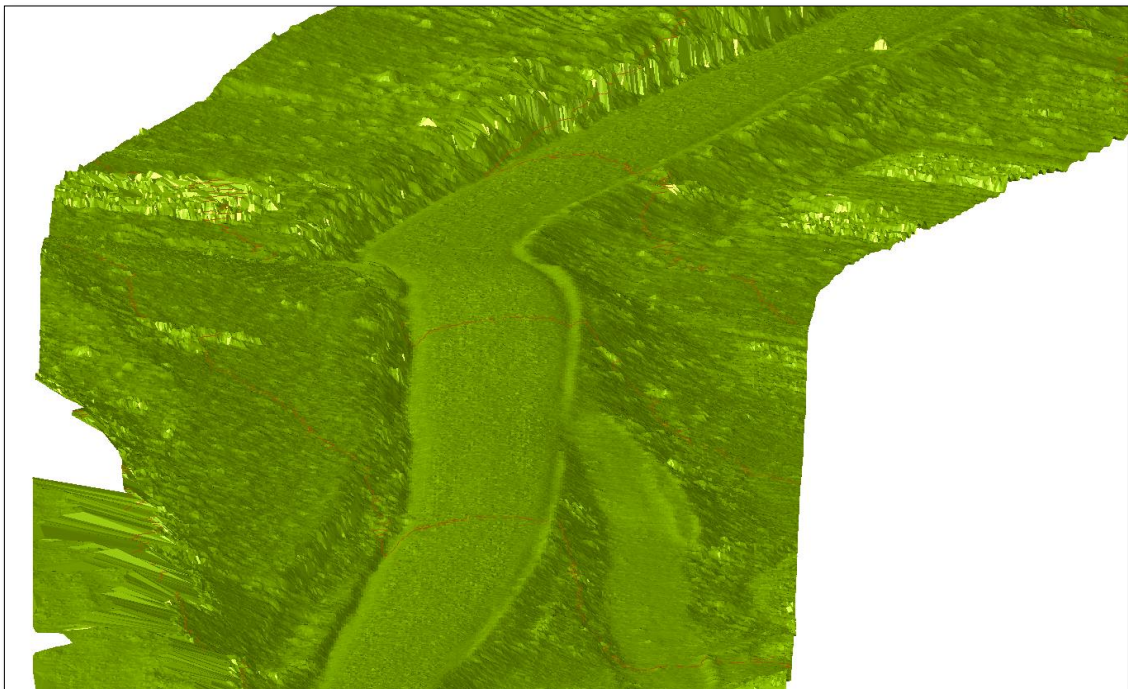
Curvas de nivel a partir de datos fotogramétricos.



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 24:

Modelamiento de la superficie topográfica por fotogrametría.





Nota. La superficie topográfica obtenida con datos de fotogrametría vista en 3D muestra la real similitud con el terreno in situ. Inicia en la progresiva 0+180 hasta 0+280 (Aproximadamente)

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.3 Generación de superficie por el método tradicional con estación total

Previo al cálculo de volumen de movimiento de tierras, fue necesario obtener una superficie topográfica aplicando el método tradicional con estación total a través de una secuencia basada, primeramente, en el establecimiento de una red de control terrestre, trabajos en campo, en gabinete y la obtención de la superficie topográfica en sí, esto se detalla a continuación.

3.2.3.1 Red de control terrestre

Para la obtención de la red de control, se ha considerado 5 puntos de control de acuerdo al criterio de visibilidad para el levantamiento topográfico por el método tradicional, para lo cual se ha iniciado con la conformación de una línea base conformado por los puntos PC-01 y PC-02 debidamente monumentados como se muestra en la *Figura 25* cuyas coordenadas UTM se han tomado con un equipo GPS sub métrico fue realizado en coordenadas UTM, tomando un punto de estación (PC – 02) y punto de vista atrás al punto (PC-01), posteriormente se ha lecturado y monumentado PC-03, PC-04 y PC-05 formado una red de 5 puntos de control como se muestra en la *Figura 26* cuyas coordenadas se detallan en la *Tabla 14*.

Figura 25:

Vista del punto de control PC-01 y lectura GPS submétrico



Nota. Los puntos de control fueron monumentados con una varilla de acero de 40cm anclado al terreno con concreto además se ha pintado para su identificación.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 14:

Red de control planimétrico

PUNTO	ESTE	NORTE	ELEVACION	DESCRIPCION
1	391,570.970	8,242,866.510	4,021.580	PC-2
2	391,397.833	8,242,751.833	4,015.939	PC-1
3	391,852.074	8,243,263.150	3,937.137	PC-3
4	391,955.698	8,243,141.765	3,924.400	PC-4
5	392,227.116	8,243,234.348	3,889.015	PC-5

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 26:

Red de control planimétrico para el método tradicional



Nota. Se muestra la ubicación y distribución de la red de puntos de control.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.3.2 Trabajos realizados en campo

Las actividades y operaciones necesarias para llevar a cabo el levantamiento topográfico en campo se detallan en dos procesos de trabajo:

a) Reconocimiento de campo

Previo a los trabajos de campo se realiza la vista previa y panorámica de la zona de estudio, posterior a ello se planifica todo lo relacionado al método de trabajo a realizar, la cantidad de personal necesario, los instrumentos topográficos requeridos entre otros, luego de ello se prevé la fecha de inicio de las actividades.

b) Procedimiento de obtención de datos de campo

- ✓ Se moviliza y prepara los equipos seleccionados previamente al igual que el personal que participara en las actividades de trabajo y toda la logística necesaria.

- ✓ En el área de estudio se distribuye al personal, se ubican los equipos topográficos asimismo los puntos de control previamente generados siguiendo el proceso mostrado en el párrafo descriptivo para la obtención de la red de control terrestre.
- ✓ Luego de estacionado y referenciado en el terreno, se procede a realizar el levantamiento topográfico en sí ello a través del método de radiación de manera que se puedan detallar las características del terreno en estudio, de ahí se tiene que cada punto tiene si descripción, esto se representa como puntos de control (PC), estructuras existentes (E), relleno (R), etc.

Del procedimiento de trabajos en campo se obtuvieron un conjunto de puntos que asciende a la cantidad de 1100 cuya leyenda de códigos de la descripción se muestra en la *Tabla 15*.

Tabla 15:

Leyenda de códigos del levantamiento topográfico

CODIGO	DESCRIPCIÓN
PC	Punto de Control
R	Relleno
EJE	Eje del alineamiento
PI	Punto de intersección
PIF	Punto final
C	Canal de tierra
BM	Bench marck

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.3.3 Trabajos realizados en gabinete

Concluidas las operaciones en campo se realiza el procesamiento de datos en gabinete a través de la utilización de los distintos paquetes de software para obtener la superficie topográfica obtenida con datos de estación total y representada en curvas de

nivel a cada 5.00m las curvas mayores y 1.00m las curvas menores, ello se muestra en los planos de planta y perfil.

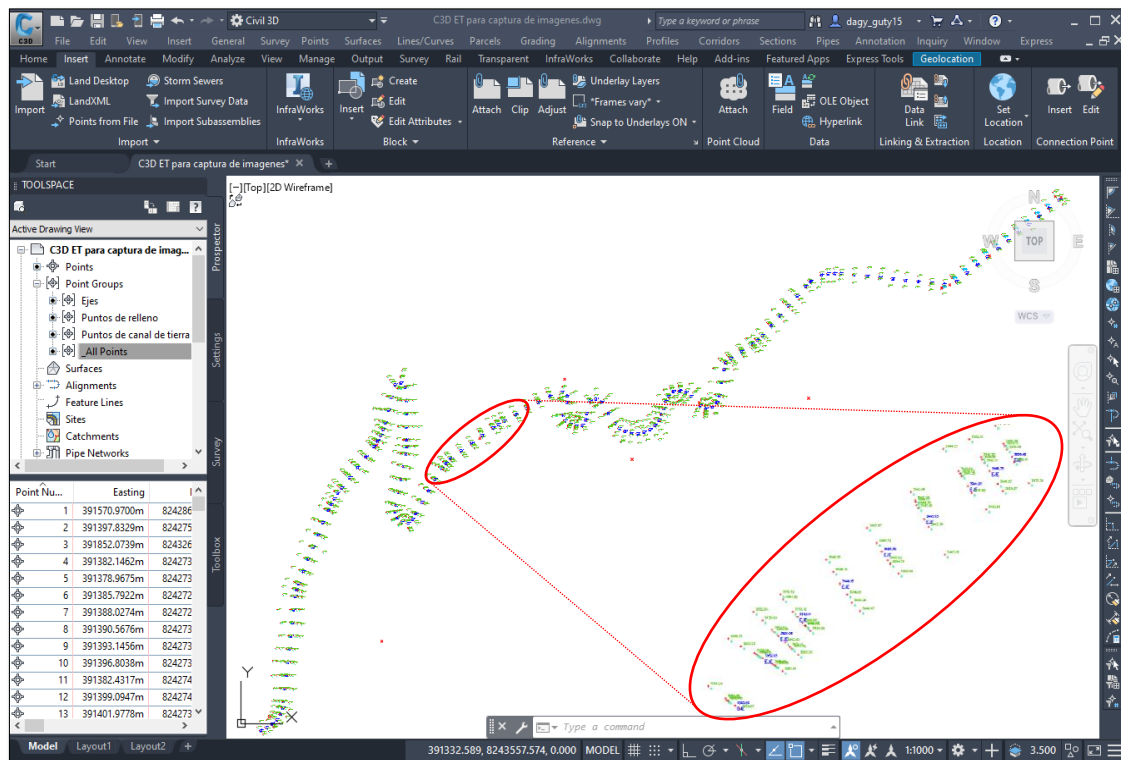
3.2.3.3.1 Procesamiento de datos.

A continuación, se describirá el procedimiento aplicado para la obtención de la superficie topográfica a partir de datos de estación total o método tradicional

Primero. Se ordena, en una hoja excel, los puntos o data obtenida de campo con extensión .csv para luego importar desde el software AutoCAD Civil 3D, acto seguido se clasifican los puntos según su descripción para mejor trabajabilidad de manera que se obtiene los puntos vistos en la *Figura 27*

Figura 27:

Importación de puntos de estación total



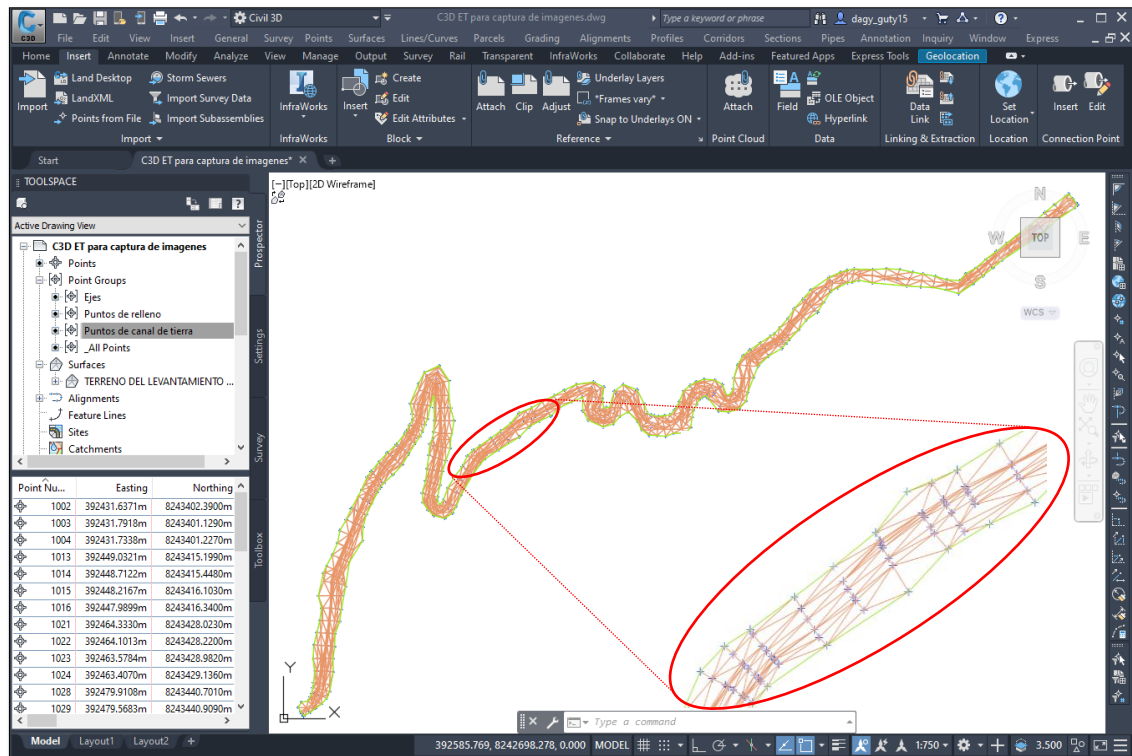
Nota. En la figura se muestra la interfaz del software AutoCAD Civil 3D 2020.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Segundo. Se procede a crear la superficie topográfica a partir de grupo de puntos (previamente creados), muestra de ello es que se crea la red de triangulación de la superficie topográfica misma que se muestra en la *Figura 28*.

Figura 28:

Configuración de la triangulación de la superficie topográfica



Nota. La creación de la triangulación inicialmente se produce por defecto, es decir, que para obtener lo mostrado en la figura, se realiza todo un proceso de edición de la superficie topográfica a fin de representar la superficie más aproximada del terreno.

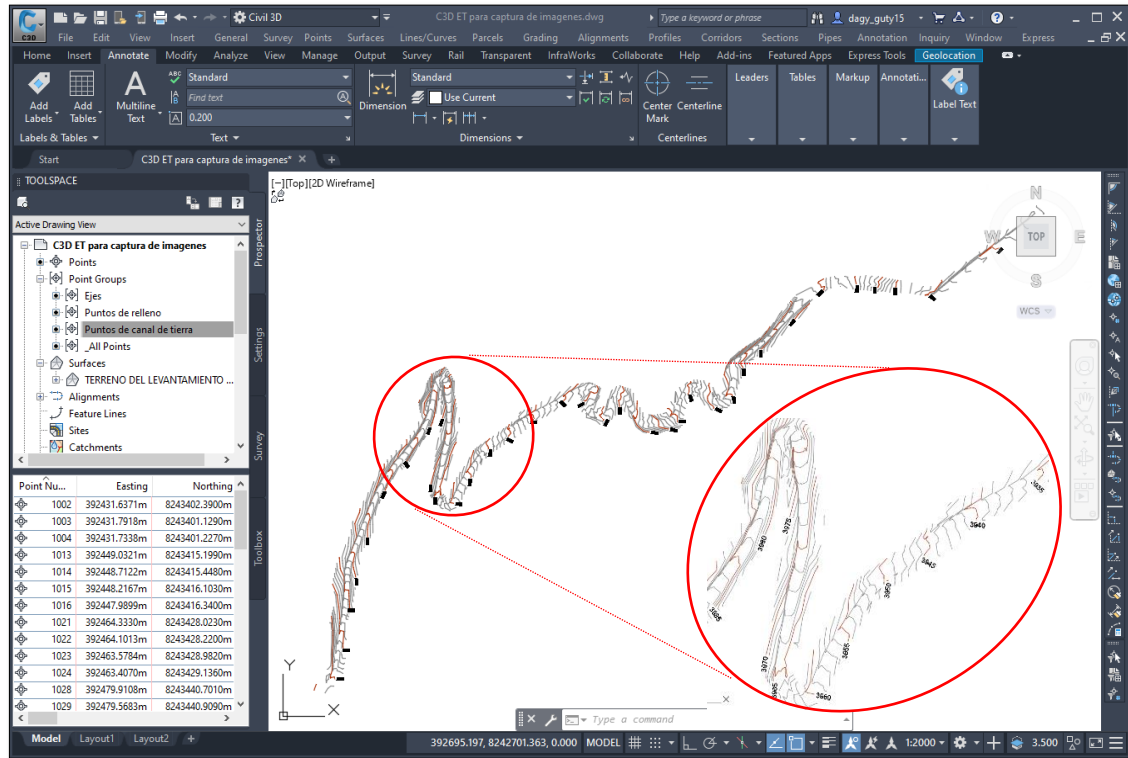
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tercero. Del procesamiento de datos para la obtención de la superficie topográfica por el método tradicional, se tiene la representación de este a través de las curvas de nivel de las cuales, las curvas menores están a 1.00m y las curvas mayores a 5.00m. Esto se evidencia en la

Figura 29.

Figura 29:

Superficie topográfica representado por curvas de nivel



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.3.4 Modelamiento de la superficie topográfica

Si bien las curvas de nivel son la representación de la superficie topográfica, es necesario tener en cuenta la formación de dicha superficie, para ello es necesario obtener una visualización más sensible para su interpretación, por tanto, es preciso modelar en una vista isométrica la presente superficie topográfica. Esto se evidencia en la *Figura 30*.

Figura 30:

Modelamiento de la superficie topográfica.



Nota. La presente figura muestra un tramo de la carretera entre la progresiva 0+000-0+800 aproximadamente.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.4 Determinación de cotas en las progresivas del perfil longitudinal.

La obtención del perfil longitudinal de la vía se ha logrado a través del correcto establecimiento de un alineamiento de la carretera, aspecto que es resultante del diseño geométrico horizontal, no obstante, se han determinado perfiles longitudinales de ambas formas de generación de superficie topográfica con la finalidad de comparar y emitir resultados estadísticos.

3.2.4.1 Perfil longitudinal de superficie obtenida con el método tradicional.

Una vez replanteado el alineamiento previamente diseñado se procedió a la obtención de cotas del perfil longitudinal donde se ha recurrido a la toma de datos de



campo en cada progresiva con estación total desarrollando una nivelación trigonométrica cuyos resultados de dicha nivelación se muestra en la *Tabla 16*.

Tabla 16:

Datos de perfil longitudinal tomado con estación total.

PROGRESIVA	ESTE	NORTE	COTA E.T.
0+000.00	391382.051	8242731.523	4015.219
0+020.00	391399.063	8242742.039	4015.948
0+030.00	391406.868	8242748.240	4015.695
0+040.00	391412.617	8242756.380	4015.091
0+050.00	391415.839	8242765.811	4014.457
0+060.00	391417.038	8242775.736	4013.726
0+080.00	391419.234	8242795.615	4012.412
0+100.00	391421.430	8242815.495	4011.198
0+120.00	391423.626	8242835.374	4010.009
0+140.00	391425.821	8242855.253	4008.428
0+160.00	391428.017	8242875.132	4007.049
0+180.00	391430.213	8242895.011	4005.676
0+200.00	391432.409	8242914.890	4004.254
0+220.00	391434.812	8242934.742	4002.618
0+230.00	391436.904	8242944.518	4001.671
0+240.00	391439.803	8242954.086	4000.875
0+260.00	391447.236	8242972.650	3999.636
0+280.00	391454.830	8242991.153	3998.310
0+300.00	391462.424	8243009.655	3996.641
0+320.00	391470.018	8243028.157	3995.241
0+340.00	391477.612	8243046.659	3994.191
0+360.00	391485.453	8243065.055	3993.158
0+370.00	391489.997	8243073.961	3992.623
0+380.00	391495.030	8243082.601	3992.023
0+390.00	391500.534	8243090.948	3991.374
0+400.00	391506.493	8243098.977	3990.658



0+420.00	391518.940	8243114.632	3988.969
0+440.00	391531.389	8243130.285	3987.400
0+460.00	391543.838	8243145.938	3985.843
0+480.00	391556.284	8243161.594	3984.850
0+490.00	391562.031	8243169.772	3984.316
0+500.00	391566.933	8243178.484	3983.721
0+510.00	391570.941	8243187.641	3983.152
0+520.00	391574.014	8243197.153	3982.570
0+540.00	391578.426	8243216.659	3981.493
0+560.00	391582.739	8243236.188	3980.183
0+580.00	391588.641	8243255.018	3978.485
0+590.00	391597.905	8243257.493	3977.085
0+600.00	391604.993	8243251.035	3975.712
0+620.00	391605.656	8243231.096	3974.003
0+640.00	391605.797	8243211.096	3972.572
0+660.00	391605.937	8243191.097	3971.341
0+680.00	391606.078	8243171.097	3970.306
0+690.00	391606.127	8243161.098	3969.775
0+700.00	391605.494	8243151.122	3969.263
0+720.00	391601.928	8243131.449	3967.992
0+740.00	391598.021	8243111.834	3966.980
0+760.00	391594.114	8243092.220	3966.105
0+780.00	391590.207	8243072.605	3965.329
0+790.00	391588.258	8243062.797	3964.709
0+800.00	391589.834	8243053.108	3963.811
0+810.00	391597.064	8243046.469	3962.525
0+820.00	391606.851	8243045.721	3961.007
0+830.00	391615.005	8243051.186	3959.775
0+840.00	391620.088	8243059.793	3958.915
0+860.00	391630.054	8243077.133	3957.298
0+880.00	391640.020	8243094.473	3955.469
0+900.00	391649.986	8243111.813	3953.808
0+920.00	391660.376	8243128.889	3952.000



0+930.00	391666.782	8243136.558	3951.026
0+940.00	391674.095	8243143.369	3950.069
0+960.00	391690.325	8243155.049	3948.123
0+980.00	391706.688	8243166.550	3945.716
1+000.00	391723.051	8243178.050	3943.447
1+020.00	391739.440	8243189.512	3941.247
1+030.00	391747.841	8243194.935	3940.324
1+040.00	391756.453	8243200.018	3939.421
1+060.00	391774.077	8243209.471	3937.638
1+080.00	391791.737	8243218.858	3936.057
1+100.00	391809.398	8243228.244	3934.778
1+120.00	391827.058	8243237.631	3933.258
1+140.00	391845.520	8243243.656	3931.510
1+150.00	391852.991	8243237.448	3930.242
1+160.00	391853.419	8243227.745	3929.344
1+180.00	391845.456	8243209.555	3927.723
1+190.00	391848.773	8243200.380	3926.666
1+200.00	391857.337	8243195.425	3925.851
1+210.00	391866.621	8243191.736	3925.164
1+220.00	391876.193	8243193.509	3924.370
1+230.00	391881.591	8243201.612	3923.397
1+240.00	391883.093	8243211.498	3922.866
1+260.00	391888.841	8243230.168	3921.642
1+270.00	391898.063	8243233.289	3920.321
1+280.00	391906.727	8243228.849	3918.965
1+300.00	391916.863	8243211.620	3916.948
1+320.00	391927.468	8243194.703	3914.910
1+330.00	391934.853	8243187.996	3913.590
1+340.00	391943.625	8243183.246	3912.446
1+350.00	391953.278	8243180.726	3911.367
1+360.00	391963.252	8243180.583	3910.132
1+370.00	391972.973	8243182.824	3908.777
1+380.00	391981.878	8243187.320	3907.337



1+390.00	391989.453	8243193.811	3905.826
1+400.00	391995.260	8243201.923	3904.383
1+420.00	392001.840	8243220.763	3902.376
1+430.00	392004.705	8243230.344	3901.607
1+440.00	392009.769	8243238.872	3900.661
1+450.00	392018.008	8243244.393	3899.595
1+460.00	392027.820	8243245.836	3898.155
1+470.00	392037.300	8243242.920	3896.963
1+480.00	392044.821	8243236.399	3895.687
1+500.00	392058.862	8243222.178	3893.619
1+510.00	392068.238	8243219.196	3892.568
1+520.00	392077.585	8243222.265	3891.404
1+530.00	392083.370	8243230.222	3890.253
1+540.00	392085.576	8243239.973	3889.309
1+560.00	392089.826	8243259.516	3888.032
1+580.00	392094.077	8243279.059	3887.132
1+590.00	392097.121	8243288.511	3886.584
1+600.00	392104.661	8243294.926	3885.948
1+620.00	392121.521	8243305.684	3884.250
1+640.00	392138.353	8243316.484	3882.601
1+650.00	392146.241	8243322.621	3881.815
1+660.00	392153.354	8243329.642	3881.076
1+680.00	392166.673	8243344.562	3879.796
1+700.00	392179.991	8243359.482	3878.702
1+720.00	392193.310	8243374.403	3877.841
1+740.00	392206.629	8243389.323	3877.132
1+760.00	392219.949	8243404.241	3876.385
1+770.00	392227.263	8243411.044	3875.873
1+780.00	392235.604	8243416.539	3875.147
1+790.00	392244.741	8243420.574	3874.453
1+800.00	392254.421	8243423.037	3873.142
1+810.00	392264.376	8243423.861	3872.240
1+820.00	392274.344	8243423.145	3871.751



1+840.00	392294.239	8243421.091	3870.683
1+860.00	392314.133	8243419.037	3867.836
1+880.00	392334.027	8243416.983	3865.973
1+900.00	392353.921	8243414.929	3861.898
1+920.00	392373.816	8243412.874	3859.129
1+940.00	392393.710	8243410.820	3857.935
1+960.00	392413.604	8243408.766	3856.816
1+980.00	392433.498	8243406.712	3855.050
1+990.00	392443.434	8243406.464	3853.963
2+000.00	392451.855	8243411.692	3853.547
2+020.00	392467.658	8243423.951	3852.781
2+040.00	392483.461	8243436.209	3852.110
2+060.00	392499.264	8243448.468	3851.396
2+080.00	392515.067	8243460.726	3850.931
2+100.00	392530.870	8243472.984	3850.190
2+120.00	392546.672	8243485.243	3849.546
2+140.00	392562.475	8243497.501	3848.937
2+160.00	392578.278	8243509.760	3848.242
2+180.00	392594.081	8243522.018	3847.628
2+200.00	392609.884	8243534.276	3847.217
2+206.60	392615.098	8243538.321	3847.027

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.4.2 Perfil longitudinal de superficie obtenida con fotogrametría.

