



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**GENERACIÓN DE UN MODELO DIGITAL DEL TERRENO A TRAVÉS DE UN DRON
CON TECNOLOGÍA LIDAR DE UN TRAMO DE VÍA DE QUINIENTOS METROS DE
LONGITUD DE LA AVENIDA MARIANA DE JESÚS DEL CANTÓN QUITO,
PROVINCIA DE PICHINCHA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros Civiles

AUTORES: César Israel Chasiquiza Bustamante
Bryan Alexis Reyes Coloma

TUTOR: Hugo Patricio Carrión Latorre

Quito – Ecuador
2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, César Israel Chasiquiza Bustamante con documento de identificación N° 1726037433 y Bryan Alexis Reyes Coloma con documento de identificación N° 1751197086; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 29 de julio del 2025

Atentamente,



César Israel Chasiquiza Bustamante
1726037433



Bryan Alexis Reyes Coloma
1751197086

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, César Israel Chasiquiza Bustamante con documento de identificación N° 1726037433