Para la obtención del perfil longitudinal con elevaciones provenientes de la nube de puntos densa, se ha recurrido al uso de la superficie topográfica generada con el método de fotogrametría, mismo que ha sido ampliamente descrito en el ítem 3.2.3, luego se ha procesado el mismo alineamiento previamente diseñado, esto se evidencia en los resultados mostrados en *Tabla 17*.



Tabla 17:

Datos de perfil longitudinal a partir de fotogrametría.

PROGRESIVA	ESTE	NORTE	COTA DRONE
0+000.00	391382.051	8242731.523	4015.217
0+020.00	391399.063	8242742.039	4015.948
0+030.00	391406.868	8242748.240	4015.689
0+040.00	391412.617	8242756.380	4015.080
0+050.00	391415.839	8242765.811	4014.473
0+060.00	391417.038	8242775.736	4013.721
0+080.00	391419.234	8242795.615	4012.371
0+100.00	391421.430	8242815.495	4011.226
0+120.00	391423.626	8242835.374	4009.997
0+140.00	391425.821	8242855.253	4008.444
0+160.00	391428.017	8242875.132	4007.089
0+180.00	391430.213	8242895.011	4005.699
0+200.00	391432.409	8242914.890	4004.277
0+220.00	391434.812	8242934.742	4002.620
0+230.00	391436.904	8242944.518	4001.656
0+240.00	391439.803	8242954.086	4000.861
0+260.00	391447.236	8242972.650	3999.647
0+280.00	391454.830	8242991.153	3998.294
0+300.00	391462.424	8243009.655	3996.607
0+320.00	391470.018	8243028.157	3995.248
0+340.00	391477.612	8243046.659	3994.175
0+360.00	391485.453	8243065.055	3993.169
0+370.00	391489.997	8243073.961	3992.635
0+380.00	391495.030	8243082.601	3992.023
0+390.00	391500.534	8243090.948	3991.370
0+400.00	391506.493	8243098.977	3990.672
0+420.00	391518.940	8243114.632	3988.984
0+440.00	391531.389	8243130.285	3987.439
0+460.00	391543.838	8243145.938	3985.869
0+480.00	391556.284	8243161.594	3984.865



0+490.00	391562.031	8243169.772	3984.344
0+500.00	391566.933	8243178.484	3983.775
0+510.00	391570.941	8243187.641	3983.188
0+520.00	391574.014	8243197.153	3982.670
0+540.00	391578.426	8243216.659	3981.444
0+560.00	391582.739	8243236.188	3980.171
0+580.00	391588.641	8243255.018	3978.487
0+590.00	391597.905	8243257.493	3977.052
0+600.00	391604.993	8243251.035	3975.739
0+620.00	391605.656	8243231.096	3974.021
0+640.00	391605.797	8243211.096	3972.649
0+660.00	391605.937	8243191.097	3971.340
0+680.00	391606.078	8243171.097	3970.371
0+690.00	391606.127	8243161.098	3969.842
0+700.00	391605.494	8243151.122	3969.271
0+720.00	391601.928	8243131.449	3968.018
0+740.00	391598.021	8243111.834	3967.016
0+760.00	391594.114	8243092.220	3966.091
0+780.00	391590.207	8243072.605	3965.364
0+790.00	391588.258	8243062.797	3964.753
0+800.00	391589.834	8243053.108	3963.770
0+810.00	391597.064	8243046.469	3962.476
0+820.00	391606.851	8243045.721	3960.805
0+830.00	391615.005	8243051.186	3959.706
0+840.00	391620.088	8243059.793	3958.861
0+860.00	391630.054	8243077.133	3957.216
0+880.00	391640.020	8243094.473	3955.391
0+900.00	391649.986	8243111.813	3953.740
0+920.00	391660.376	8243128.889	3951.970
0+930.00	391666.782	8243136.558	3950.951
0+940.00	391674.095	8243143.369	3949.999
0+960.00	391690.325	8243155.049	3948.053
0+980.00	391706.688	8243166.550	3945.681



1+000.00	391723.051	8243178.050	3943.418
1+020.00	391739.440	8243189.512	3941.197
1+030.00	391747.841	8243194.935	3940.257
1+040.00	391756.453	8243200.018	3939.399
1+060.00	391774.077	8243209.471	3937.616
1+080.00	391791.737	8243218.858	3936.057
1+100.00	391809.398	8243228.244	3934.778
1+120.00	391827.058	8243237.631	3933.303
1+140.00	391845.520	8243243.656	3931.599
1+150.00	391852.991	8243237.448	3930.267
1+160.00	391853.419	8243227.745	3929.383
1+180.00	391845.456	8243209.555	3927.726
1+190.00	391848.773	8243200.380	3926.672
1+200.00	391857.337	8243195.425	3925.858
1+210.00	391866.621	8243191.736	3925.148
1+220.00	391876.193	8243193.509	3924.354
1+230.00	391881.591	8243201.612	3923.436
1+240.00	391883.093	8243211.498	3922.889
1+260.00	391888.841	8243230.168	3921.715
1+270.00	391898.063	8243233.289	3920.410
1+280.00	391906.727	8243228.849	3918.999
1+300.00	391916.863	8243211.620	3916.938
1+320.00	391927.468	8243194.703	3914.888
1+330.00	391934.853	8243187.996	3913.501
1+340.00	391943.625	8243183.246	3912.434
1+350.00	391953.278	8243180.726	3911.409
1+360.00	391963.252	8243180.583	3910.177
1+370.00	391972.973	8243182.824	3908.760
1+380.00	391981.878	8243187.320	3907.298
1+390.00	391989.453	8243193.811	3905.826
1+400.00	391995.260	8243201.923	3904.369
1+420.00	392001.840	8243220.763	3902.385
1+430.00	392004.705	8243230.344	3901.591



1+440.00	392009.769	8243238.872	3900.688
1+450.00	392018.008	8243244.393	3899.686
1+460.00	392027.820	8243245.836	3898.169
1+470.00	392037.300	8243242.920	3896.959
1+480.00	392044.821	8243236.399	3895.613
1+500.00	392058.862	8243222.178	3893.545
1+510.00	392068.238	8243219.196	3892.448
1+520.00	392077.585	8243222.265	3891.286
1+530.00	392083.370	8243230.222	3890.180
1+540.00	392085.576	8243239.973	3889.269
1+560.00	392089.826	8243259.516	3888.017
1+580.00	392094.077	8243279.059	3887.103
1+590.00	392097.121	8243288.511	3886.613
1+600.00	392104.661	8243294.926	3885.953
1+620.00	392121.521	8243305.684	3884.259
1+640.00	392138.353	8243316.484	3882.596
1+650.00	392146.241	8243322.621	3881.813
1+660.00	392153.354	8243329.642	3881.061
1+680.00	392166.673	8243344.562	3879.839
1+700.00	392179.991	8243359.482	3878.698
1+720.00	392193.310	8243374.403	3877.881
1+740.00	392206.629	8243389.323	3877.125
1+760.00	392219.949	8243404.241	3876.374
1+770.00	392227.263	8243411.044	3875.864
1+780.00	392235.604	8243416.539	3875.328
1+790.00	392244.741	8243420.574	3874.433
1+800.00	392254.421	8243423.037	3873.124
1+810.00	392264.376	8243423.861	3872.189
1+820.00	392274.344	8243423.145	3871.708
1+840.00	392294.239	8243421.091	3870.705
1+860.00	392314.133	8243419.037	3867.810
1+880.00	392334.027	8243416.983	3865.980
1+900.00	392353.921	8243414.929	3861.907



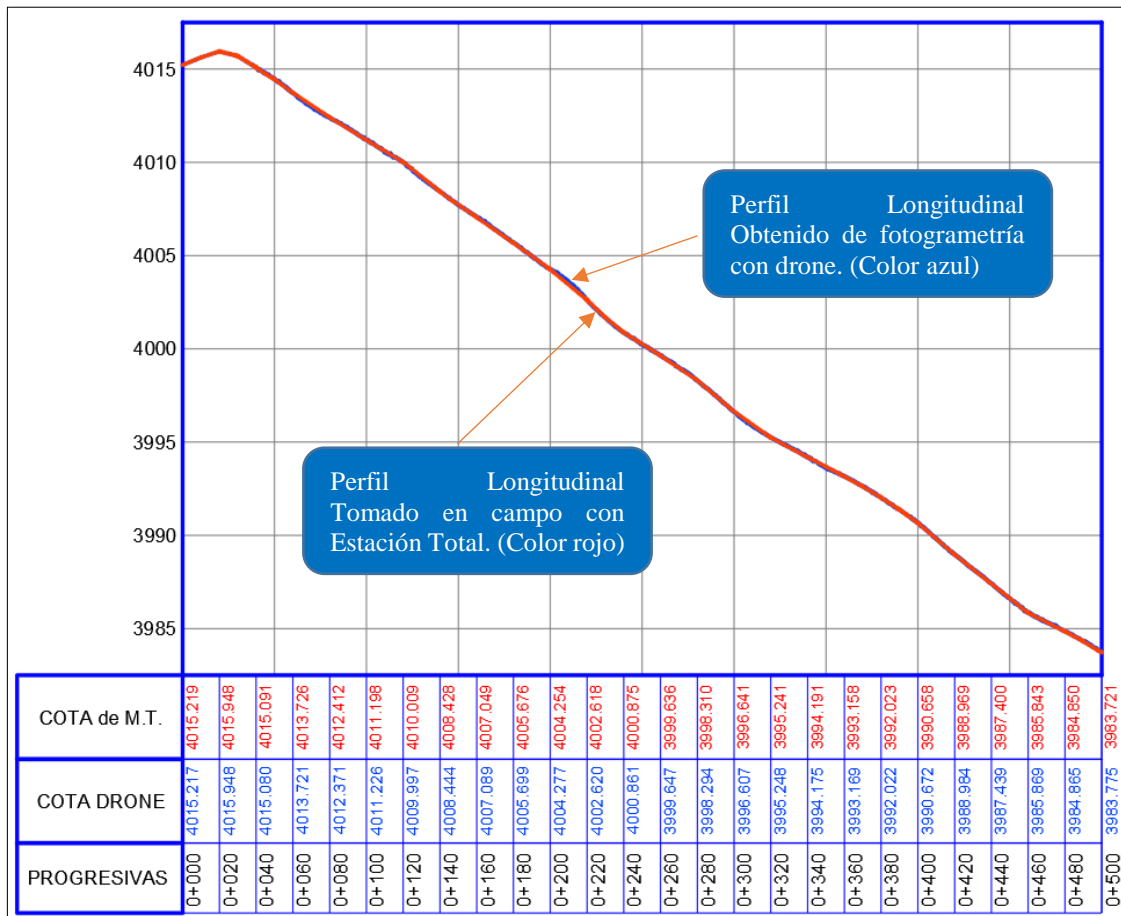
1+920.00	392373.816	8243412.874	3859.058
1+940.00	392393.710	8243410.820	3857.930
1+960.00	392413.604	8243408.766	3856.765
1+980.00	392433.498	8243406.712	3854.960
1+990.00	392443.434	8243406.464	3853.864
2+000.00	392451.855	8243411.692	3853.543
2+020.00	392467.658	8243423.951	3852.760
2+040.00	392483.461	8243436.209	3852.147
2+060.00	392499.264	8243448.468	3851.418
2+080.00	392515.067	8243460.726	3851.052
2+100.00	392530.870	8243472.984	3850.187
2+120.00	392546.672	8243485.243	3849.570
2+140.00	392562.475	8243497.501	3848.965
2+160.00	392578.278	8243509.760	3848.284
2+180.00	392594.081	8243522.018	3847.632
2+200.00	392609.884	8243534.276	3847.309
2+206.60	392615.098	8243538.321	3847.042

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Se observa que la altimetría (Z) difiere ligeramente porque este alineamiento se ha aplicado a las dos formas de generación de superficie topografía expuestas en la presente investigación, esto se interpreta mejor viendo la Figura 31.

Cabe destacar que, en la Figura 31 si bien no se perciben de manera independiente cada perfil generado, ello se debe a que ambos son muy similares en sus puntos de convergencia, es decir, en la progresivas, sin embargo, los perfiles difieren en la parte tendida hacia el medio de cada segmento de progresiva a progresiva y ello se debe a que la nube de puntos del generada de la fotogrametría, tiene la ventaja de brindar mayor información real del terreno.

Figura 31:
Convergencia de perfiles longitudinales



Nota. El tramo expuesto en la imagen va desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 0+500 por cuestiones de visibilidad de la figura.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.5 Diseño geométrico de carreteras.

En esta parte de la investigación se determina los aspectos generales tales como la clasificación, la velocidad de diseño y el vehículo de diseño cuyos parámetros nos permite realizar el diseño geométrico horizontal, vertical y transversal según los parámetros de la norma DG-2018.

3.2.5.1 Aspectos generales.

3.2.5.1.1 Clasificación de la carretera.

La presente investigación se aplica en el diseño de la carretera que conecta la Comunidad de Mi Perú al Centro Poblado de Salcedo y de acuerdo a las características de tránsito según “Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG-2018”, la carretera en estudio se clasifica como:

a) Clasificación según su demanda.

Por presentar un IMDA menor a 400 Veh/día, se califica como una “carretera de tercera clase”.

b) Clasificación según su orografía.

La carretera en estudio presenta pendientes longitudinales predominantes mayores al 8.00% y las pendientes transversales predominantes al eje de la vía superan el 51%, por tanto, su clasificación es la de un “Terreno escarpado-accidentado”.

3.2.5.1.2 Velocidad de diseño.

Se muestra un rango de opciones de determinar la velocidad de diseño según la clasificación y la orografía de la carretera como se muestra en la *Figura 32*.

Por lo tanto, la vía en estudio se clasificó, según su demanda, como tercera clase; según orografía, como un terreno escarpado-accidentado (Tipo 3 y 4) y acuerdo a la *Figura 32*, la velocidad de diseño se asumió: V.D. = 30 Km/h.

Figura 32:

Velocidad de diseño en función a su clasificación

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Autopista de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Autopista de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de tercera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											

FUENTE: Adaptado de Tabla 204.01 del *DG-2018*

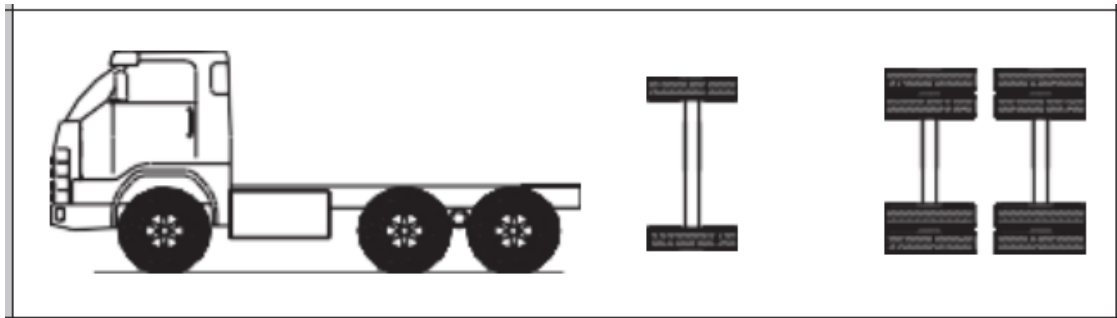
3.2.5.1.3 Vehículo de diseño.

Se ha observado que los vehículos más concurrentes en la vía de estudio son los camiones de triple eje “C3”, coloquialmente llamado “volquetes de carga” ello se evidencia en la *Figura 33*.

Las características del vehículo de diseño son: configuración vehicular: C3; Numero de ejes: 03; Longitud máxima: 13.20m; peso bruto máximo 25tn.

Figura 33:

Datos básicos de vehículo de diseño



FUENTE: Adaptado de tabla de pesos y medidas del *reglamento nacional de vehículos*.

3.2.5.2 Diseño geométrico horizontal.

El alineamiento de vía de estudio se hizo tan directo como sea conveniente adecuándose a las condiciones del relieve y minimizando dentro de lo razonable el número de cambios de dirección. El trazado en planta de un tramo carretero está compuesto de la adecuada sucesión de rectas (tangentes), curvas circulares.

De acuerdo a las disposiciones anteriores, a continuación, se justificarán solo los parámetros técnicos de diseño geométrico horizontal que la carretera en estudio requiera.

3.2.5.2.1 Restricciones para tramos en tangente.

Teniendo en cuenta que la velocidad de diseño es de 30 Km/h y la *Figura 34*. Se tiene que $L_{mín.s} = 42$ m; $L_{mín.o} = 84$ m y $L_{máx} = 500$ m.

En necesario precisar que esta disposición ha sido de cumplimiento parcial debido a las condiciones topográficas del terreno, principalmente al espacio limitado de la zona de estudio, la existencia de una vía existente y viviendas contiguas a esta.

Figura 34:

Longitud de tramos en tangentes

V (km/h)	L mín.s (m)	L mín.o (m)	L máx (m)
30	42	84	500
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
90	125	250	1503
100	139	278	1670
110	153	306	1837
120	167	333	2004
130	180	362	2171

Nota. Dónde: L mín.s: longitud mínima (m) para trazados en “S” (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario). L mín.o: longitud mínima (m) para el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido). L máx: longitud máxima deseable (m).

FUENTE: Adaptado de la Tabla 302.01 del *DG-2018*.

3.2.5.2.2 Radios mínimos y peraltes máximos.

La Figura 35 muestra los resultados de la aplicación de la formula (1) con sus respectivos datos para el cálculo de radios mínimos.

Si la velocidad de diseño es de 30 Km/h, el tipo de carretera (tipo 3-4) y la *Figura 35*, entonces se tiene que el radio mínimo $R_{mín} = 25$ m y el peralte máximo $p_{max} = 12.00$ %. Cabe precisar que, debido a las condiciones topográficas del terreno, pre existencia de una vía definida y viviendas aledañas, existen radios inferiores al mínimo.

Figura 35:

Radio mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras

Ubicación de la vía	Velocidad de diseño	P máx. (%)	f máx.	Radio calculado (m)	Radio redondeado (m)
Área urbana	30	4.00	0.17	33.7	35
	40	4.00	0.17	60.0	60
	50	4.00	0.16	98.4	100
	60	4.00	0.15	149.2	150
	70	4.00	0.14	214.3	215
	80	4.00	0.14	280.0	280
	90	4.00	0.13	375.2	375
	100	4.00	0.12	492.10	495
	110	4.00	0.11	635.2	635
	120	4.00	0.09	872.2	875
Área rural (con peligro de hielo)	130	4.00	0.08	1,108.9	1,110
	30	6.00	0.17	30.8	30
	40	6.00	0.17	54.8	55
	50	6.00	0.16	89.5	90
	60	6.00	0.15	135.0	135
	70	6.00	0.14	192.9	195
	80	6.00	0.14	252.9	255
	90	6.00	0.13	335.9	335
	100	6.00	0.12	437.4	440
	110	6.00	0.11	560.4	560
Área rural (plano u ondulada)	120	6.00	0.09	755.9	755
	130	6.00	0.08	950.5	950
	30	8.00	0.17	28.3	30
	40	8.00	0.17	50.4	50
	50	8.00	0.16	82.0	85
	60	8.00	0.15	123.2	125
	70	8.00	0.14	175.4	175
	80	8.00	0.14	229.1	230
	90	8.00	0.13	303.7	305
	100	8.00	0.12	393.7	395
Área rural (accidentada o escarpada)	110	8.00	0.11	501.5	500
	120	8.00	0.09	667.0	670
	130	8.00	0.08	831.7	835
	30	12.00	0.17	24.4	25
	40	12.00	0.17	43.4	45
	50	12.00	0.16	70.3	70
	60	12.00	0.15	105.0	105
	70	12.00	0.14	148.4	150
	80	12.00	0.14	193.8	195
	90	12.00	0.13	255.1	255
100	12.00	0.12	328.1	330	
110	12.00	0.11	414.2	415	
120	12.00	0.09	539.9	540	
130	12.00	0.08	665.4	665	

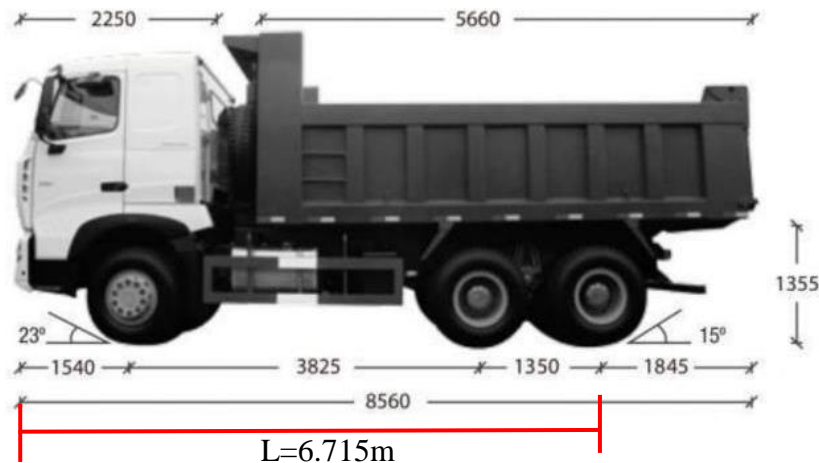
FUENTE: Adaptado de la Tabla 302.02 *del DG-2018*. Según la velocidad de diseño considerado.

3.2.5.2.3 Cálculo de sobreanchos.

Para el cálculo de los sobreanchos se tuvo en cuenta que la carretera en estudio se presenta una calzada de dos carriles. Con respecto al valor de L , si bien el vehículo de diseño es un camión “C3” (longitud total máxima 13.20m) cuyo L máximo es $L = 13.20 - 1.54 = 11.66\text{m}$ y la *Figura 36* es representativa al tipo de vehículo más recurrente en la zona de estudio cuya $L = 6.715\text{m}$, entonces, se justifica que el L mínimo adoptado sea $L_2=7.00\text{m}$ considerando que los valores de radio han sido inferiores al radio mínimo y que el L promedio adoptado haya sido $L_1=8.60\text{m}$ considerando que los valores de radio han sido superiores al radio mínimo. Estos valores se asumen basado en el criterio de optimización del diseño geométrico horizontal y de costos.

Figura 36:

Dimensiones del vehículo representativo



Nota. El gráfico representa las dimensiones de un camión volquete de 15m³.

FUENTE: Tomado de ECURED: https://www.ecured.cu/Sinotruk_HOWO_6x4.

Se justifica la aplicación de la fórmula (2) como completa (C) cuando el ángulo de deflexión es superior a 45 grados y como fórmula incompleta (NC) cuando el ángulo de deflexión es inferior a 45 grados, ello está en función a la dificultad de giro que el vehículo pueda presentar en curvas cerradas. Existen excepciones tales como el PI-Nº 5,



el cual tiene una reducción de 6.7m a 5.2m y el PI- N° 20 que se reduce de 4.5m a 1.0m, ello debido a la limitación del terreno existente.

En el PI-N°9 se ha prescindido del sobreebanco por obtenerse un valor de 0.30m, dato que es inferior a 0.40m (mínimo adoptado). La aplicación de la fórmula (2) del sobreebanco y todo lo anteriormente expuesto se presenta y resume en la *Tabla 18*.

Tabla 18:

Cuadro de cálculo de sobreebanco

N° de curva	Sentido	n	R(m.)	L (m.)	V (Km/h)	sa (m.) Calculado	sa (m.) Asumido	Obervación de formula
PI-N°1	I	2	35	8.6	30	2.65313173	2.7	C
PI-N°2	D	2	120	8.6	30	0.61712676	0.6	NC
PI-N°3	D	2	180	8.6	30	0.41112364	0.4	NC
PI-N°4	I	2	100	8.6	30	0.7409726	0.7	NC
PI-N°5	D	2	10	7.0	30	6.66582644	6.7 / 5.2	C
PI-N°6	D	2	100	8.6	30	0.7409726	0.7	NC
PI-N°7	I	2	15	7.0	30	4.24159835	4.2	C
PI-N°8	D	2	80	8.6	30	0.92718648	0.9	NC
PI-N°9	D	2	250	8.6	30	0.29592757	0.3 / 0.4	NC
PI-N°10	D	2	12	7.0	30	5.37243671	5.4	C
PI-N°11	I	2	13	7.0	30	4.92314799	4.9	C
PI-N°12	I	2	12	7.0	30	5.37243671	5.4	C
PI-N°13	D	2	12.5	7.0	30	5.13621296	5.1	C
PI-N°14	I	2	41.5	8.6	30	2.26741447	2.3	C
PI-N°15	D	2	22.5	7.0	30	2.86564597	2.9	C
PI-N°16	I	2	16	7.0	30	3.97501086	4	C
PI-N°17	D	2	15	7.0	30	4.24159835	4.2	C
PI-N°18	I	2	85	8.6	30	0.8723559	0.9	NC
PI-N°19	D	2	60	8.6	30	1.626362	1.6	C
PI-N°20	I	2	12	7.0	30	4.50641131	4.5 / 1.0	NC

Nota. De la tabla mostrada y la aplicación de la fórmula: C=fórmula completa y NC=formula incompleta.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.5.2.4 Memoria de cálculo para tabla de elemento de curvas.

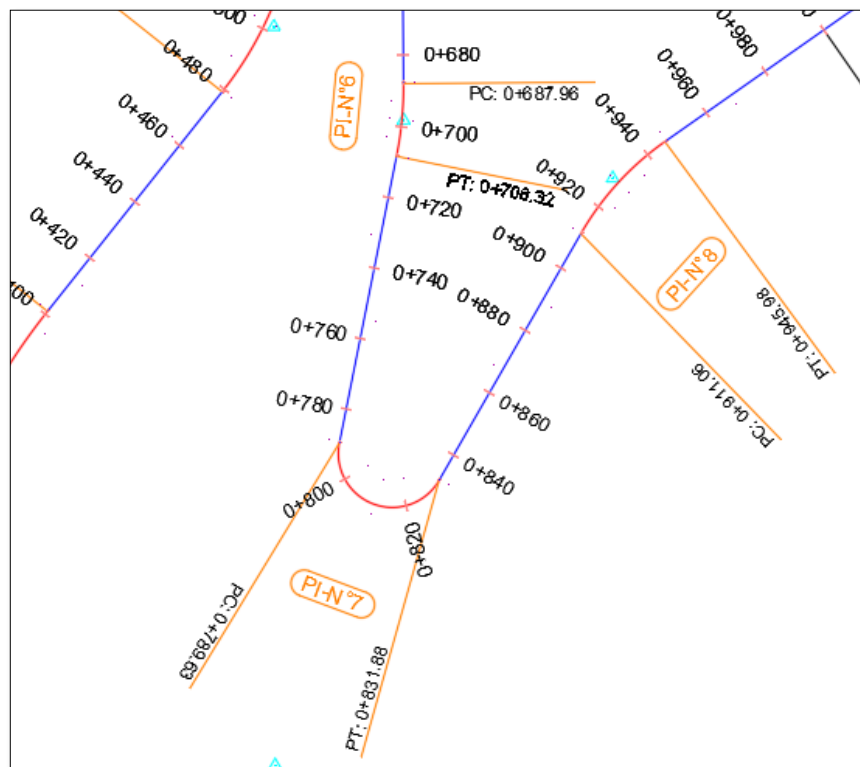
De acuerdo al diseño geométrico horizontal se obtuvieron 20 puntos de intersección y por consiguiente 20 curvas horizontales, a través del presente ítem, se demostrará vía procedimiento matemático la obtención de los elementos geométricos del P.I N° 7, por ser un P.I representativo.

Determinación del sentido de la curva.

Visto la orientación y/o dirección del alineamiento en la Figura 37, la cual se considerarse en forma ascendente, se deduce que el P.I. N° 7 tiene un sentido hacia la Izquierda (I)

Figura 37:

Orientación del alineamiento.



Nota. La figura mostrada es una parte de la lámina PC-01. Plano Clave, el cual contiene la curva de interés. P-I N° 7.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Determinación del radio de curvatura (R)

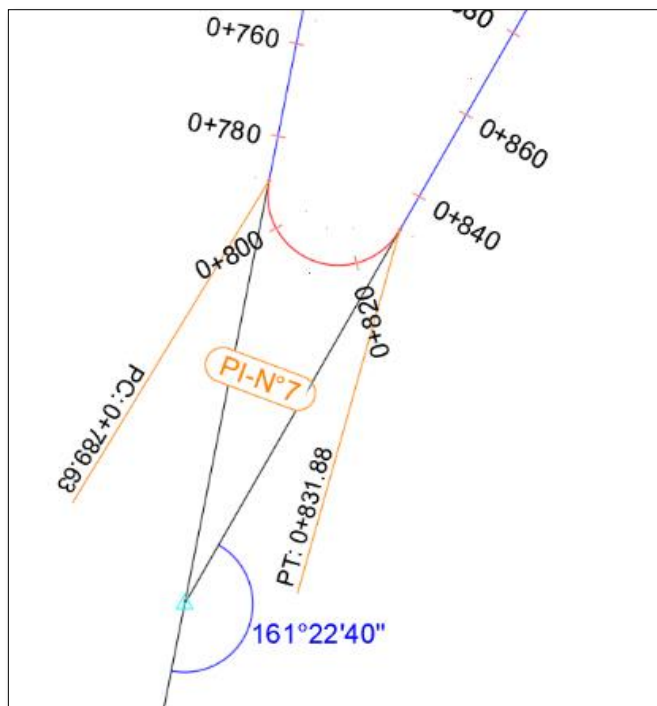
Siendo que la velocidad de diseño es de 30 Km/h, el tipo de carretera (tipo 3-4) y la *Figura 35*, entonces se tiene que el Radio mínimo $R_{\text{mín}} = 25.00\text{m}$. No obstante, si bien el radio mínimo es 25.00m, la curva N^a 7 presenta un radio de 15.00m ello se justifica en las condiciones topográficas del terreno, la pre existencia de una vía definida y viviendas aledañas, lo cual obliga la existencia de radios inferiores al mínimo.

Determinación del Angulo de deflexión (Δ)

El Angulo de deflexión es igual al ángulo central subtendido por el arco del Principio y final de curva como se muestra en la *Figura 38*.

Figura 38:

Angulo de deflexión



Nota. La figura muestra que el ángulo de deflexión es de $\Delta = 161^{\circ}22'40''$

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.



Determinación de la longitud de curva

$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180^\circ} \quad (3)$$

Donde:

- Lc = Longitud de curva
- R = Radio de curvatura. R = 15.00m
- Δ = Angulo de deflexión. $\Delta = 161^\circ 22' 40''$

$$Lc = \frac{\pi * 15 * 161^\circ 22' 40''}{180^\circ} = 42.25m$$

La longitud de curva es de Lc = 42.25m

En el caso de ángulos de deflexión Δ pequeños, iguales o inferiores a 5° , los radios deberán ser suficientemente grandes para proporcionar longitud de curva mínima Lc min obtenida con la fórmula siguiente “ $Lc > 30(10 - \Delta)$, $\Delta < 5^\circ$ ” o en su defecto Lc min = 3V para carreteras de dos carriles (DG-2018, p. 125)

Cual sea la formula a utilizarse, los ángulos de deflexión de todas las curvas de la presente carretera son mayores que 5° . Por tanto, no aplica las restricciones respecto de longitudes mínimas de curvatura.

Determinación de la Tangente (T)

$$T = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad (4)$$

Donde:

- T = Tangente
- R = Radio de curvatura. R = 15.00m
- Δ = Angulo de deflexión. $\Delta = 161^\circ 22' 40''$



$$T = 15.00 * \tan\left(\frac{161^{\circ}22'40''}{2}\right) = 91.49m$$

La longitud de Tangente es de $T = 91.49m$

Determinación de la externa (E)

$$E = T * \tan\left(\frac{\Delta}{4}\right) \quad (5)$$

Donde:

- E = Externa
- T = tangente. $T = 91.49m$
- Δ = Angulo de deflexión. $\Delta = 161^{\circ}22'40''$

$$E = 91.49 * \tan\left(\frac{161^{\circ}22'40''}{4}\right) = 77.71$$

La longitud de la Externa es de $E = 77.71m$

Determinación del Sobreancho (Sa)

$$Sa = n\left(R - \sqrt{R^2 - L^2} + \frac{V}{10 * \sqrt{R}}\right) \quad (6)$$

Donde:

- Sa = Sobreancho (m)
- L = Distancia entre eje posterior y parte frontal (m). $L = 7.00$
- n = Número de carriles. $n = 2$
- R = Radio de la curva circular (m). $R=15.00$
- V = Velocidad de diseño (Km/h). $V = 30$

$$Sa = 2\left(15 - \sqrt{15^2 - 7^2} + \frac{25}{10 * \sqrt{15}}\right) = 4.20m$$

El sobreancho en el P.I N° 7 es de $Sa = 4.20m$



Determinación del peralte máximo

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{V^2}{127 * R} - f_{m\acute{a}x} \quad (7)$$

Donde:

- $P_{m\acute{a}x}$ = Peralte máximo
- $f_{m\acute{a}x}$ = Coeficiente de fricción lateral asociado a V. $f_{m\acute{a}x} = 0.17$
- R = Radio de la curva circular (m). R=15.00
- V = Velocidad de diseño (Km/h). V = 30

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{30^2}{127 * 15} - 0.17 = 0.30$$

Cabe precisar que, si bien el resultado del peralte es de 30.00%, según el resultado, pues este se limitará a un máximo de 12.00% de peralte, ello implica que, para cumplir dicho parámetro entonces la velocidad de diseño, para ese tramo, se reduce a 24 km/h. Finalmente el peralte que irá en la tabla de elemento de curvas será de 12.00 %. De esta forma se demuestra cada uno de los parámetros para en diseño geométrico horizontal.

3.2.5.2.5 Tabla de elementos de curva.

El Resumen del diseño geométrico horizontal, se plasma en la *Tabla 19*, mismo que también se aprecia en los planos de planta y perfil longitudinal.

Tabla 19:

Cuadro de elementos de curva

PI-N°	S.	RADIO (m.)	L. CURVA (m.)	ANGULO DE DEFLEXIÓN	EXT. (m.)	TANG. (m.)	PROG. PC	PROG. PT	PROG. PI	COORDENA DA NORTE P.I.	COORDENA NADA ESTE P.I.	Sa. (m.)	Pe. (%)
PI-N°01	I	35.00	31.75	51°58'30"	3.94	17.06	0+020.92	0+052.67	0+037.98	8242751.496	391414.361	2.70	10.80
PI-N°02	D	120.00	33.54	16°00'40"	1.18	16.88	0+212.90	0+246.44	0+229.78	8242944.493	391435.679	0.60	5.00
PI-N°03	D	180.00	50.83	16°10'50"	1.81	25.59	0+350.17	0+401.01	0+375.76	8243079.741	391491.191	0.40	3.60
PI-N°04	I	100.00	45.45	26°02'40"	2.64	23.13	0+479.07	0+524.52	0+502.19	8243178.961	391570.102	0.70	5.80
PI-N°05	D	10.00	29.17	167°08'40"	79.33	88.77	0+574.08	0+603.25	0+662.84	8243336.613	391604.914	5.20	12.00
PI-N°06	D	100.00	20.36	11°40'10"	0.52	10.22	0+687.96	0+708.32	0+698.18	8243152.923	391606.206	0.70	5.80
PI-N°07	I	15.00	42.25	161°22'40"	77.71	91.49	0+789.63	0+831.88	0+881.12	8242973.436	391570.454	4.20	12.00
PI-N°08	D	80.00	34.92	25°00'40"	1.94	17.74	0+911.06	0+945.98	0+928.80	8243136.785	391664.339	0.90	6.80
PI-N°09	D	250.00	31.02	7°06'40"	0.48	15.53	1+015.15	1+046.17	1+030.68	8243195.692	391748.151	0.40	2.80
PI-N°10	D	12.00	30.46	145°25'20"	28.38	38.55	1+130.82	1+161.28	1+169.37	8243260.803	391870.655	5.40	12.00
PI-N°11	I	13.00	21.46	94°34'40"	6.17	14.08	1+174.27	1+195.72	1+188.35	8243202.555	391840.421	4.90	12.00
PI-N°12	I	12.50	22.75	104°15'50"	7.86	16.08	1+207.72	1+230.47	1+223.80	8243186.181	391879.268	5.40	12.00

PI-N°13	D	12.50	30.87	141°29'20"	25.40	35.78	1+251.32	1+282.19	1+287.10	8243258.072	391890.128	5.10	12.00
PI-N°14	I	41.50	96.67	133°28'10"	63.56	96.52	1+312.08	1+408.75	1+408.60	8243117.493	391971.034	2.30	10.20
PI-N°15	D	22.50	46.94	119°32'20"	22.19	38.61	1+429.47	1+476.41	1+468.08	8243266.834	392015.584	2.90	12.00
PI-N°16	I	16.00	34.59	123°52'50"	18.01	30.02	1+497.04	1+531.63	1+527.05	8243202.466	392077.419	4.00	12.00
PI-N°17	D	15.00	11.83	45°11'20"	1.25	6.24	1+584.59	1+596.42	1+590.83	8243289.641	392096.378	4.20	12.00
PI-N°18	I	85.00	23.30	15°42'20"	0.80	11.72	1+637.07	1+660.37	1+648.79	8243321.17	392145.792	0.90	6.40
PI-N°19	D	60.00	56.70	54°08'30"	7.38	30.66	1+759.43	1+816.12	1+790.09	8243426.693	392239.987	1.60	8.20
PI-N°20	I	12.50	9.53	43°41'50"	0.97	5.01	1+985.58	1+995.11	1+990.59	8243405.624	392444.032	1.00	4.00

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.5.3 Diseño geométrico vertical.

En el diseño vertical, el perfil longitudinal conforma la rasante, la misma que está constituida por una serie de rectas enlazadas por arcos verticales parabólicos a los cuales dichas rectas son tangentes.

Para fines de la investigación, el sentido de las pendientes se define según el avance del kilometraje, siendo positivas aquellas que implican un aumento de cota y negativas las que producen una pérdida de cota, las curvas verticales entre dos pendientes sucesivas permiten conformar una transición entre pendientes de distinta magnitud, eliminando el quiebre brusco de la rasante.

Para la definición del perfil longitudinal se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- La presente carretera de contiene 01 con 02 carriles bidireccionales, el eje que define el perfil coincide con el eje central de la calzada.
- Salvo casos especiales en terreno llano, la rasante está por encima del terreno a fin de favorecer el drenaje.
- En terreno ondulado, por razones de economía, la rasante se acomoda a las Inflexiones del terreno.

3.2.5.3.1 Pendiente.

a) Pendiente mínima

Teniendo en cuenta que la clasificación orográfica de la vía que es Tipo 3 y 4. Se asumirá el mínimo excepcional para pendientes mínima, el cual es de 0.5%.

b) Pendiente máxima

Es conveniente considerar las pendientes máximas que están indicadas en la *Figura 39*, teniendo en cuenta que la velocidad de diseño es de 30 Km/h, carretera de tercera clase y tipo 3-4. Se tiene que la pendiente máxima es de $S= 10.00\%$.

Figura 39:

Pendientes máximas en porcentaje (%)

Demanda	Autopistas								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400			
Vehículos/día	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
Características	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño: 30 km/h																			10.00	10.00
40 km/h																9.00	8.00	9.00	10.00	
50 km/h										7.00	7.00			8.00	9.00	8.00	8.00	8.00		
60 km/h					6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	7.00	8.00	9.00	8.00	8.00		
70 km/h			5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00		7.00	7.00		
80 km/h	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00		6.00	6.00			7.00	7.00		
90 km/h	4.50	4.50	5.00		5.00	5.00	6.00		5.00	5.00			6.00				6.00	6.00		
100 km/h	4.50	4.50	4.50		5.00	5.00	6.00		5.00				6.00							
110 km/h	4.00	4.00			4.00															
120 km/h	4.00	4.00			4.00															
130 km/h	3.50																			

FUENTE: Adaptado de la *Tabla 303.01* del DG-2018.

3.2.5.3.2 Curvas verticales.

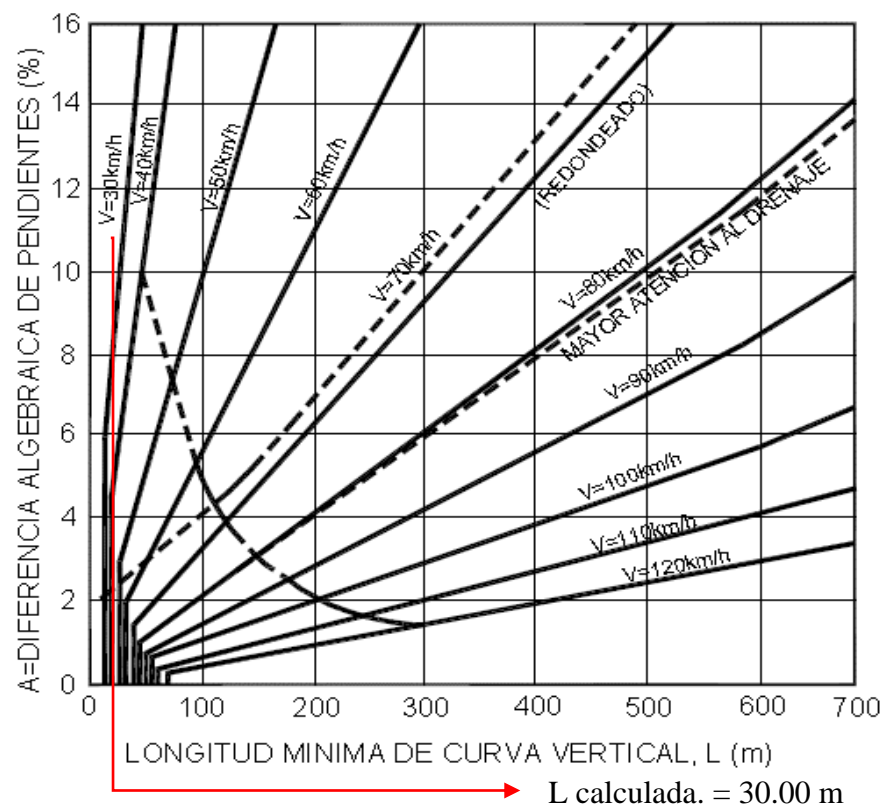
Los ábacos que se muestran a continuación son adaptados del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2018) por cuestiones de facilidad para la determinación de las longitudes mínimas tanto en curvas verticales convexas como en curvas verticales Cónicas. Esta determinación procede de la siguiente manera:

a) Curvas verticales convexas.

Se tiene las siguientes curvas verticales convexas cuyo cálculo de longitud mínima de se muestran en la *Figura 40*, *Figura 41*, *Figura 42*.

Figura 40:

Longitud mínima de curva vertical convexa PIV 0+023.92

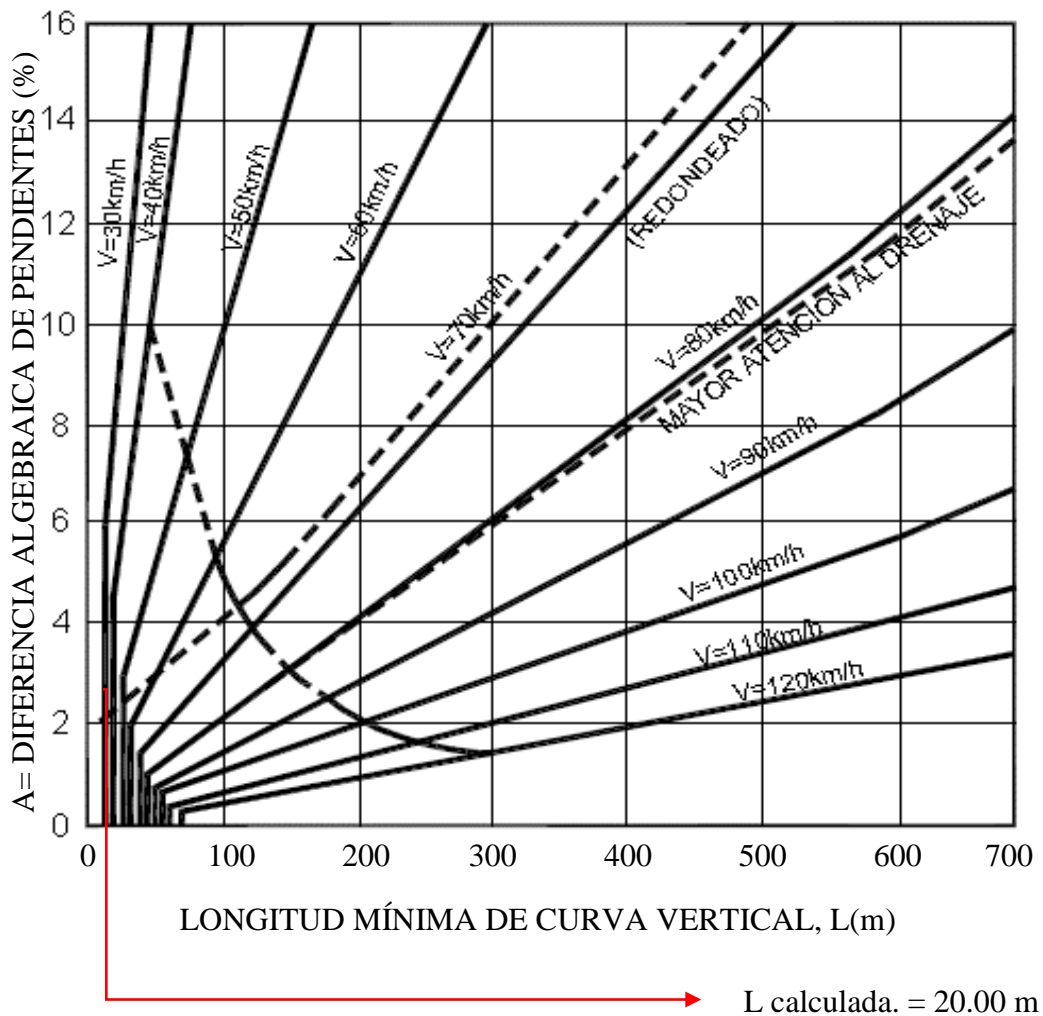


FUENTE: Adaptado de *DG-2018*

Diferencia de Pendientes. = P ent. – P sal. = 3.49 – (-6.83) = 10.32, por tanto, L asumida = 35.00 m.

Figura 41:

Longitud mínima de curva vertical convexa PIV 0+786.23

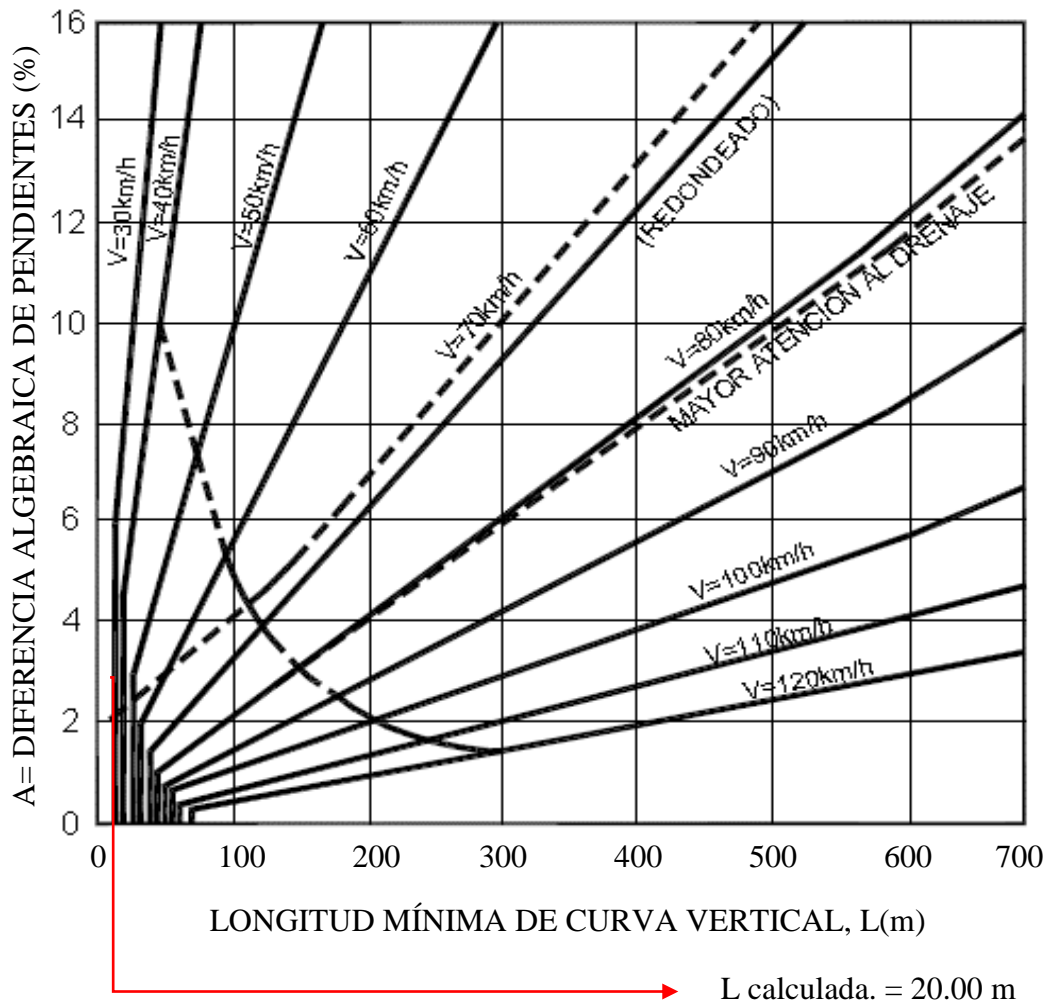


FUENTE: Adaptado de *DG-2018*

Diferencia de Pendientes. = P ent. - P sal. = -6.83 - (-9.45) = 2.62, por tanto, L
asumida = 100.00 m.

Figura 42:

Longitud mínima de curva vertical convexa PIV 1+804.93



FUENTE: Adaptado de *DG-2018*

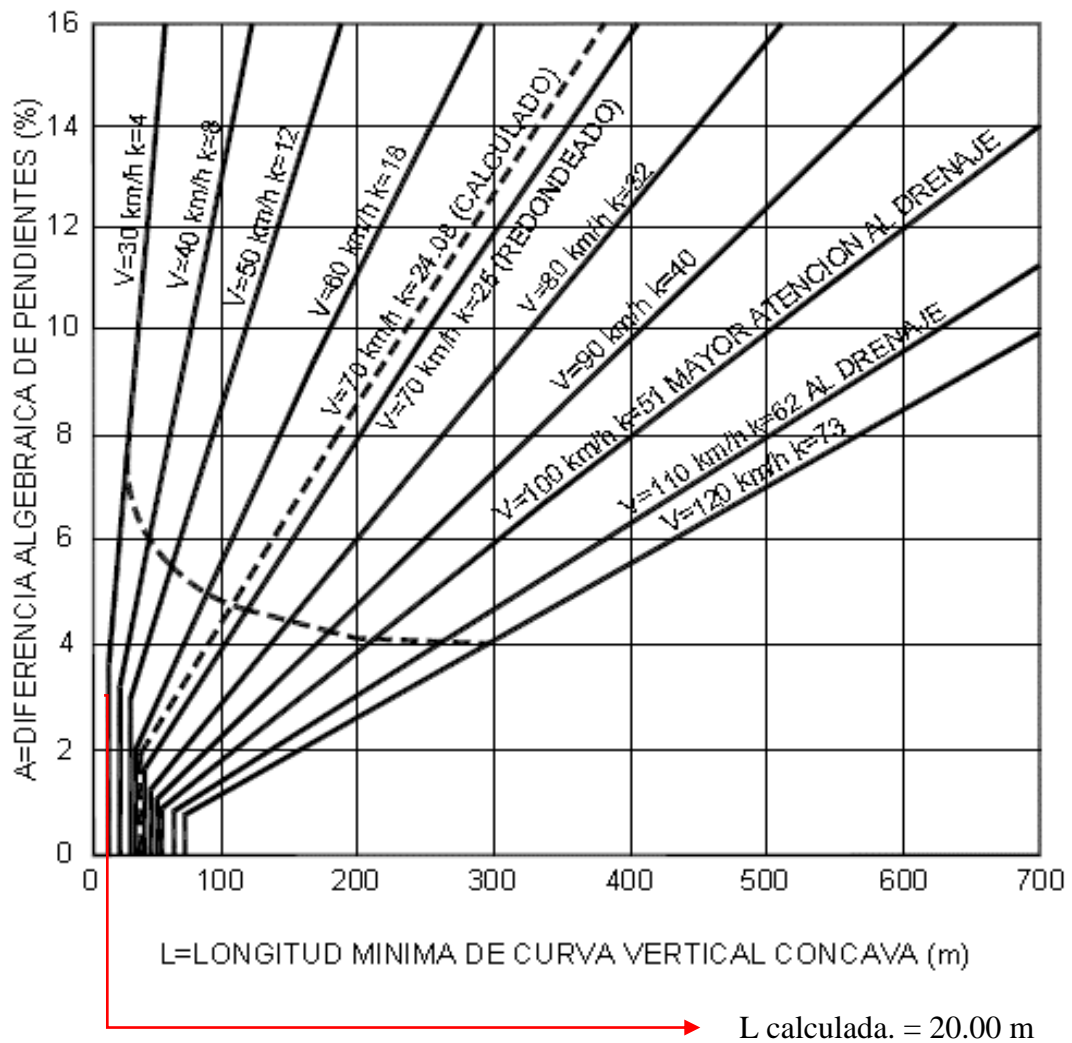
Diferencia de Pendientes. = P ent. - P sal. = $-7.17 - (-10.00) = 2.83$, por tanto, L asumida = 70.00 m.

b) Curvas verticales cóncavas

Para la determinación de las curvas verticales cóncavas de la carretera se utilizó el mismo procedimiento y el ábaco para curvas verticales cóncavas, por tanto, los resultados se resumen en la *Figura 43* y *Figura 44*.

Figura 43:

Longitud mínima de curva vertical cóncavo PIV 1+547.72

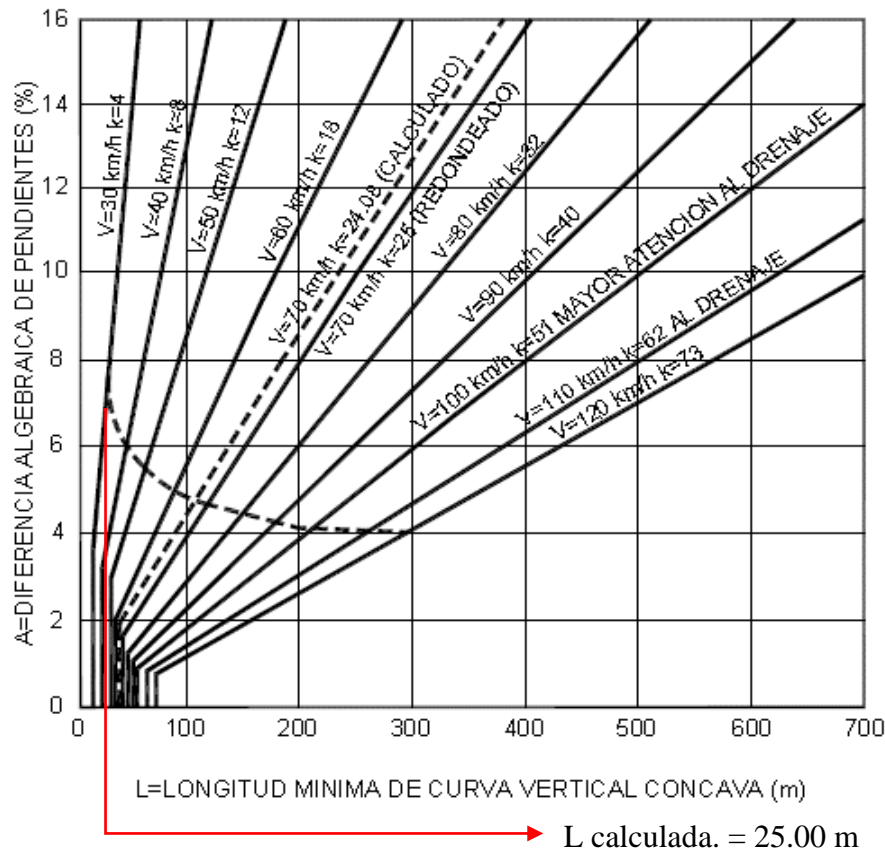


FUENTE: Adaptado de *DG-2018*

Diferencia de pendientes. = $P_1 - P_2 = -10.00 - (-7.17) = -2.83$, por tanto, L asumida = 95.00 m.

Figura 44:

Longitud mínima de curva vertical cóncavo PIV 1+978.59



FUENTE: Adaptado de *DG-2018*

Diferencia de pendientes. = $P1 - P2 = -10.00 - (-3.27) = -6.73$, por tanto, L asumida = 95.00 m.

Respecto AL PIV 1+246.90, se presenta una diferencia de Pendientes. = $P1 - P2 = -9.45 - (-10.00) = 0.55$, es cual es inferior a 1% o 2%, por tanto, se prescinde de curva vertical.

3.2.5.4 Diseño geométrico transversal.

3.2.5.4.1 Calzada o superficie de rodadura

En la *Figura 45* se indican los valores del ancho de calzada para diferentes velocidades de diseño con relación a la clasificación de la carretera.

Figura 45:

Anchos mínimos de calzada en tangente

Clasificación	Autopista								Carretera				Carretera				Carretera			
	> 6,000				6,000 – 4,001				4,000-2.001				2,000-400				< 400			
Tipo	Primera Clase				Segunda Clase				Primera Clase				Segunda Clase				Tercera Clase			
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño: 30km/h																			5.00	6.00
40 km/h																	6.60	6.60	6.60	5.00
50 km/h											7.20	7.20			6.60	6.60	6.60	6.60	5.00	
60 km/h					7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60		
70 km/h			7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60		6.60	6.60		
80 km/h	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20			6.60	6.60		
90 km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20		7.20	7.20			7.20				6.60	6.60		
100 km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20		7.20				7.20							
110 km/h	7.20	7.20			7.20															
120 km/h	7.20	7.20			7.20															
130 km/h	7.20																			

FUENTE: Adaptado de la Tabla 304.01 del *DG-2018*.

Teniendo en cuenta que la velocidad de diseño es de 30 Km/h, carretera de tercera clase, con orografía tipo 3-4, se obtiene que el ancho de la calzada será de 6.00m

3.2.5.4.2 Ancho de las bermas.

En la *Figura 46* se establece el ancho de berma en función a la clasificación de la vía, velocidad de diseño y orografía, por tanto, la carretera en estudio presenta una velocidad de diseño es de 30 Km/h, carretera de tercera clase, con orografía tipo 3-4, se obtiene que el ancho de la berma será de 0.50m.

3.2.5.4.3 Pendiente de bombeo.

En la *Figura 47* se muestra los criterios para determinar el porcentaje de bombeo, La carretera en estudio tiene las condiciones iniciales de tercera clase y en la zona de estudio una precipitación mayor a 500 mm/año. Por lo tanto, le corresponde una pendiente de bombeo de 3.0 %.

Figura 46:

Determinación de ancho de bermas

Clasificación	Autopista				Carretera				Carretera				Carretera							
	> 6.000				6.000 - 4001				4.000-2.001				2.000-400				< 400			
Características	Primera clase				Segunda clase				Primera clase				Segunda clase				Tercera Clase			
Tipo de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño: 30 km/h																			0,50	0,50
40 km/h																	1,20	1,20	0,90	0,50
50 km/h											2,60	2,60			1,20	1,20	1,20	0,90	0,90	
60 km/h					3,00	3,00	2,60	2,60	3,00	3,00	2,60	2,60	2,00	2,00	1,20	1,20	1,20	1,20		
70 km/h			3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,20		1,20	1,20		
80 km/h	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00			1,20	1,20		
90 km/h	3,00	3,00	3,00		3,00	3,00	3,00		3,00	3,00			2,00				1,20	1,20		
100 km/h	3,00	3,00	3,00		3,00	3,00	3,00		3,00				2,00							
110 km/h	3,00	3,00			3,00															
120 km/h	3,00	3,00			3,00															
130 km/h	3,00																			

FUENTE: Adaptado de la Tabla 304.02 del DG-2018.

Figura 47:

Determinación del valor de bombeo de la calzada

Tipo de Superficie	Bombeo (%)	
	Precipitación <500 mm/año	Precipitación >500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	2,0	2,5
Tratamiento superficial	2,5	2,5-3,0
Afirmado	3,0-3,5	3,0-4,0

FUENTE: Adaptado de la Tabla 304.03 del DG-2018

3.2.5.4.4 Pendiente del peralte.

Se definiría de acuerdo a lo que establece en el DG-2018 según la *Figura 48*.

Figura 48:

Determinación del valor de peralte máximo

Pueblo o ciudad	Peralte Máximo (p)		Ver Figura
	Absoluto	Normal	
Atravesamiento de zonas urbanas	6,0%	4,0%	302.02
Zona rural (T. Plano, Ondulado ó Accidentado)	8,0%	6,0%	302.03
Zona rural (T. Accidentado ó Escarpado)	12,0	8,0%	302.04
Zona rural con peligro de hielo	8,0	6,0%	302.05

FUENTE: Adaptado de la Tabla 304.05 del *DG-2018*.

La carretera presentará un peralte máximo será de 12.00%. Sin embargo, el peralte de cada una de las curvas horizontales se determinará en función al radio de curvatura que estas presenten, los resultados de los peraltes se evidencian en la *Tabla 19*

3.2.5.4.5 Talud de corte.

Se define de acuerdo a la tabla 304.10 del DG-2018 que se muestra en la Figura 49

Figura 49:

Valores referenciales para taludes de corte

Clasificación de materiales de corte	Roca fija	Roca suelta	Material			
			Grava	Limoarcilloso o arcilla	Arenas	
Altura de corte	<5 m	1:10	1:6-1:4	1:1 -1:3	1:1	2:1
	5-10 m	1:10	1:4-1:2	1:1	1:1	*
	>10 m	1:8	1:2	*	*	*

FUENTE: Adaptado de la Tabla 304.10 del *DG-2018*

La carretera en estudio se caracteriza por ser una vía relativamente definida (existente) motivo por el cual el corte en los taludes no excederá lo 5.00m, de manera que el talud de corte será de Z=1:3 (H: V).

3.2.5.4.6 Talud para terraplenes.

Se definirá de acuerdo a la información mostrada en la *Figura 50*

Figura 50:

Valores referenciales para taludes de terraplenes

Materiales	Talud (V:H)		
	Altura (m)		
	<5	5-10	>10
Gravas, limo arenoso y arcilla	1:1,5	1:1,75	1:2
Arena	1:2	1:2,25	1:2,5
Enrocado	1:1	1:1,25	1:1,5

FUENTE: Adaptado de la Tabla 304.11 del *DG-2018*.

La carretera en estudio se caracteriza por ser una vía relativamente definida (existente) motivo por el cual el talud de relleno no excederá lo 5.00m, de manera que el talud de relleno será de $Z=1:1.5$ (V: H).

3.2.5.4.7 Dimensiones de cuneta.

Se propondrá cunetas de tipo Triangular. Cabe destacar que el material de construcción de las cunetas será de tierra, esto debido a que la carretera proyectada será afirmada. La dimensión de la cuneta será de 0.50m vista en planta, las pendientes serán las prolongaciones de los taludes de corte y relleno respectivamente.

3.2.5.5 Resultados del diseño geométrico de la vía.

3.2.5.5.1 Resumen de parámetros de diseño.

En la *Tabla 20* se presenta un resumen detallado de los parámetros de diseño para el proyecto de tesis.

Tabla 20:

Parámetros de diseño

CARACTERÍSTICA	PARÁMETROS DE DISEÑO
Clasificación de la carretera	Tercera clase
Orografía	Accidentado Escarpado (Tipo 3 y 4)
Vehículo de diseño	C3 (Camión de carga de triple eje)
Velocidad directriz (km/h.)	30Km/hr.
Radio mínimo	Rmin 25.00m (con excepciones justificadas)
Pendiente mínima en rectas (%)	0.50%
Pendiente máxima en rectas (%)	10.00%
Longitud de curva vertical	Calculado para cada caso (siempre >min
Calzadas o carriles	02 (3.00 m de ancho cada carril)
Berma	0.50m (a cada lado)
Pendiente de bombeo	3.00%
Pendiente máximo de peralte	12.00%
Talud de corte	Z = 1:3 (H: V)
Talud para terraplenes	Z = 1:1.5 (V:H)
Cunetas	Forma triangular H = 0.50m
Tipo de pavimento	Afirmado

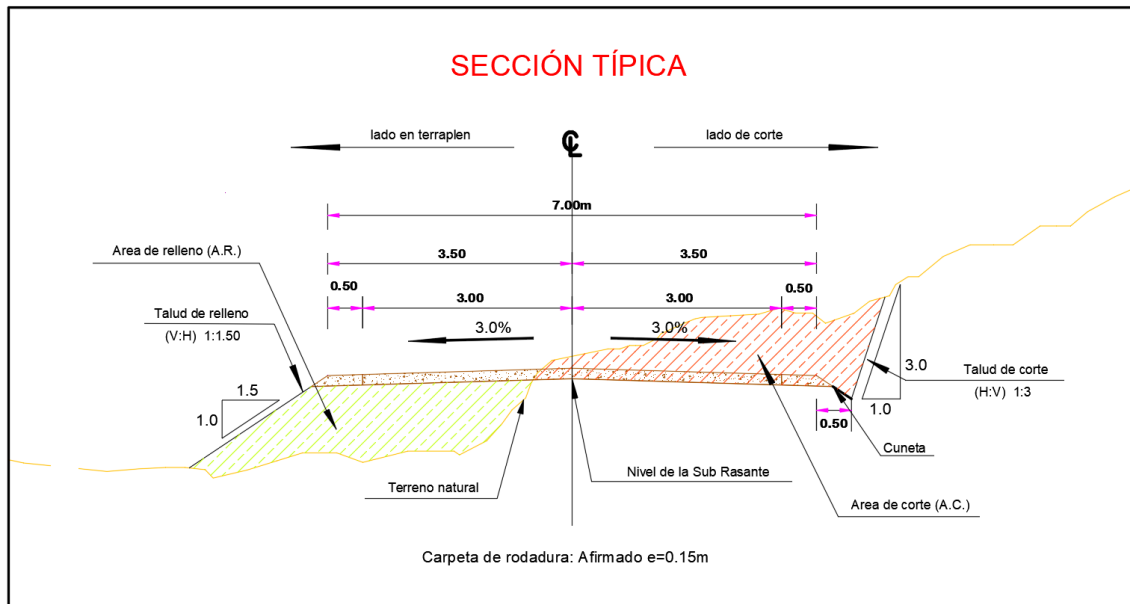
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.5.5.2 Presentación de secciones típicas.

Para la presentación transversal se tuvo en cuenta la definición de secciones típica, para el caso el presente trabajo de investigación se ha considerado carretera a nivel de afirmado, sin embargo, para el cálculo de movimiento de tierras no se tomará en cuenta la capa de material afirmado debido a que este material es procedente de cantera, en consecuencia, la sección típica en ladera solo se consideró la superficie de corte y relleno hasta el nivel de subrasante como se muestra en la *Figura 51*.

Figura 51:

Sección típica de la vía



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.6 Cálculo de volúmenes de movimiento de tierras

A lo largo de todo el contenido que antecede al presente ítem se ha expuesto dos métodos de generación de superficie topográfica y el diseño geométrico de la carretera en estudio con la finalidad de determinar el movimiento de tierras resultante, para tal fin se aplicaran dos métodos de cálculo de movimiento de tierras los cuales son:

3.2.6.1 Método del prisma de carreteras.

Los prismas de carretera se forman cuando se secciona transversalmente el eje de la vía en progresivas a cada 20.00m en tangentes y a cada 10.00m en curvas, en las secciones transversales se evidencia el contraste entre una superficie topográfica proyectada en función a los parámetros del diseño geométrico y el terreno natural, ello se denota en los planos de secciones transversales adjuntados en los anexos.

Por otro lado, basado en los parámetros resultantes del diseño geométrico de la vía vista en la *Tabla 20*, la sección típica mostrada en la *Figura 51* y con el apoyo del software AutoCAD Civil 3D se genera un corredor vial de manera tal que sirva de soporte para la creación de la superficie proyectada de la vía. En la *Tabla 21* se muestra el cuadro de volumen de corte y volumen de relleno en cada progresiva y sus valores acumulados.

Tabla 21:

Cálculo de movimiento de tierras por el método de prisma de carreteras

Prog.	Área de Corte	Área de Relleno	Vol. de Corte	Vol. de Relleno	Vol. Acum. de Corte	Vol. Acum. de Relleno
0+000.00	1.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+020.00	4.95	0.00	64.80	0.00	64.80	0.00
0+030.00	5.81	0.00	53.80	0.00	118.60	0.00
0+040.00	3.81	0.33	48.10	1.65	166.70	1.65
0+050.00	3.98	0.07	38.95	2.00	205.65	3.65
0+060.00	2.79	1.94	33.85	10.05	239.50	13.70
0+080.00	2.18	0.26	49.70	22.00	289.20	35.70
0+100.00	3.54	0.00	57.20	2.60	346.40	38.30
0+120.00	8.78	0.00	123.20	0.00	469.60	38.30
0+140.00	9.13	0.00	179.10	0.00	648.70	38.30
0+160.00	8.97	0.00	181.00	0.00	829.70	38.30
0+180.00	9.80	0.00	187.70	0.00	1017.40	38.30
0+200.00	7.58	0.00	173.80	0.00	1191.20	38.30
0+220.00	1.00	0.26	85.80	2.60	1277.00	40.90
0+230.00	0.00	1.95	5.00	11.05	1282.00	51.95
0+240.00	0.00	2.66	0.00	23.05	1282.00	75.00
0+260.00	0.00	1.31	0.00	39.70	1282.00	114.70
0+280.00	1.27	0.62	12.70	19.30	1294.70	134.00
0+300.00	0.00	3.48	12.70	41.00	1307.40	175.00
0+320.00	0.81	3.71	8.10	71.90	1315.50	246.90
0+340.00	0.00	1.65	8.10	53.60	1323.60	300.50
0+360.00	1.69	0.17	16.90	18.20	1340.50	318.70



0+370.00	2.93	0.04	23.10	1.05	1363.60	319.75
0+380.00	2.84	0.02	28.85	0.30	1392.45	320.05
0+390.00	3.09	0.00	29.65	0.10	1422.10	320.15
0+400.00	2.91	0.03	30.00	0.15	1452.10	320.30
0+420.00	0.66	0.05	35.70	0.80	1487.80	321.10
0+440.00	0.08	0.73	7.40	7.80	1495.20	328.90
0+460.00	0.63	1.77	7.10	25.00	1502.30	353.90
0+480.00	1.08	0.47	17.10	22.40	1519.40	376.30
0+490.00	1.81	0.05	14.45	2.60	1533.85	378.90
0+500.00	2.44	1.37	21.25	7.10	1555.10	386.00
0+510.00	4.61	0.14	35.25	7.55	1590.35	393.55
0+520.00	7.35	0.00	59.80	0.70	1650.15	394.25
0+540.00	7.28	0.00	146.30	0.00	1796.45	394.25
0+560.00	9.61	0.00	168.90	0.00	1965.35	394.25
0+580.00	6.89	0.01	165.00	0.10	2130.35	394.35
0+590.00	4.16	1.28	55.25	6.45	2185.60	400.80
0+600.00	2.73	9.10	34.45	51.90	2220.05	452.70
0+620.00	0.00	13.37	27.30	224.70	2247.35	677.40
0+640.00	2.55	11.12	25.50	244.90	2272.85	922.30
0+660.00	1.35	9.02	39.00	201.40	2311.85	1123.70
0+680.00	0.99	7.26	23.40	162.80	2335.25	1286.50
0+690.00	0.00	6.86	4.95	70.60	2340.20	1357.10
0+700.00	0.00	8.59	0.00	77.25	2340.20	1434.35
0+720.00	0.00	9.64	0.00	182.30	2340.20	1616.65
0+740.00	0.18	3.30	1.80	129.40	2342.00	1746.05
0+760.00	3.29	1.28	34.70	45.80	2376.70	1791.85
0+780.00	13.04	0.00	163.30	12.80	2540.00	1804.65
0+790.00	19.27	0.00	161.55	0.00	2701.55	1804.65
0+800.00	20.85	0.00	200.60	0.00	2902.15	1804.65
0+810.00	16.74	0.00	187.95	0.00	3090.10	1804.65
0+820.00	12.42	0.00	145.80	0.00	3235.90	1804.65
0+830.00	7.80	0.05	101.10	0.25	3337.00	1804.90
0+840.00	3.45	0.20	56.25	1.25	3393.25	1806.15



0+860.00	4.61	0.00	80.60	2.00	3473.85	1808.15
0+880.00	4.65	0.00	92.60	0.00	3566.45	1808.15
0+900.00	5.91	0.00	105.60	0.00	3672.05	1808.15
0+920.00	8.38	0.00	142.90	0.00	3814.95	1808.15
0+930.00	6.39	0.00	73.85	0.00	3888.80	1808.15
0+940.00	6.83	0.00	66.10	0.00	3954.90	1808.15
0+960.00	6.96	0.00	137.90	0.00	4092.80	1808.15
0+980.00	1.91	0.00	88.70	0.00	4181.50	1808.15
1+000.00	0.00	1.20	19.10	12.00	4200.60	1820.15
1+020.00	0.00	4.30	0.00	55.00	4200.60	1875.15
1+030.00	0.00	4.84	0.00	45.70	4200.60	1920.85
1+040.00	0.00	3.61	0.00	42.25	4200.60	1963.10
1+060.00	0.00	2.69	0.00	63.00	4200.60	2026.10
1+080.00	0.19	0.59	1.90	32.80	4202.50	2058.90
1+100.00	4.96	0.00	51.50	5.90	4254.00	2064.80
1+120.00	11.87	0.00	168.30	0.00	4422.30	2064.80
1+140.00	18.78	0.00	306.50	0.00	4728.80	2064.80
1+150.00	16.93	0.00	178.55	0.00	4907.35	2064.80
1+160.00	15.75	0.00	163.40	0.00	5070.75	2064.80
1+180.00	16.39	0.00	321.40	0.00	5392.15	2064.80
1+190.00	16.75	0.00	165.70	0.00	5557.85	2064.80
1+200.00	18.97	0.00	178.60	0.00	5736.45	2064.80
1+210.00	22.98	0.00	209.75	0.00	5946.20	2064.80
1+220.00	24.11	0.00	235.45	0.00	6181.65	2064.80
1+230.00	26.55	0.00	253.30	0.00	6434.95	2064.80
1+240.00	26.26	0.00	264.05	0.00	6699.00	2064.80
1+260.00	37.79	0.00	640.50	0.00	7339.50	2064.80
1+270.00	37.77	0.00	377.80	0.00	7717.30	2064.80
1+280.00	35.52	0.00	366.45	0.00	8083.75	2064.80
1+300.00	22.75	0.00	582.70	0.00	8666.45	2064.80
1+320.00	19.33	0.00	420.80	0.00	9087.25	2064.80
1+330.00	16.57	0.00	179.50	0.00	9266.75	2064.80
1+340.00	15.52	0.00	160.45	0.00	9427.20	2064.80



1+350.00	15.07	0.00	152.95	0.00	9580.15	2064.80
1+360.00	14.75	0.00	149.10	0.00	9729.25	2064.80
1+370.00	9.56	0.00	121.55	0.00	9850.80	2064.80
1+380.00	5.34	0.00	74.50	0.00	9925.30	2064.80
1+390.00	0.17	2.54	27.55	12.70	9952.85	2077.50
1+400.00	0.00	7.44	0.85	49.90	9953.70	2127.40
1+420.00	0.00	10.47	0.00	179.10	9953.70	2306.50
1+430.00	0.39	4.95	1.95	77.10	9955.65	2383.60
1+440.00	0.07	2.35	2.30	36.50	9957.95	2420.10
1+450.00	0.00	4.21	0.35	32.80	9958.30	2452.90
1+460.00	0.00	10.96	0.00	75.85	9958.30	2528.75
1+470.00	0.00	14.40	0.00	126.80	9958.30	2655.55
1+480.00	0.00	16.29	0.00	153.45	9958.30	2809.00
1+500.00	0.00	17.82	0.00	341.10	9958.30	3150.10
1+510.00	0.00	18.68	0.00	182.50	9958.30	3332.60
1+520.00	0.00	18.69	0.00	186.85	9958.30	3519.45
1+530.00	0.00	21.51	0.00	201.00	9958.30	3720.45
1+540.00	0.10	17.49	0.50	195.00	9958.80	3915.45
1+560.00	0.00	16.08	1.00	335.70	9959.80	4251.15
1+580.00	0.00	9.47	0.00	255.50	9959.80	4506.65
1+590.00	0.00	12.08	0.00	107.75	9959.80	4614.40
1+600.00	0.56	9.12	2.80	106.00	9962.60	4720.40
1+620.00	0.00	13.63	5.60	227.50	9968.20	4947.90
1+640.00	0.00	21.64	0.00	352.70	9968.20	5300.60
1+650.00	0.00	24.90	0.00	232.70	9968.20	5533.30
1+660.00	0.00	23.71	0.00	243.05	9968.20	5776.35
1+680.00	0.18	16.25	1.80	399.60	9970.00	6175.95
1+700.00	0.47	5.33	6.50	215.80	9976.50	6391.75
1+720.00	1.06	0.04	15.30	53.70	9991.80	6445.45
1+740.00	5.75	0.00	68.10	0.40	10059.90	6445.85
1+760.00	13.77	0.00	195.20	0.00	10255.10	6445.85
1+770.00	17.54	0.00	156.55	0.00	10411.65	6445.85
1+780.00	17.88	0.00	177.10	0.00	10588.75	6445.85



1+790.00	19.22	0.00	185.50	0.00	10774.25	6445.85
1+800.00	13.67	0.00	164.45	0.00	10938.70	6445.85
1+810.00	12.31	0.00	129.90	0.00	11068.60	6445.85
1+820.00	16.10	0.00	142.05	0.00	11210.65	6445.85
1+840.00	22.56	0.00	386.60	0.00	11597.25	6445.85
1+860.00	15.45	0.00	380.10	0.00	11977.35	6445.85
1+880.00	14.02	0.00	294.70	0.00	12272.05	6445.85
1+900.00	0.32	1.71	143.40	17.10	12415.45	6462.95
1+920.00	0.00	9.12	3.20	108.30	12418.65	6571.25
1+940.00	0.00	1.75	0.00	108.70	12418.65	6679.95
1+960.00	3.07	0.95	30.70	27.00	12449.35	6706.95
1+980.00	2.68	3.87	57.50	48.20	12506.85	6755.15
1+990.00	0.00	4.16	13.40	40.15	12520.25	6795.30
2+000.00	0.00	2.00	0.00	30.80	12520.25	6826.10
2+020.00	0.00	1.33	0.00	33.30	12520.25	6859.40
2+040.00	0.44	0.54	4.40	18.70	12524.65	6878.10
2+060.00	0.00	1.60	4.40	21.40	12529.05	6899.50
2+080.00	0.52	0.27	5.20	18.70	12534.25	6918.20
2+100.00	0.62	0.66	11.40	9.30	12545.65	6927.50
2+120.00	0.04	0.85	6.60	15.10	12552.25	6942.60
2+140.00	0.07	0.90	1.10	17.50	12553.35	6960.10
2+160.00	0.04	0.61	1.10	15.10	12554.45	6975.20
2+180.00	0.12	0.35	1.60	9.60	12556.05	6984.80
2+200.00	0.93	0.00	10.50	3.50	12566.55	6988.30
2+206.60	1.620	0.00	8.41	0.00	12574.96	6988.30

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

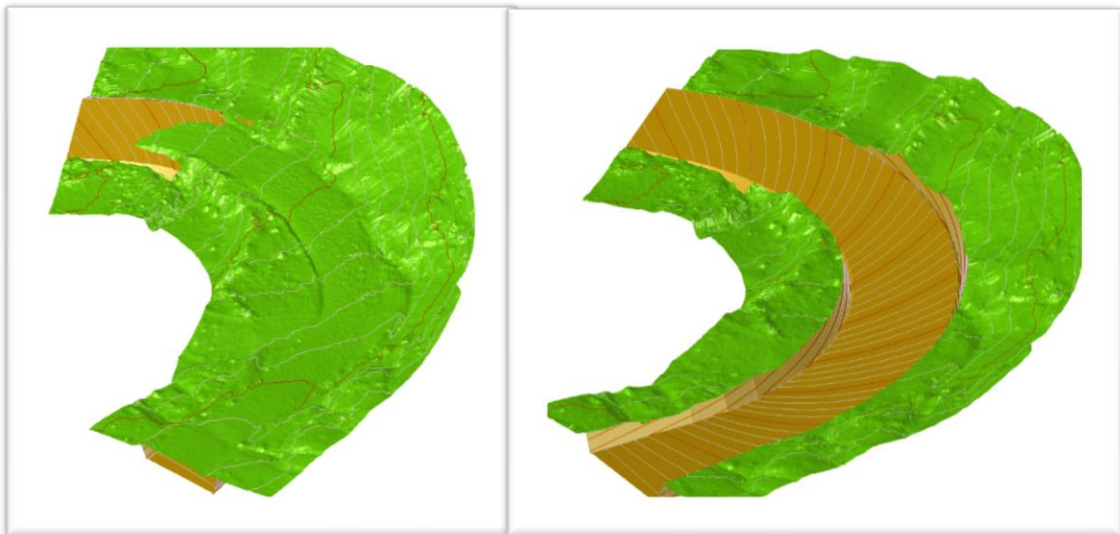
3.2.6.2 Método de diferencia de superficies

El presente método trata, en esencia, de determinación del volumen de un cuerpo geométrico en toda su expresión morfológica, a través de la diferencia de una superficie (1) menos una superficie (2). Para este caso, la primera superficie vendría a ser aquella que es obtenida de la aplicación de los parámetros de diseño geométrico constituyéndose

como la superficie de la vía proyectada y la segunda superficie vendría a ser aquella que es obtenida de la aplicación de la fotogrametría con drone, constituyéndose como superficie topográfica con drone. En la *Figura 52*. Se muestra el modelamiento 3D de un tramo antes y después de realizado la diferencia de superficies.

Figura 52:

Modelamiento de diferencia de superficies



Nota. La imagen de la izquierda representa el contraste de las superficies, denotando la necesidad de corte y relleno para llegar a la imagen de la derecha, el cual representa el resultante movimiento de tierras.

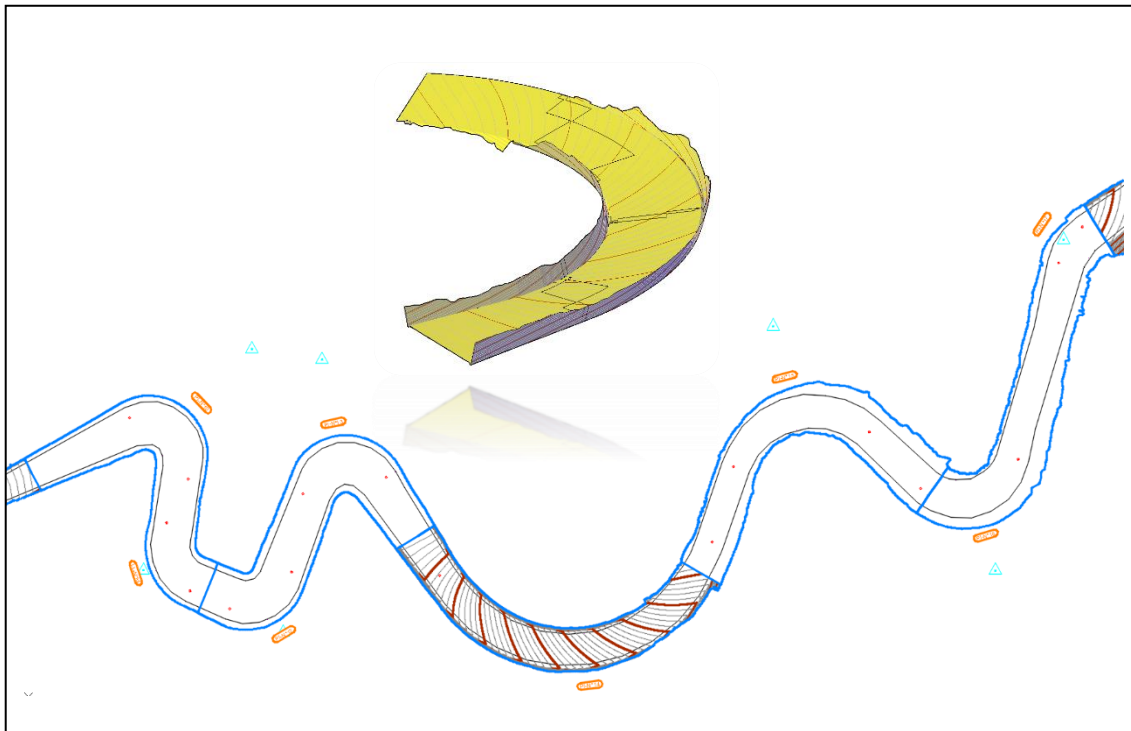
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.2.6.2.1 Obtención de volúmenes por el método de diferencia de superficies

Primero. Se realiza la actividad del segmentado de la superficie topográfica de la vía proyectada, en segmentos separados a cada 100m, es decir, del 0+000-0+100, 0+100-0+200, etc. hasta llegar al tramo final, tal como se muestra en la *Figura 53*.

Figura 53:

Segmentación de la superficie topográfica de la vía proyectada.



Nota. La imagen muestra una parte de la carretera en estudio, específicamente, de la progresiva 1+100-1+600, no obstante, se evidencia también el modelamiento 3D del segmento 1+300-1+400 de la superficie topográfica de la vía proyectada.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.


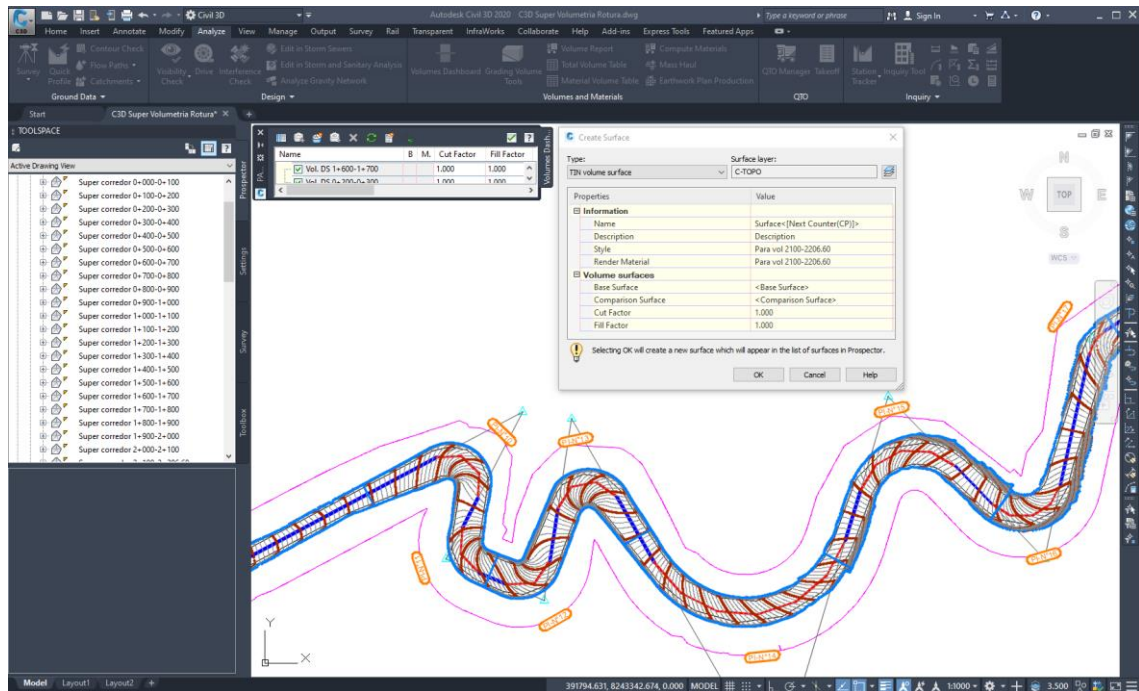
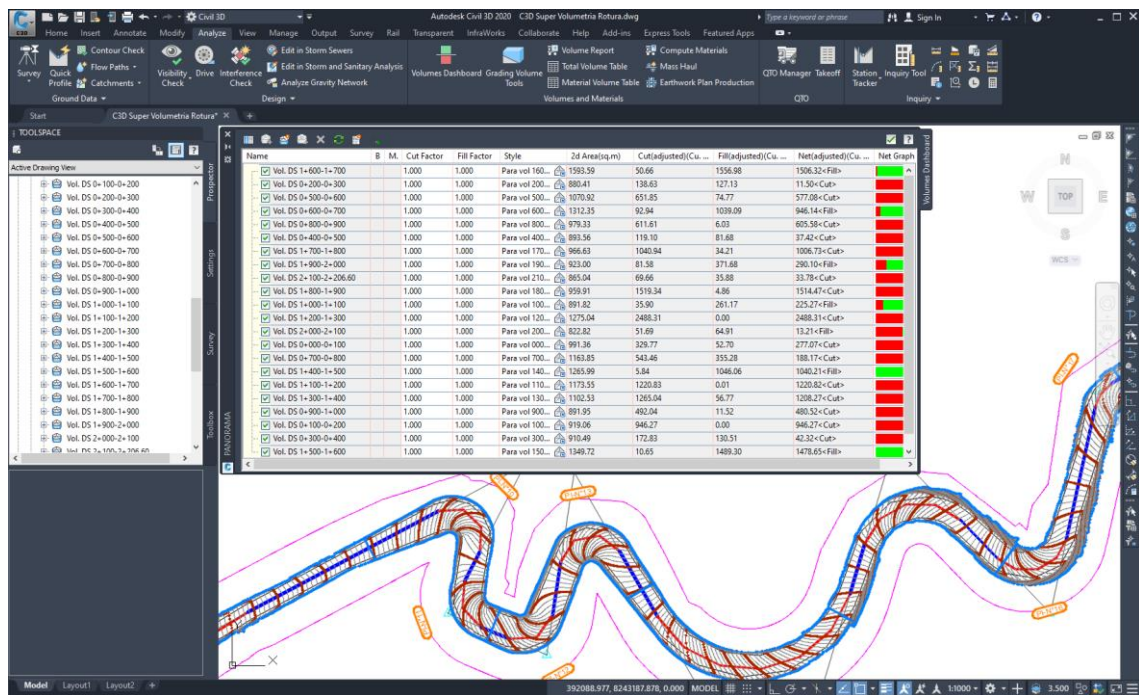
Segundo. Se procede a calcular el volumen por diferencia de superficies teniendo en cuenta el siguiente proceso en el software AutoCAD Civil 3D: click en Analyze (de ahí se despliega una ventana), luego click en el ícono  (create new volumen Surface), luego se desplegará una ventana para la configuración de las superficies como se muestra en la *Figura 54*. Luego se procede a crear la superficie de volumen segmentado, inicialmente, del 0+000 al 0+100, de la cual la superficie base (Base Surface) o superficie (2) es la superficie topográfica con drone, de otro lado, se compara (Comparison Surface) con la superficie topográfica de vía proyectada o superficie (1), se manera que se obtiene la diferencia del volumen de superficie (1)-superficie (2). Este proceso se repite para cada segmento, obteniendo los resultados como se observa en la *Figura 55*.

Figura 54:
Creación de superficie de volumen segmentado



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 55:
Representación en barras de volumen de corte y relleno.



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.


Finalmente se obtiene los reporte, por defecto del software AutoCAD civil 3D, los volúmenes de corte y relleno haciendo click en el icono  (Generate cut/fill report) esto se evidencia en la Figura 56.

Figura 56:

Reporte de volúmenes de corte y relleno, por defecto

Cut/Fill Report							
Generated:		2021-08-05 15:05:10					
By user:		WORKSTATION					
Drawing:		D:\AVANCES BTC 2021\BORRADOR DE TESIS 2021\LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DRONE\VOLUMETRIA DRONE\AVANCES BTC 2021\BORRADOR DE TESIS 2021\LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DRONE\VOLUMETRIA DRONE\C3D Super\VoluMetrica Rotura.dwg					
Volume Summary							
Name	Type	Cut Factor	Fill Factor	2d Area (sq.m)	Cut (Cu. M.)	Fill (Cu. M.)	Net (Cu. M.)
Vol. DS 0+100-0+200	fill	1.000	1.000	919.06	946.27	0.00	946.27<Cut>
Vol. DS 0+300-0+400	fill	1.000	1.000	910.49	172.83	130.51	42.32<Cut>
Vol. DS 0+500-0+600	fill	1.000	1.000	1070.92	651.85	74.77	577.08<Cut>
Vol. DS 0+700-0+800	fill	1.000	1.000	1163.85	543.46	355.28	188.17<Cut>
Vol. DS 0+900-1+000	fill	1.000	1.000	891.95	492.04	11.52	480.52<Cut>
Vol. DS 1+100-1+200	fill	1.000	1.000	1173.55	1220.83	0.01	1220.82<Cut>
Vol. DS 1+300-1+400	fill	1.000	1.000	1102.53	1265.04	56.77	1208.27<Cut>
Vol. DS 1+500-1+600	fill	1.000	1.000	1348.72	10.65	1489.30	1478.65<Fill>
Vol. DS 1+700-1+800	fill	1.000	1.000	966.63	1040.94	34.21	1006.73<Cut>
Vol. DS 1+900-2+000	fill	1.000	1.000	923.00	81.58	371.68	290.10<Fill>
Vol. DS 0+000-0+100	fill	1.000	1.000	991.36	329.77	52.70	277.07<Cut>
Vol. DS 0+200-0+300	fill	1.000	1.000	880.41	138.63	127.13	11.50<Cut>
Vol. DS 0+400-0+500	fill	1.000	1.000	893.36	119.10	81.68	37.42<Cut>
Vol. DS 0+600-0+700	fill	1.000	1.000	1312.35	92.94	1039.09	946.14<Fill>
Vol. DS 0+800-0+900	fill	1.000	1.000	979.33	611.61	6.03	605.58<Cut>
Vol. DS 1+000-1+100	fill	1.000	1.000	891.82	35.90	261.17	225.27<Fill>
Vol. DS 1+200-1+300	fill	1.000	1.000	1275.04	2488.31	0.00	2488.31<Cut>
Vol. DS 1+400-1+500	fill	1.000	1.000	1265.99	5.84	1046.06	1040.21<Fill>
Vol. DS 1+600-1+700	fill	1.000	1.000	1593.59	50.66	1556.98	1506.32<Fill>
Vol. DS 1+800-1+900	fill	1.000	1.000	959.91	1519.34	4.86	1514.47<Cut>
Vol. DS 2+000-2+100	fill	1.000	1.000	822.82	51.69	64.91	13.21<Fill>
Vol. DS 2+100-2+206.60	fill	1.000	1.000	865.04	69.66	35.88	33.78<Cut>
Totals							
				2d Area (sq.m)	Cut (Cu. M.)	Fill (Cu. M.)	Net (Cu. M.)
Total				23202.93	11938.95	6800.53	5138.42<Cut>

* Value adjusted by cut or fill factor other than 1.0

Nota. La imagen muestra un cuadro de volúmenes, por defecto, proveniente de la aplicación del método de diferencia de superficies.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Se reitera que, para la aplicación de los cálculos volumétricos por diferencia de superficies según los criterios expuestos en el presente ítem, se ha segmentado la carretera de estudio en tramos de 100.00m cada uno; en cada tramo se realizó el cálculo de volumen de corte y volumen de relleno cuyos valores se muestran en la Tabla 22.

El presente cálculo de movimiento de tierras es un método alternativo al indicado por la EG-2013, el cual es propuesto por los tesisistas, además esta forma de cálculo de



volúmenes es una herramienta con la cual ya viene implementada en software AutoCAD

Civil 3D, sería un desperdicio no aprovecharla de manera adecuada.

Tabla 22:

Cálculo de movimiento de tierras por el método de diferencia de superficies

Descripcion	Area de influencia (m2)	Volumen de corte (m3)	Volumen de Relleno (m3)
Vol. DS 0+100-0+200	919.06	946.27	0.00
Vol. DS 0+300-0+400	910.49	172.83	130.51
Vol. DS 0+500-0+600	1070.92	651.85	74.77
Vol. DS 0+700-0+800	1163.85	543.46	355.28
Vol. DS 0+900-1+000	891.95	492.04	11.52
Vol. DS 1+100-1+200	1173.55	1220.83	0.01
Vol. DS 1+300-1+400	1102.53	1265.04	56.77
Vol. DS 1+500-1+600	1349.72	10.65	1489.30
Vol. DS 1+700-1+800	966.63	1040.94	34.21
Vol. DS 1+900-2+000	923.00	81.58	371.68
Vol. DS 0+000-0+100	991.36	329.77	52.70
Vol. DS 0+200-0+300	880.41	138.63	127.13
Vol. DS 0+400-0+500	893.56	119.10	81.68
Vol. DS 0+600-0+700	1312.35	92.94	1039.09
Vol. DS 0+800-0+900	979.33	611.61	6.03
Vol. DS 1+000-1+100	891.82	35.90	261.17
Vol. DS 1+200-1+300	1275.04	2488.31	0.00
Vol. DS 1+400-1+500	1265.99	5.84	1046.06
Vol. DS 1+600-1+700	1593.59	50.66	1556.98
Vol. DS 1+800-1+900	959.91	1519.34	4.86
Vol. DS 2+000-2+100	822.82	51.69	64.91
Vol. DS 2+100-2+206.60	865.04	69.66	35.88
Total	23202.93	11938.95	6800.53

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Prueba de hipótesis

4.1.1.1 Población

Para el análisis estadístico el conjunto universo está conformado por la unión de las superficies topográficas generadas por: fotogrametría con drone, interpolación de puntos levantados con estación total y la superficie proyectada del diseño geométrico de la carretera en estudio que une la carretera Puno-Moquegua y Puno-Desaguadero desde la comunidad Mi Perú al Centro Poblado de Salcedo de la provincia de Puno que tiene una longitud de 2.2Km

4.1.1.2 Muestra

Para determinar si la superficie topográfica generada por fotogrametría con drone se aproxima a la superficie real se evalúa sus cotas obtenidas con las cotas observadas directamente con estación total, por lo que la muestra está constituida por las coordenadas de cada progresiva del alineamiento obtenido de acuerdo al diseño geométrico.

Para el cálculo de volumen de movimiento de tierras la carretera en estudio se ha particionado en tramos de 100 metros donde en cada tramo es una muestra donde se analizará los volúmenes calculados por el método de diferencia de superficies y el método de prisma de carretera, donde se determinará la diferencia absoluta de cada resultado para luego someterlo a prueba estadística

4.1.1.3 Prueba Estadística

De acuerdo al planteamiento de hipótesis se tiene una hipótesis general “*el volumen calculado del método de diferencia de superficies aplicando fotogrametría con drone representa el volumen real de movimiento de tierras en carreteras*” que depende de dos hipótesis específicas planteadas en el capítulo 1 del presente trabajo de investigación.

4.1.1.3.1 Prueba de Hipótesis Especifico 1

Según lo planteado en el capítulo 1 se buscar probar “*La superficie topográfica obtenida por fotogrametría con drone representa la superficie real de terreno*”

Para determinar si la superficie topográfica obtenida por fotogrametría con drone, se aproxima a la superficie real de terreno que se ha levantado directamente con estación total, se evalúa si las cotas de cada superficie se aproximan o su diferencia a aproxima a 0; para ello se tomará como muestra las cotas por los dos métodos en cada progresiva del alineamiento de la carretera en estudio cuyos datos se muestra en la *Tabla 23*.

Tabla 23:

Cotas de superficie topográfica por método tradicional y fotogrametría con drone

Progresiva	Cota_MT	Cota_drone	Diferencia
0+000.00	4015.2189	4015.2165	0.0024
0+020.00	4015.9475	4015.9477	-0.0002
0+030.00	4015.6945	4015.6887	0.0058
0+040.00	4015.0908	4015.0799	0.0109
0+050.00	4014.4566	4014.4728	-0.0162
0+060.00	4013.7256	4013.7213	0.0043
0+080.00	4012.412	4012.371	0.0410
0+100.00	4011.1984	4011.2257	-0.0273
0+120.00	4010.0092	4009.9971	0.0121
0+140.00	4008.4281	4008.4443	-0.0162



0+160.00	4007.049	4007.0893	-0.0403
0+180.00	4005.6761	4005.6992	-0.0231
0+200.00	4004.2536	4004.2768	-0.0232
0+220.00	4002.6177	4002.6204	-0.0027
0+230.00	4001.6706	4001.6555	0.0151
0+240.00	4000.8748	4000.8608	0.0140
0+260.00	3999.6364	3999.6473	-0.0109
0+280.00	3998.3099	3998.2943	0.0156
0+300.00	3996.6408	3996.6065	0.0343
0+320.00	3995.2406	3995.2477	-0.0071
0+340.00	3994.1911	3994.1751	0.0160
0+360.00	3993.1578	3993.169	-0.0112
0+370.00	3992.623	3992.6351	-0.0121
0+380.00	3992.0229	3992.0225	0.0004
0+390.00	3991.3737	3991.3703	0.0034
0+400.00	3990.6579	3990.6723	-0.0144
0+420.00	3988.9691	3988.9842	-0.0151
0+440.00	3987.3995	3987.4387	-0.0392
0+460.00	3985.843	3985.8686	-0.0256
0+480.00	3984.8502	3984.8645	-0.0143
0+490.00	3984.316	3984.3435	-0.0275
0+500.00	3983.7213	3983.7749	-0.0536
0+510.00	3983.1518	3983.1882	-0.0364
0+520.00	3982.57	3982.6698	-0.0998
0+540.00	3981.4929	3981.4436	0.0493
0+560.00	3980.1825	3980.1711	0.0114
0+580.00	3978.4854	3978.4865	-0.0011
0+590.00	3977.085	3977.0521	0.0329
0+600.00	3975.7123	3975.7387	-0.0264
0+620.00	3974.0031	3974.0205	-0.0174
0+640.00	3972.5718	3972.6489	-0.0771
0+660.00	3971.3408	3971.34	0.0008
0+680.00	3970.3063	3970.3712	-0.0649



0+690.00	3969.7751	3969.8422	-0.0671
0+700.00	3969.2633	3969.2706	-0.0073
0+720.00	3967.9924	3968.0176	-0.0252
0+740.00	3966.9795	3967.0155	-0.0360
0+760.00	3966.1049	3966.0912	0.0137
0+780.00	3965.3292	3965.3644	-0.0352
0+790.00	3964.7094	3964.753	-0.0436
0+800.00	3963.8108	3963.77	0.0408
0+810.00	3962.5249	3962.4758	0.0491
0+820.00	3961.0065	3960.8048	0.2017
0+830.00	3959.7751	3959.7062	0.0689
0+840.00	3958.9148	3958.8613	0.0535
0+860.00	3957.2979	3957.2164	0.0815
0+880.00	3955.4688	3955.3906	0.0782
0+900.00	3953.8081	3953.7404	0.0677
0+920.00	3951.9995	3951.9695	0.0300
0+930.00	3951.0261	3950.9507	0.0754
0+940.00	3950.0686	3949.9987	0.0699
0+960.00	3948.1233	3948.0527	0.0706
0+980.00	3945.7158	3945.6808	0.0350
1+000.00	3943.4474	3943.418	0.0294
1+020.00	3941.2465	3941.1968	0.0497
1+030.00	3940.3243	3940.2568	0.0675
1+040.00	3939.421	3939.3988	0.0222
1+060.00	3937.6375	3937.6163	0.0212
1+080.00	3936.0567	3936.057	-0.0003
1+100.00	3934.7783	3934.7777	0.0006
1+120.00	3933.2582	3933.3033	-0.0451
1+140.00	3931.5097	3931.5989	-0.0892
1+150.00	3930.2417	3930.2671	-0.0254
1+160.00	3929.3438	3929.3825	-0.0387
1+180.00	3927.7225	3927.7255	-0.0030
1+190.00	3926.6655	3926.6716	-0.0061



1+200.00	3925.851	3925.8584	-0.0074
1+210.00	3925.164	3925.148	0.0160
1+220.00	3924.3697	3924.3536	0.0161
1+230.00	3923.3969	3923.4356	-0.0387
1+240.00	3922.8662	3922.8886	-0.0224
1+260.00	3921.6422	3921.7147	-0.0725
1+270.00	3920.321	3920.4098	-0.0888
1+280.00	3918.9649	3918.9985	-0.0336
1+300.00	3916.9484	3916.9382	0.0102
1+320.00	3914.9101	3914.8882	0.0219
1+330.00	3913.5896	3913.5008	0.0888
1+340.00	3912.4463	3912.4343	0.0120
1+350.00	3911.367	3911.4085	-0.0415
1+360.00	3910.1321	3910.1768	-0.0447
1+370.00	3908.7767	3908.7597	0.0170
1+380.00	3907.3369	3907.2982	0.0387
1+390.00	3905.8262	3905.8259	0.0003
1+400.00	3904.3832	3904.3685	0.0147
1+420.00	3902.3761	3902.3848	-0.0087
1+430.00	3901.6068	3901.5908	0.0160
1+440.00	3900.6611	3900.6875	-0.0264
1+450.00	3899.5954	3899.686	-0.0906
1+460.00	3898.1548	3898.169	-0.0142
1+470.00	3896.9632	3896.9591	0.0041
1+480.00	3895.6869	3895.6129	0.0740
1+500.00	3893.6185	3893.5451	0.0734
1+510.00	3892.5679	3892.4475	0.1204
1+520.00	3891.404	3891.2855	0.1185
1+530.00	3890.2531	3890.18	0.0731
1+540.00	3889.3087	3889.2692	0.0395
1+560.00	3888.0318	3888.0167	0.0151
1+580.00	3887.1322	3887.1025	0.0297
1+590.00	3886.5835	3886.6131	-0.0296



1+600.00	3885.9482	3885.9534	-0.0052
1+620.00	3884.2497	3884.2585	-0.0088
1+640.00	3882.6005	3882.5961	0.0044
1+650.00	3881.8152	3881.8127	0.0025
1+660.00	3881.0764	3881.0608	0.0156
1+680.00	3879.7958	3879.8386	-0.0428
1+700.00	3878.7015	3878.6982	0.0033
1+720.00	3877.8413	3877.8811	-0.0398
1+740.00	3877.1321	3877.1253	0.0068
1+760.00	3876.3849	3876.3737	0.0112
1+770.00	3875.873	3875.8638	0.0092
1+780.00	3875.147	3875.3283	-0.1813
1+790.00	3874.4531	3874.4326	0.0205
1+800.00	3873.1415	3873.1235	0.0180
1+810.00	3872.2403	3872.1888	0.0515
1+820.00	3871.7514	3871.7077	0.0437
1+840.00	3870.6826	3870.7054	-0.0228
1+860.00	3867.8359	3867.81	0.0259
1+880.00	3865.973	3865.9797	-0.0067
1+900.00	3861.8977	3861.9072	-0.0095
1+920.00	3859.1294	3859.0578	0.0716
1+940.00	3857.9354	3857.9299	0.0055
1+960.00	3856.8164	3856.7652	0.0512
1+980.00	3855.0501	3854.9598	0.0903
1+990.00	3853.9627	3853.8641	0.0986
2+000.00	3853.5465	3853.5428	0.0037
2+020.00	3852.7809	3852.7598	0.0211
2+040.00	3852.11	3852.147	-0.0370
2+060.00	3851.3956	3851.4177	-0.0221
2+080.00	3850.931	3851.052	-0.1210
2+100.00	3850.1904	3850.1874	0.0030
2+120.00	3849.5459	3849.5696	-0.0237
2+140.00	3848.9374	3848.9647	-0.0273



2+160.00	3848.242	3848.2844	-0.0424
2+180.00	3847.6278	3847.6319	-0.0041
2+200.00	3847.2168	3847.3092	-0.0924

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Siguiendo el procedimiento descrito en la revisión literaria, antes de decidir el estadístico de prueba a utilizar, se evalúa si los datos de la diferencia de cotas tienen distribución normal.

A. Prueba de Normalidad para la diferencia de cotas.

1. Planteamiento de hipótesis

Se plantea la hipótesis de normalidad para la diferencia de cotas:

H_0 : La distribución de diferencia de cotas no es diferente a la distribución normal

H_1 : La distribución de diferencia de cotas es diferente a la distribución normal

2. Establecer nivel de confianza

Para esta prueba se establece un nivel de confianza del $\alpha=5\%=0.05$

3. Seleccionar estadístico de prueba

Debido a que el número de datos $N = 145 > 50$ se considera usar la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad.

4. El valor de P

Con el uso del paquete estadístico SPSS se obtiene los resultados de prueba de normalidad que se muestra en la *Tabla 24*.



Tabla 24:

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la diferencia de cotas

		Diferencia
N		145
Parámetros normales ^{a,b}	Media	.002910
	Desviación estándar	.0489351
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,098
	Positivo	,098
	Negativo	-,081
Estadístico de prueba		,098
Sig. asintótica (bilateral)		,0015 ^c

Nota. a. La distribución de prueba es normal; b. Se calcula a partir de datos; c. Corrección de significación de Lilliefors.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

El valor de $P = 0,001544 = 0.1544\%$

5. Toma de decisión

Como el p-valor es 0.1544% es menor al nivel de significancia $\alpha=5\%=0.05$, ósea ($p<\alpha$) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna:

En conclusión, con una probabilidad de error del 0.15% se acepta que la distribución de diferencia de cotas es diferente a la distribución normal

B. Prueba de hipótesis específica 1

Debidos a que la muestra no tiene distribución normal, es conveniente usar una prueba estadística no paramétrica en base a la mediana de la muestra como medida de tendencia central más representativa en muestras sin distribución normal.

1. Planteamiento de hipótesis

Se plantea la hipótesis al problema específico 1



H_0 : La diferencia de cotas de la superficie generada con dron y las cotas obtenidas con estación total en cada progresiva es nula

$$H_0: X = 0$$

H_1 : La diferencia de cotas de la superficie generada con dron y las cotas obtenidas con estación total en cada progresiva es significativa.

$$H_1: X \neq 0$$

2. Establecer nivel de confianza

Para esta prueba se establece un nivel de confianza del $\alpha=5\%=0.05$

3. Seleccionar estadístico de prueba

Se aplicará la prueba estadística a la diferencia de cotas y verificar que estos datos se aproximan a 0; con ayuda del paquete estadístico SPSS se obtiene: Se elige la Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra, donde el proceso se muestra en la *Tabla 25*.

Tabla 25:

Tabla de cálculo de rangos con signo de Wilcoxon

Progresiva	Cota_MT	Cota_dron	Diferencia	Abs(Dif)	Rangos
0+020.00	4015.9475	4015.9477	-0.0002	0.000200	1
1+080.00	3936.0567	3936.057	-0.0003	0.000300	2
1+390.00	3905.8262	3905.8259	0.0003	0.000300	3
0+380.00	3992.0229	3992.0225	0.0004	0.000400	4
1+100.00	3934.7783	3934.7777	0.0006	0.000600	5
0+660.00	3971.3408	3971.34	0.0008	0.000800	6
0+580.00	3978.4854	3978.4865	-0.0011	0.001100	7
0+000.00	4015.2189	4015.2165	0.0024	0.002400	8
1+650.00	3881.8152	3881.8127	0.0025	0.002500	9
0+220.00	4002.6177	4002.6204	-0.0027	0.002700	10
1+180.00	3927.7225	3927.7255	-0.0030	0.003000	11.5
2+100.00	3850.1904	3850.1874	0.0030	0.003000	11.5



1+700.00	3878.7015	3878.6982	0.0033	0.003300	13
0+390.00	3991.3737	3991.3703	0.0034	0.003400	14
2+000.00	3853.5465	3853.5428	0.0037	0.003700	15
2+180.00	3847.6278	3847.6319	-0.0041	0.004100	16
1+470.00	3896.9632	3896.9591	0.0041	0.004100	17
0+060.00	4013.7256	4013.7213	0.0043	0.004300	18
1+640.00	3882.6005	3882.5961	0.0044	0.004400	19
1+600.00	3885.9482	3885.9534	-0.0052	0.005200	20
1+940.00	3857.9354	3857.9299	0.0055	0.005500	21
0+030.00	4015.6945	4015.6887	0.0058	0.005800	22
1+190.00	3926.6655	3926.6716	-0.0061	0.006100	23
1+880.00	3865.973	3865.9797	-0.0067	0.006700	24
1+740.00	3877.1321	3877.1253	0.0068	0.006800	25
0+320.00	3995.2406	3995.2477	-0.0071	0.007100	26
0+700.00	3969.2633	3969.2706	-0.0073	0.007300	27
1+200.00	3925.851	3925.8584	-0.0074	0.007400	28
1+420.00	3902.3761	3902.3848	-0.0087	0.008700	29
1+620.00	3884.2497	3884.2585	-0.0088	0.008800	30
1+770.00	3875.873	3875.8638	0.0092	0.009200	31
1+900.00	3861.8977	3861.9072	-0.0095	0.009500	32
1+300.00	3916.9484	3916.9382	0.0102	0.010200	33
0+040.00	4015.0908	4015.0799	0.0109	0.010900	34
0+260.00	3999.6364	3999.6473	-0.0109	0.010900	35
0+360.00	3993.1578	3993.169	-0.0112	0.011200	36.5
1+760.00	3876.3849	3876.3737	0.0112	0.011200	36.5
0+560.00	3980.1825	3980.1711	0.0114	0.011400	38
1+340.00	3912.4463	3912.4343	0.0120	0.012000	39
0+120.00	4010.0092	4009.9971	0.0121	0.012100	40.5
0+370.00	3992.623	3992.6351	-0.0121	0.012100	40.5
0+760.00	3966.1049	3966.0912	0.0137	0.013700	42
0+240.00	4000.8748	4000.8608	0.0140	0.014000	43
1+460.00	3898.1548	3898.169	-0.0142	0.014200	44
0+480.00	3984.8502	3984.8645	-0.0143	0.014300	45



0+400.00	3990.6579	3990.6723	-0.0144	0.014400	46
1+400.00	3904.3832	3904.3685	0.0147	0.014700	47
0+230.00	4001.6706	4001.6555	0.0151	0.015100	49
0+420.00	3988.9691	3988.9842	-0.0151	0.015100	49
1+560.00	3888.0318	3888.0167	0.0151	0.015100	49
1+660.00	3881.0764	3881.0608	0.0156	0.015600	51
0+280.00	3998.3099	3998.2943	0.0156	0.015600	52
0+340.00	3994.1911	3994.1751	0.0160	0.016000	54
1+210.00	3925.164	3925.148	0.0160	0.016000	54
1+430.00	3901.6068	3901.5908	0.0160	0.016000	54
1+220.00	3924.3697	3924.3536	0.0161	0.016100	56
0+050.00	4014.4566	4014.4728	-0.0162	0.016200	57.5
0+140.00	4008.4281	4008.4443	-0.0162	0.016200	57.5
1+370.00	3908.7767	3908.7597	0.0170	0.017000	59
0+620.00	3974.0031	3974.0205	-0.0174	0.017400	60
1+800.00	3873.1415	3873.1235	0.0180	0.018000	61
1+790.00	3874.4531	3874.4326	0.0205	0.020500	62
2+020.00	3852.7809	3852.7598	0.0211	0.021100	63
1+060.00	3937.6375	3937.6163	0.0212	0.021200	64
1+320.00	3914.9101	3914.8882	0.0219	0.021900	65
2+060.00	3851.3956	3851.4177	-0.0221	0.022100	66
1+040.00	3939.421	3939.3988	0.0222	0.022200	67
1+240.00	3922.8662	3922.8886	-0.0224	0.022400	68
1+840.00	3870.6826	3870.7054	-0.0228	0.022800	69
0+180.00	4005.6761	4005.6992	-0.0231	0.023100	70
0+200.00	4004.2536	4004.2768	-0.0232	0.023200	71
2+120.00	3849.5459	3849.5696	-0.0237	0.023700	72
0+720.00	3967.9924	3968.0176	-0.0252	0.025200	73
1+150.00	3930.2417	3930.2671	-0.0254	0.025400	74
0+460.00	3985.843	3985.8686	-0.0256	0.025600	75
1+860.00	3867.8359	3867.81	0.0259	0.025900	76
0+600.00	3975.7123	3975.7387	-0.0264	0.026400	77
1+440.00	3900.6611	3900.6875	-0.0264	0.026400	78



0+100.00	4011.1984	4011.2257	-0.0273	0.027300	79
2+140.00	3848.9374	3848.9647	-0.0273	0.027300	80
0+490.00	3984.316	3984.3435	-0.0275	0.027500	81
1+000.00	3943.4474	3943.418	0.0294	0.029400	82
1+590.00	3886.5835	3886.6131	-0.0296	0.029600	83
1+580.00	3887.1322	3887.1025	0.0297	0.029700	84
0+920.00	3951.9995	3951.9695	0.0300	0.030000	85
0+590.00	3977.085	3977.0521	0.0329	0.032900	86
1+280.00	3918.9649	3918.9985	-0.0336	0.033600	87
0+300.00	3996.6408	3996.6065	0.0343	0.034300	88
0+980.00	3945.7158	3945.6808	0.0350	0.035000	89
0+780.00	3965.3292	3965.3644	-0.0352	0.035200	90
0+740.00	3966.9795	3967.0155	-0.0360	0.036000	91
0+510.00	3983.1518	3983.1882	-0.0364	0.036400	92
2+040.00	3852.11	3852.147	-0.0370	0.037000	93
1+230.00	3923.3969	3923.4356	-0.0387	0.038700	94.5
1+380.00	3907.3369	3907.2982	0.0387	0.038700	94.5
1+160.00	3929.3438	3929.3825	-0.0387	0.038700	96
0+440.00	3987.3995	3987.4387	-0.0392	0.039200	97
1+540.00	3889.3087	3889.2692	0.0395	0.039500	98
1+720.00	3877.8413	3877.8811	-0.0398	0.039800	99
0+160.00	4007.049	4007.0893	-0.0403	0.040300	100
0+800.00	3963.8108	3963.77	0.0408	0.040800	101
0+080.00	4012.412	4012.371	0.0410	0.041000	102
1+350.00	3911.367	3911.4085	-0.0415	0.041500	103
2+160.00	3848.242	3848.2844	-0.0424	0.042400	104
1+680.00	3879.7958	3879.8386	-0.0428	0.042800	105
0+790.00	3964.7094	3964.753	-0.0436	0.043600	106
1+820.00	3871.7514	3871.7077	0.0437	0.043700	107
1+360.00	3910.1321	3910.1768	-0.0447	0.044700	108
1+120.00	3933.2582	3933.3033	-0.0451	0.045100	109
0+810.00	3962.5249	3962.4758	0.0491	0.049100	110
0+540.00	3981.4929	3981.4436	0.0493	0.049300	111



1+020.00	3941.2465	3941.1968	0.0497	0.049700	112
1+960.00	3856.8164	3856.7652	0.0512	0.051200	113
1+810.00	3872.2403	3872.1888	0.0515	0.051500	114
0+840.00	3958.9148	3958.8613	0.0535	0.053500	115
0+500.00	3983.7213	3983.7749	-0.0536	0.053600	116
0+680.00	3970.3063	3970.3712	-0.0649	0.064900	117
0+690.00	3969.7751	3969.8422	-0.0671	0.067100	118
1+030.00	3940.3243	3940.2568	0.0675	0.067500	119
0+900.00	3953.8081	3953.7404	0.0677	0.067700	120
0+830.00	3959.7751	3959.7062	0.0689	0.068900	121
0+940.00	3950.0686	3949.9987	0.0699	0.069900	122
0+960.00	3948.1233	3948.0527	0.0706	0.070600	123
1+920.00	3859.1294	3859.0578	0.0716	0.071600	124
1+260.00	3921.6422	3921.7147	-0.0725	0.072500	125
1+530.00	3890.2531	3890.18	0.0731	0.073100	126
1+500.00	3893.6185	3893.5451	0.0734	0.073400	127
1+480.00	3895.6869	3895.6129	0.0740	0.074000	128
0+930.00	3951.0261	3950.9507	0.0754	0.075400	129
0+640.00	3972.5718	3972.6489	-0.0771	0.077100	130
0+880.00	3955.4688	3955.3906	0.0782	0.078200	131
0+860.00	3957.2979	3957.2164	0.0815	0.081500	132
1+270.00	3920.321	3920.4098	-0.0888	0.088800	133.5
1+330.00	3913.5896	3913.5008	0.0888	0.088800	133.5
1+140.00	3931.5097	3931.5989	-0.0892	0.089200	135
1+980.00	3855.0501	3854.9598	0.0903	0.090300	136
1+450.00	3899.5954	3899.686	-0.0906	0.090600	137
2+200.00	3847.2168	3847.3092	-0.0924	0.092400	138
1+990.00	3853.9627	3853.8641	0.0986	0.098600	139
0+520.00	3982.57	3982.6698	-0.0998	0.099800	140
1+520.00	3891.404	3891.2855	0.1185	0.118500	141
1+510.00	3892.5679	3892.4475	0.1204	0.120400	142
2+080.00	3850.931	3851.052	-0.1210	0.121000	143
1+780.00	3875.147	3875.3283	-0.1813	0.181300	144

0+820.00	3961.0065	3960.8048	0.2017	0.201700	145
----------	-----------	-----------	--------	----------	-----

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Suma de rangos positivos: $W(+) = 5560.5$

Suma de rangos negativos: $W(-) = 5024.5$

Cálculo del Valor de Wilcoxon: $W = \min[W(+), W(-)] = 5024.5$

Cálculo del valor de Z estandarizado para una prueba de Wilcoxon:

$$Z = \frac{W - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{12}}} \approx N(0,1)$$

$$Z = -0.374040$$

Según la tabla Z el valor crítico de una prueba de 2 colas para un nivel de significancia de 5% es $Z_{1-\alpha/2} = 1.9600$

Se observa: $|Z| < Z_{1-\alpha/2}$ $0.374040 < 1.9600$

4. Decisión de prueba de hipótesis

El valor de Z calculado cae en la región de aceptación de la hipótesis nula lo cual se puede corroborar en la *Figura 57*.

Figura 57:

Reporte de prueba de hipótesis específico 1

Resumen de contrastes de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de Diferencia es igual a 0.0000.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	.597	Conserve la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

Nota: Obtenido del procesamiento de datos con IBM SPSS v23.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.



4.1.1.3.2 Prueba de hipótesis específico 2

De acuerdo al planteamiento de hipótesis específico 2:

“Existe considerable diferencia entre el volumen de movimiento de tierra calculado por el método de diferencia de superficies y el método de prisma de carreteras sugerido por la EG-2013”

El volumen de movimiento de tierras está determinado por el volumen de corte y el volumen de relleno, por lo que se analizará de forma separada cada caso.

A continuación, en la *Tabla 26* se observa el conjunto de datos de volumen de corte y volumen de relleno obtenido por los dos diferentes métodos en estudio para cada muestra, donde se analizará y someterá a prueba estadística las diferencias absolutas calculadas para cada tramo.

Tabla 26:

Tabla de datos para determinar la diferencia de volumen de movimiento de tierras

Tramo	POR DIFERENCIA DE SUPERFICIES											
	METODO TRADICIONAL				Diferencia de Volumen de Corte				Diferencia de Volumen de Relleno			
	Volumen de corte (m3)	Volumen de Relleno (m3)	Volumen de corte (m3)	Volumen de Relleno (m3)	Diferencia de Corte	Diferencia Absoluta	Diferencia de Corte	Diferencia Absoluta	Diferencia de Relleno	Diferencia Absoluta	Diferencia de Relleno	Diferencia Absoluta
0+000-0+100	346.40	38.30	329.77	52.70	-16.63	16.63	101.47	101.47	16.63	14.40	0.00	14.40
0+100-0+200	844.80	0.00	946.27	0.00	101.47	101.47	22.43	22.43	101.47	0.00	0.00	0.00
0+200-0+300	116.20	136.70	138.63	127.13	22.43	22.43	28.13	28.13	22.43	-9.57	-9.57	9.57
0+300-0+400	144.70	145.30	172.83	130.51	28.13	28.13	16.10	16.10	28.13	-14.79	-14.79	14.79
0+400-0+500	103.00	65.70	119.10	81.68	16.10	16.10	-13.10	13.10	16.10	15.98	15.98	15.98
0+500-0+600	664.95	66.70	651.85	74.77	-13.10	13.10	1039.09	1039.09	27.21	57.44	57.44	57.44
0+600-0+700	120.15	981.65	92.94	355.28	-27.21	27.21	355.28	355.28	18.49	-15.02	-15.02	15.02
0+700-0+800	561.95	370.30	543.46	6.03	-18.49	18.49	6.03	6.03	158.29	2.53	2.53	2.53
0+800-0+900	769.90	3.50	611.61	11.52	-36.51	36.51	11.52	11.52	36.51	-0.48	-0.48	0.48
0+900-1+000	528.55	12.00	492.04	261.17	-17.50	17.50	261.17	261.17	17.50	16.52	16.52	16.52
1+000-1+100	53.40	244.65	35.90	0.00	-261.62	261.62	0.00	0.00	261.62	0.00	0.00	0.00
1+100-1+200	1482.45	0.00	1220.83	0.00	-441.69	441.69	0.00	0.00	441.69	0.00	0.00	0.00
1+200-1+300	2930.00	0.00	2488.31	56.77	-22.21	22.21	56.77	56.77	22.21	-5.83	-5.83	5.83
1+300-1+400	1287.25	62.60	1265.04	1046.06	1.24	1.24	1046.06	1046.06	1.24	23.36	23.36	23.36
1+400-1+500	4.60	1022.70	5.84									

1+500-1+600	4.30	1570.30	10.65	1489.30	6.35	-81.00	81.00
1+600-1+700	13.90	1671.35	50.66	1556.98	36.76	-114.37	114.37
1+700-1+800	962.20	54.10	1040.94	34.21	78.74	-19.89	19.89
1+800-1+900	1476.75	17.10	1519.34	4.86	42.59	-12.24	12.24
1+900-2+000	104.80	363.15	81.58	371.68	-23.22	8.53	8.53
2+000-2+100	25.40	101.40	51.69	64.91	26.29	-36.49	36.49
2+100-2+206.60	29.31	60.80	69.66	35.88	40.35	-24.92	24.92

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

A continuación, se realiza una exploración descriptiva de datos, para el cual hace uso del paquete estadístico IBM SPSS STATISTICS Versión 23, obteniendo los resultados para volumen de corte como se muestra en la *Tabla 27* y para volumen de relleno como se presenta en la *Tabla 28*.



Tabla 27:

Exploración descriptiva de datos de volumen de corte

			Estadístico	Error estándar	
		Media	65.3145	21.94628	
DC_Abs (Diferencia absoluta de Volumen de Corte)	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	19.6748		
		Límite superior	110.9543		
		Media recortada al 5%	48.8481		
		Mediana	26.7500		
		Varianza	10596,060		
		Desviación estándar	102.93716		
		Mínimo	1.24		
		Máximo	441.69		
		Rango	440.45		
		Rango intercuartil	34.35		
		Asimetría	2,891	,491	
		Curtosis	8,776	,953	
	Diferencia_Corte		Media	-28.9100	25.39650
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-81.7249	
Límite superior			23.9049		
		Media recortada al 5%	-14.0158		
		Mediana	-5.9300		
		Varianza	14189,604		
		Desviación estándar	119.12013		
		Mínimo	-441.69		
		Máximo	101.47		
		Rango	543.16		
	Rango intercuartil	54.50			
	Asimetría	-2,479	,491		



		Curtosis	6,838	,953
		Media	571.5891	153.58117
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	252.1996 890.9786
VC_MT		Media recortada al 5%	479.3917	
Volumen de corte por método tradicional o método prismático		Mediana	245.5500	
		Varianza	518917,842	
		Desviación estándar	720.35952	
		Mínimo	4.30	
		Máximo	2,930.00	
		Rango	2,925.70	
		Rango intercuartil	826.77	
		Asimetría	1,904	,491
		Curtosis	4,373	,953
		Media	542.6791	136.64242
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	258.5156 826.8426
VC_DS		Media recortada al 5%	469.2824	
Volumen de Corte obtenido por diferencia de superficies		Mediana	251.3000	
		Varianza	410765,326	
		Desviación estándar	640.90976	
		Mínimo	5.84	
		Máximo	2,488.31	
		Rango	2,482.47	
		Rango intercuartil	904.77	
		Asimetría	1,593	,491
		Curtosis	2,672	,953



Tabla 28:

Exploración descriptiva de datos de volumen de relleno

		Estadístico	Error estándar	
DR_Abs (Diferencia absoluta de Volumen de relleno)	Media	21.8832	6.04803	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	9.3056	
		Límite superior	34.4607	
	Media recortada al 5%	18.1293		
	Mediana	14.5950		
	Varianza	804,731		
	Desviación estándar	28.36777		
	Mínimo	.00		
	Máximo	114.37		
	Rango	114.37		
	Rango intercuartil	18.75		
	Asimetría	2,258	,491	
	Curtosis	5,158	,953	
	Diferencia_Relleno	Media	-8.5350	7.47752
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	-24.0854	
		Límite superior	7.0154	
Media recortada al 5%		-6.3170		
Mediana		-.2400		
Varianza		1230,093		
Desviación estándar		35.07268		
Mínimo		-114.37		
Máximo		57.44		
Rango		171.81		
Rango intercuartil	26.24			
Asimetría	-1,480	,491		



		Curtosis	3,850	,953
		Media	317.6500	108.60319
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	91.7973	
		Límite superior	543.5027	
		Media recortada al 5%	260.6020	
		Mediana	66.2000	
VR_MT		Varianza	259482,340	
		Desviación estándar	509.39409	
		Mínimo	.00	
		Máximo	1,671.35	
		Rango	1,671.35	
		Rango intercuartil	349.11	
		Asimetría	1,894	,491
		Curtosis	2,499	,953
		Media	309.1150	105.11698
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	90.5123	
		Límite superior	527.7177	
		Media recortada al 5%	257.3040	
		Mediana	69.8400	
VR_DS		Varianza	243090,738	
		Desviación estándar	493.04233	
		Mínimo	.00	
		Máximo	1,556.98	
		Rango	1,556.98	
		Rango intercuartil	349.23	
		Asimetría	1,783	,491
		Curtosis	1,912	,953

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.



A. Prueba de normalidad para cada variable.

Se plantea la hipótesis de normalidad para cada una de las variables:

1. Planteamiento de hipótesis

H_0 : La distribución de la Variable no es diferente a la distribución normal

H_1 : La distribución de la Variable es diferente a la distribución normal

2. Establecer nivel de confianza

Se evaluará con un nivel de significancia $\alpha = 5\% = 0.05$

3. Selección del estadístico de prueba

Para la prueba de normalidad se tiene dos métodos conocidos Test de Shapiro-Wilk lo cual es recomendado para muestras pequeñas ($n < 50$) y Test de Kolmogorov-Smirnov recomendado para muestras grandes ($n > 50$); para nuestro caso usaremos la prueba de Shapiro-Wilk, el cual se realizará con el paquete SPSS cuyo resultado se muestra en la *Tabla 29*.

4. El valor de P

Tabla 29:

Pruebas de normalidad para análisis de diferencia de volúmenes de corte y relleno

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	o			o		
DC_Abs	,360	22	,000	,576	22	,000
DR_Abs	,276	22	,000	,711	22	,000
Diferencia_Corte	,338	22	,000	,699	22	,000
Diferencia_Relleno	,199	22	,023	,853	22	,004
VC_MT	,223	22	,006	,774	22	,000

VR_MT	,314	22	,000	,653	22	,000
VC_DS	,218	22	,008	,804	22	,001
VR_DS	,323	22	,000	,655	22	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 30:

Resumen de contraste de distribución normal

	SW Calculado	Grados de Libertad	P-valor	Decisión	
				Si ($p < \alpha$) Se rechaza H0	Conclusión
DC_Abs	0,576	22	0,000	Se rechaza H0	Sin Distribución Normal
DR_Abs	0,711	22	0,000	Se rechaza H0	Sin Distribución Normal
Diferencia_Corte	0,699	22	0,000	Se rechaza H0	Sin Distribución Normal
Diferencia_Relle no	0,853	22	0,004	Se rechaza H0	Sin Distribución Normal
VC_MT	0,774	22	0,000	Se rechaza H0	Sin Distribución Normal
VR_MT	0,653	22	0,000	Se rechaza H0	Sin Distribución Normal
VC_DS	0,804	22	0,001	Se rechaza H0	Sin Distribución Normal
VR_DS	0,655	22	0,000	Se rechaza H0	Sin Distribución Normal

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Como se observa en *Tabla 30* ninguna de las variables tiene distribución normal por lo que se realizará prueba estadística no paramétrica al no cumplir con las condiciones de normalidad, Donde DC_Abs es la diferencia de volumen de corte absoluto y DR_Abs expresa la diferencia de volumen de relleno absoluto, los cuales serán los parámetros a analizar para determinar la diferencia o similitud de los volúmenes de corte y relleno

B. Prueba de hipótesis específico 2.

Según se ha planteado la hipótesis específica 2 en el capítulo 1: “Existe considerable diferencia entre el volumen de movimiento de tierra calculado por el método de diferencia de superficies y el método de prisma de carreteras sugerido por la EG-2013.”

1. Planteamiento de hipótesis

Se plantea la hipótesis al problema específico 2

H₀: La diferencia absoluta del volumen de corte y relleno obtenido por diferencia de superficies y el volumen de corte y relleno por el método tradicional es nula

$$H_0: d_{vc} = 0 \wedge d_{vr} = 0$$

H₁: La diferencia absoluta del volumen de corte y relleno obtenido por diferencia de superficies y el volumen de corte y relleno por el método tradicional es significativa

$$H_1: d_{vc} \neq 0 \vee d_{vr} \neq 0$$

2. Establecer nivel de confianza

Se evaluará con un nivel de significancia $\alpha = 5\% = 0.05$

3. Selección del estadístico de prueba

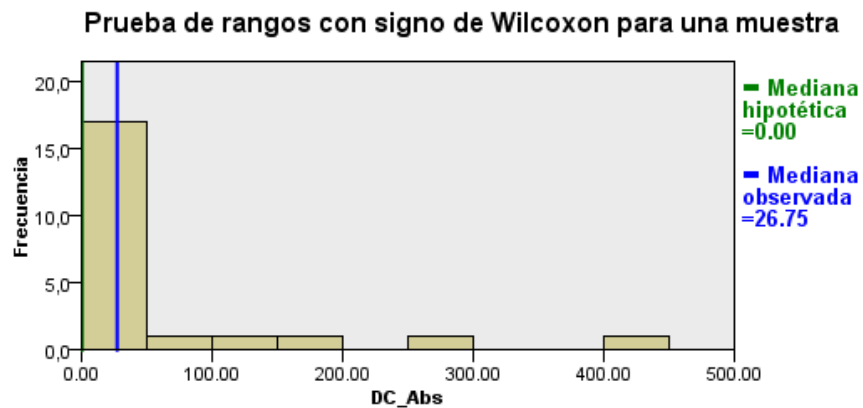
Se realiza una prueba de rangos con signo de Wilcoxon para la diferencia absoluta de Volumen de corte (DC_Abs) como se muestra en la Figura 58.

4. El valor de P

El p-valor en la Figura 58 y Figura 59 se muestra como Significación asintótica (Prueba bilateral) que para el caso de volumen de corte es 0.000 y para el volumen de relleno es 0.000

Figura 58:

Reporte de prueba de hipótesis para la diferencia absoluta de volumen de corte



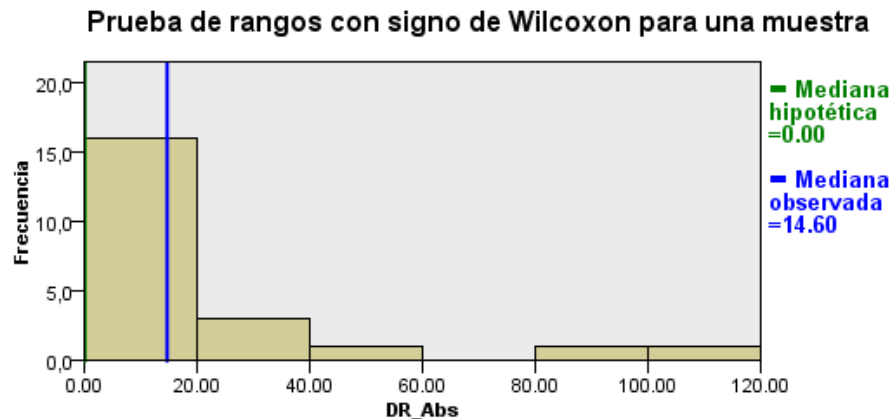
N total	22
Estadístico de prueba	253,000
Error estándar	30,802
Estadístico de prueba estandarizado	4,107
Significación asintótica (prueba bilateral)	,000

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Se realiza una prueba de rangos con signo de Wilcoxon para la diferencia absoluta de Volumen de relleno (DR_Abs).

Figura 59:

Reporte de prueba de hipótesis para la diferencia de volumen de relleno



N total	22
Estadístico de prueba	190,000
Error estándar	24,850
Estadístico de prueba estandarizado	3,823
Significación asintótica (prueba bilateral)	,000

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

5. Decisión

Debido a que el p-valor es menor al nivel de significancia $\alpha=0.05$, hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula, por lo que se decide conservar la hipótesis alterna como se muestra en la Figura 60 para el caso de Volumen de Corte y Volumen de relleno.

Figura 60:

Reporte de contraste de hipótesis para la diferencia absoluta de volumen de corte y relleno

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de DC_Abs es igual a 0.00.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechace la hipótesis nula.
2	La mediana de DR_Abs es igual a 0.00.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra	,000	Rechace la hipótesis nula.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.2 Interpretación de resultados

De la *Figura 57* se interpreta con un nivel de confianza del 95% existe evidencia estadística que la diferencia de cotas de la superficie generada con Drone y las cotas obtenidas con estación total en cada progresiva es igual a 0, en consecuencia, se demuestra que la superficie generada con fotogrametría con drone es igual a la superficie real de terreno debido a que la diferencia de las cotas entre ambas superficies es prácticamente nula.

Según la *Figura 60*, el volumen de corte y relleno obtenido por diferencia de superficies y el volumen de corte y relleno por el método tradicional presenta diferencia significativa, en consecuencia, el volumen calculado por el método prismático sugerido por la EG-2013 no representa el volumen real de movimiento de tierras con lo que se afirma que el volumen de movimiento de tierras calculado por diferencia de superficies difiere considerablemente con el volumen calculado por prisma de carreteras actualmente



usado en los proyectos de inversión de carreteras debido a que así esta normado en el manual de carreteras: Especificaciones técnicas para la construcción EG-2013.

Se ha observado casos de diferencia de volumen de corte tan pequeños como en el tramo 1+400 al 1+500 donde la diferencia de corte es de 1.24m^3 y casos de grandes diferencias de volúmenes de corte como lo observado en el tramo 1+200 al 1+300 de 441.69m^3 que afectarían en el cálculo de los presupuestos de forma más significativa.

De manera similar se observa en la diferencia de volumen de relleno en el tramo 0+900 a 1+000 que es tan insignificante de 0.48m^3 y casos de diferencias tan considerables 114.37m^3 observado en el tramo 1+600 al 1+700.

Estas observaciones nos indican que hay mucha variabilidad de diferencia de volúmenes de corte y relleno, donde se han podido identificar que existe mayor diferencia en tramos donde se presenta más curvas y ondulaciones y la diferencia de volumen de movimiento de tierras es menor en tramos rectos y llanos.

4.1.3 Limitaciones del método fotogramétrico con drone

Existen ciertas restricciones para la aplicación del método de la fotogrametría con drone, a continuación, se menciona algunas que consideramos importantes:

- El uso del método de fotogrametría con drone se limita a terrenos en campos abiertos, libres de vegetación densa, es decir, que para zonas de selva este método no garantiza la precisión requerida para un cálculo adecuado de movimiento de tierras.



- De acuerdo a las características físicas del dron, en el Perú el Ministerio de Transportes y Comunicaciones regula el uso y las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia según la Ley 30740.
- La fotogrametría con dron se limita, en su aplicación, a personal técnico especializado conocedor de los fundamentos básicos de la Geodesia, cartografía y demás disciplinas aparte de la Topografía, esto con la finalidad de garantizar un correcto y preciso levantamiento fotogramétrico.
- La fotogrametría con dron, tiene limitaciones en la clasificación de la nube de puntos densa generada cuando se tiene presencia de los distintos elementos existentes en un catastro, tales como: viviendas, vehículos, portes, etc. Es decir, no se tiene un software de alta precisión que clasifique dichos puntos con alta precisión, cabe resaltar que este proceso importante dado que, a partir de estos puntos es que se genera la superficie topográfica.
- La fotogrametría con dron presenta limitaciones, en su aplicación, al momento de generar superficie topográfica en formato xml propio del AutoCAD Civil 3D a partir de la nube de puntos densa, toda vez que la cantidad de estos puntos excede la capacidad de procesamiento de puntos del software Autocad civil 3d (25 millones).
- También presenta limitaciones para la persona natural o entidad que solicita el producto dado que éste no cuenta con una computadora de características superiores para la verificación de los entregables de los distintos trabajos.



4.2 DISCUSIÓN

Cuenca Granados (2021), en su análisis y comparación técnica entre la aerofotogrametría con drone respecto al método tradicional con estación total concluye que existe una diferencia significativa entre ambas técnicas, siendo el levantamiento aerofotogramétrico con drone menos preciso que el levantamiento con estación total. Sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos, se demuestra con un nivel de confianza del 95%, que la superficie topográfica generada por fotogrametría con drone es igual a la superficie real de terreno en toda su expresión morfológica dado que la técnica de la fotogrametría con drone proporciona varios millones de puntos mientras que el método tradicional con estación total proporciona solo miles de puntos, por lo que, no es verdad que un levantamiento fotogramétrico sea menos preciso que un levantamiento topográfico con estación total. Por otro lado cabe mencionar que, Santamaria Sandoval (2019) indica que a través de la topografía realizada con drone se genera el relieve del terreno de calidad; Ayala Valdivia (2018) indica que ambos equipos de topografía como el drone DJI Phantom 4 pro y la estación total, resultan iguales en un levantamiento topográfico con un 95% de nivel de confianza estadística; Sodano y Pari (2018) concluyen que con UAV se puede conseguir millones de puntos del terreno y muy por el contrario con el método tradicional apenas se puede conseguir mil puntos diarios; Tacca (2015) concluye que los datos obtenidos en campo tomados con drone y las medidas obtenidas con la estación total, ambos equipos georreferenciados, tienen resultados muy similares con un nivel de confianza de un 95% y Jiménez et al (2019) concluye que los datos obtenidos con drone y las medidas con estación total presentan resultados similares, sin embargo afirma que el método de drone es más viable por su versatilidad y sus ventajas respecto a tiempos y costos minimizando el riesgo laboral para el personal técnico. Las



investigaciones expuestas anteriormente respaldan los resultados de la presente investigación.

Según Mamani y Platero (2021) indican que se ha comprobado estadísticamente, por el método de coeficiente de correlación de Pearson, que 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, es aproximadamente perfecta entre los dos métodos y que la diferencia en precisión es mínima. Sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos respecto a la hipótesis 2, se demuestra que el volumen de corte y relleno obtenido por el método de diferencia de superficies aplicando fotogrametría con drone y el volumen de corte y relleno por el método de prisma de carretera basado en el método tradicional presenta diferencia significativa, por lo que, no es correcto afirmar que el cálculo de movimiento de tierras basados en superficies topográficas obtenidas por fotogrametría con drone o método tradicional con estación total presentan resultados aproximadamente perfectos o que tienen mínima diferencia, sin antes restringir las aplicaciones de cada método. Además, cabe mencionar que Mamani y Platero (2021) sometieron a las superficies topográficas obtenidas (con drone y método tradicional) a un cálculo de volúmenes en función al método de prisma de carretera, considerando que ya se ha demostrado que tanto uno u otro método de obtención de superficie topográfica es igual en precisión, entonces natural que los resultados en volumen sean similares, sin embargo, ello no implica que la forma de cálculo de volumen sea la correcta

Teniendo en cuenta la superficie generada por fotogrametría con drone representa la Superficie real tal como se demuestra con la prueba de hipótesis específica 1 y que el volumen de movimiento de tierras obtenido por el método de diferencia de superficies



aplicando fotogrametría con dron y por el método de prisma de carretera basado en el método tradicional con estación total sugerido por la norma EG-2013 presenta diferencia significativa tal como se demuestra en la hipótesis 2, la presente investigación propone que, para el cálculo de volumen de movimiento de tierras, se utilice el método de diferencia de superficies dado que con este método se aprovecha al máximo las ventajas que aporta la fotogrametría con dron de manera tal que se obtenga un volumen real de movimiento de tierras.

La aplicación del método propuesto tendría una gran influencia en proyectos de gran envergadura en obras viales dado que afecta directamente a su presupuesto generando así el sinceramiento de los datos de movimiento de tierras, ello beneficiaría tanto a la entidad como al contratista al momento de la elaboración de expedientes técnicos o ejecución de obras de ingeniería, en consecuencia se evitaría las prestaciones adicionales que en algunos casos generan controversias entre entidad y contratista.



V. CONCLUSIONES

El volumen de movimiento de tierras en carreteras calculado por el método de diferencia de superficies aplicando fotogrametría con drone representa el volumen real de movimiento de tierras con lo que garantiza mayor precisión que los resultados obtenidos con el método de prisma de carretera sugerido por la EG-2013, debido a que el método de prisma de carreteras desestima considerablemente las variaciones de volumen de tierra en intermedio de las secciones y estas diferencias son más pronunciadas en tramos donde hay curvas horizontales y verticales.

Se ha obtenido una superficie topográfica por fotogrametría con drone y un adecuado post proceso haciendo uso de las herramientas informáticas como agisoft metashape, quick terrain modeler y autodesk civil 3D, obteniendo una superficie con total de 3450000 puntos, por otro lado se ha realizado el levantamiento topográfico por el método tradicional con estación total obteniendo 1100 puntos, que comparado para un mismo área de trabajo, se tiene una relación aproximada de densidad de puntos como de 3136 a 1, lo cual nos permite evidenciar mayor detalle en la superficie obtenida con fotogrametría con drone.

Las cotas de las progresivas del alineamiento replanteado en campo obtenidos con estación total en contraste con las cotas del perfil longitudinal del mismo alineamiento proyectado sobre la superficie topográfica generado por fotogrametría con drone resultan estadísticamente iguales con un nivel de confianza del 99% el cual nos permite afirmar que la superficie topográfica obtenida por fotogrametría con drone representa la superficie real de terreno, esa exactitud es debido a que en campo se han distribuido puntos de fotocontroles cuyas cotas y coordenadas son ingresados al software



especializado para que la nube de puntos sean ajustadas a dichos datos el cual nos permite obtener una nube de puntos suficientemente densa con un relieve igual al terreno natural.

Se ha calculado un volumen de corte de 11938.95m³ aplicando el método de diferencia de superficies, mientras que con el método de prisma de carreteras se obtuvo un volumen de corte de 12574.96m³ evidenciando una diferencia de 636.01m³. Por otro lado, el volumen de relleno calculado por el método de diferencia de superficies y prisma de carretera son de 6800.53m³ y 6988.30m³ respectivamente, resultando una diferencia de 187.77m³.

El volumen de movimiento de tierras en carreteras aplicando los métodos de diferencia de superficies y prisma de carretera son significativamente diferentes con un nivel de confianza del 95%. Esto debido a que para el método de diferencia de superficies se aplica sobre una superficie topográfica obtenida por fotogrametría con drone y el método de prisma de carretera se aplica sobre una topografía obtenida por método tradicional con estación total.

La eficiencia del método de levantamiento topográfico aplicando fotogrametría con drone en cuanto a tiempo y economía es debido a se puede abarcar mayor extensión con más detalle en menor tiempo y una cantidad reducida de personal; además, nos permite obtener un mosaico del cual es posible distinguir características se la superficie de terreno como la vegetación, zonas rocosas, bofedales, ríos, estructuras existentes, entre otros elementos que se puede distinguir a simple vista y es importante considerar en los proyectos para su respectivo tratamiento.

Al proponer el cálculo de volumen de movimiento de tierras en carreteras por el método de diferencia de superficies afecta positivamente en proyectos y obras viales porque nos permite calcular metrados de manera más precisa al momento de realizar los



estudios definitivos y poder realizar valorizaciones de movimiento de tierras con mayor precisión en ejecución de obras viales con el objetivo de evitar controversias que conllevan al reconocimiento de prestaciones adicionales o deductivos en la fase de ejecución.



VI. RECOMENDACIONES

Con el objetivo de optimizar tiempos en los estudios básicos, se recomienda el uso de drone con una adecuada distribución de fotocontroles en la obtención de datos para la elaboración del Modelo Digital de Terreno con una precisión superior a los obtenidos con métodos tradicionales.

Bajo la premisa de los resultados aceptables y precisos del uso de fotogrametría con drone para obtener la superficie topográfica, se recomienda investigar sobre el uso de drone para efectos de replanteo.

Se recomienda obtener la superficie de terreno en Civil 3D a través de la herramienta “líneas de rotura” (Break lines) después de un adecuado post procesamiento de la nube de puntos el cual fue detallado en el desarrollo de la presente investigación y un filtro de puntos que nos permita manipular dichos datos sin que se requiera mayores características de hardware en el ordenador donde se realiza el procesamiento de la fotogrametría con drone.

Para el cálculo de volumen de movimiento de tierras en carreteras en el manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013), en la Sección 07 Medición y Pago, Sub Sección 07.02 Términos de medición del metro cúbico, en el ítem 1 solo establece el cálculo de volumen por método de prisma de carreteras, que en el desarrollo de esta investigación se demuestra que desestima las variaciones que pueda que existen en intermedio de progresivas, llevando a imprecisiones en el cálculo del volumen de movimiento de tierras, por tal razón, se sugiere reemplazar por el método de diferencia de superficies, o en su defecto implementar este método en la normativa peruana para poder aplicar dicho método en el metrado de movimiento de tierras en obras



viales, tanto en la etapa de estudio definitivo como en la ejecución para efectos de valorización, debido a que el método de diferencia de superficies garantiza mayor precisión en el metrado de volumen de movimiento de tierras.



VII. REFERENCIAS

- Aerial Insights. (2019). *Cómo planificar el vuelo del drone: trayectoria, ángulo cámara, altura...* <https://www.aerial-insights.co/blog/como-planificar-capturas-de-dron/>
- Aerial Insights. (2019). *¿Qué es y cómo se realiza la fotogrametría con drones?* <https://www.aerial-insights.co/blog/fotogrametria-con-drones/>
- Agisoft LLC. (2020). Agisoft Metashape User Manual. *Agisoft Metashape, September*, 160. https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf
- Applied Imagery. (2013). *Quick Terrain Modeler User's Manual*.
- Ayala Valdivia, M. R. (2018). *Evaluación de levantamientos topográficos con Drone (DJI Phantom 4 pro) y estación total, quebrada señor de quebrada señor de Quinuapata del distrito de Ayacucho Peru 2018*. UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO.
- Casanova Matera, L. (2002). *Topografía Plana*. http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/topografia_plana/pdf/topografia.pdf
- Chambilla Riisalazo, H. F., & Mamani Mamani, N. (2018). *Diferencia de áreas de los predios catastrales con estación total, drone e imágenes satelitales del Centro Poblado de Salcedo - Puno*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10581>
- De la Serna, Í. (2018). *Plan Estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España 2018-2021*. 138. <https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/planes-estrategicos/drones-espania-2018-2021>
- Flores Ruiz, E., Guadalupe Novales, M. G., & Villasis Keever, M. A. (2017). *El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial*. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ram/v64n3/2448-9190-ram-64-03-0364.pdf>
- Galarza, J., Andrade, C., Vélez, E., & Roa, O. (2017). *Modelo matemático para el control y auditoría de movimientos de tierra*. *Modelo Matemático Para El Control y Auditoría de Movimientos de Tierra*. <https://www.redalyc.org/journal/5075/507554974008/html/>
- Jimenez Calero, N. M., Magaña Moge, A. O., & Soriano Melgar, E. (2019). *Análisis Comparativo Entre Levantamientos Topográficos Con Estación Total Como Método Directo Y El Uso De Drones Y Gps Como Métodos Indirectos*. Presentado. *Universidad De El Salvador Facultad De Ingeniería Y Arquitectura Escuela De Ingeniería Civil Análisis*, 168.



- Lipa Mamani, A. O. (2020). *Comparación Volumetrica de Agregados con Vehiculo Aereo no Tripulado y Escaner en la Cantero Cutimbo*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.
- Machado Pardo, M. A., & Pertúz Plata, J. A. (2020). *Análisis de la Utilización de Drones para el Levantamiento Topográfico en Sitios Habitados Donde se Presentan Aguas Estancadas en el Municipio de Ciénaga Magdalena* [UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA].
<http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- Mamani Morales, J. H., & Platero Lerma, A. K. (2021). *Precisión en el Calculo de Volúmenes Utilizando Vehiculos Aéreos no Tripulados de Ala Fija y de Ala Rotatoria en Contrastación con Estación Total, en el Distrito de Calapuja Provincia de Lampa* (Issue 051). Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- MTC. (2013). *Manual de Carreteras - Especificaciones Tecnicas Generales para Construcción - EG-2013*. 1440. https://cdn-web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Manual_Suelos_Pavimentos.pdf
- MTC. (2011). *Manual de Carreteras - Hidraulica Hidrología y Drenaje*.
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf
- MTC. (2018). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG - 2018*.
- Paredes, D., & Noguera, A. M. (2015). Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. *Los Drones y Sus Aplicaciones a La Ingeniería Civil*, 77–94.
- Pari Rendón, P. R., & Sedano Mateo, F. D. (2019). Analisis, Desarrollo Y Comparacion De Un Levantamiento Fotogrametrico Realizado Con Un Rpa Frente a Un Levantamiento Topografico Convencional Ralizado Con Gnss - Mina Barrick, 2018. *Universidad Privada Del Norte*.
- Peña Carbajal, E. B., & Peña Carbajal, L. C. (2020). *Propuesta de Levantamiento de Tipos de Fallas Asistido por el Sistema de Aeronaves Pilotadas Remotamente (RPAS) para Intervenir en Carreteras de Bajo Volumen en Lima Provincias*. *September*, 153. https://www.sbs.gob.pe/Portals/0/jer/opinion_proy_leg/Informe-N-053-2020-SAAJ.pdf
- Portesi, M. A., Schuverdt, M. L., & Baragatti, E. E. (2020). Cálculo en 2 y 3 variables. *Cálculo En 2 y 3 Variables*. <https://doi.org/10.35537/10915/78554>
- Santamaría Peña, J., & Sanz Méndez, T. (2011). *Fundamentos de fotogrametría*. Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, 2011 publicaciones.unirioja.es.
- Santamaria Sandoval, J. O. (2019). *Comparación técnica economica utilizando Drone y Estación Total para el diseño geométrico de carreteras, centro poblado Cruz del Médano - Mórrope*. UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.



- Sedano Mateo, F. D., & Pari Rendón, P. R. (2018). *Ventajas en los levantamientos topográficos con el uso de Vehículos Aereos No Tripulados(UAV)*.
- Tacca, H. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional. *Universidad Nacional Del Altiplano, 1*, 124.
- Villena, M. (2020). Integrales Dobles. *Integración Múltiple*, 149–204.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7287/5/5-Integración Múltiple.pdf>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias Novena edición (9na ed.)*.



ANEXOS



A. PLANOS

A.1 PLANO CLAVE

Lamina PC-(01) de la progresiva 0+000-2+206.60

A.2 PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

Lamina PU-(01)

A.3 PLANO FOTOGRAMÉTRICO

Lamina PF-(01) de la progresiva 0+000-2+206.60

A.4 PLANO DE PLANTA Y PERFIL

Lamina PP-(01) de la progresiva 0+000.00-1+000.00

Lamina PP-(02) de la progresiva 1+000.00-2+206.60

A.5. PLANO DE SECCIONES TRANSVERSALES

Lamina ST-(01) de la progresiva 0+000.00-0+780.00

Lamina ST-(02) de la progresiva 0+790.00-1+450.00

Lamina ST-(03) de la progresiva 1+460.00-2+206.60

B. PANEL FOTOGRÁFICO

Figura B. 1

Establecimiento de puntos de control



Nota. Se muestra el Punto de Control PC-1 monumentado con concreto y estacado con varilla de acero de 1/2" debidamente marcado y pintado, además en la línea base se ha obtenido sus coordenadas con GPS submétrico por sus características de precisión que se requiere para un trabajo de investigación.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura B. 2

Levantamiento topográfico con estación total



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura B. 3

Replanteo del alineamiento



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura B. 4

Replanteo y marcado de progresivas



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura B. 5

Marcado de fotocontroles



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura B. 6

Levantamiento de coordenadas de fotocontroles



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura B. 7

Configurando plan de vuelo



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura B. 8

Levantamiento topográfico con fotogrametría



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura B. 9

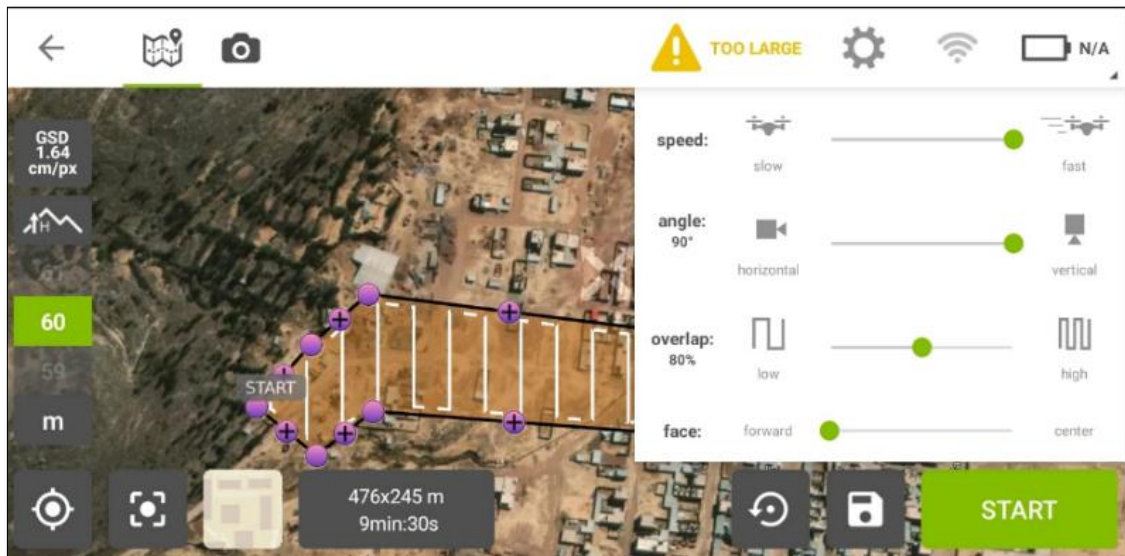
Ejecutando plan de vuelo



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura B. 10

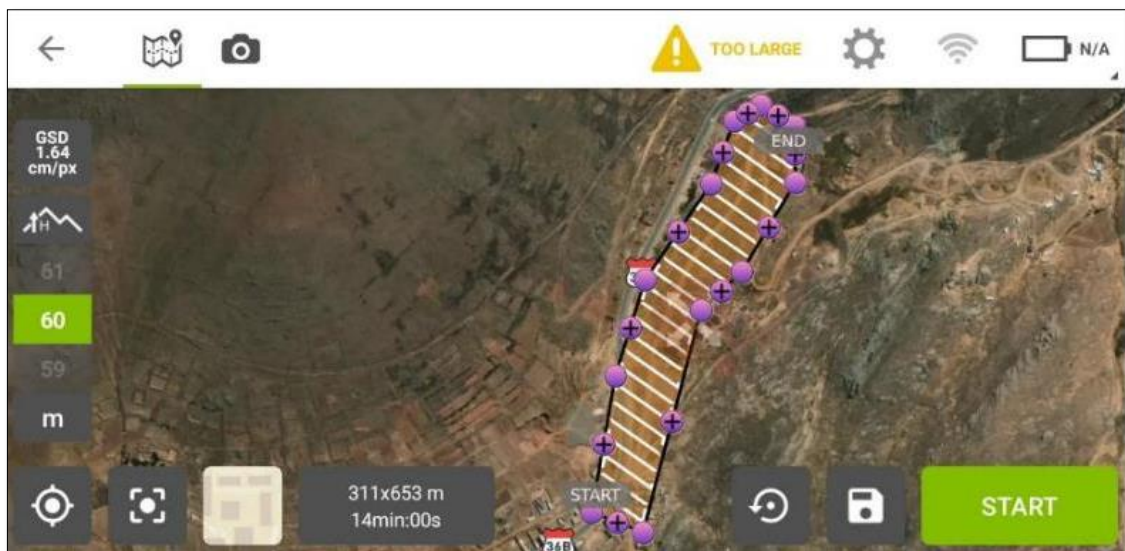
Configuración para el plan de vuelo



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura B. 11

Plan de vuelo con recorrido transversal al eje



FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo.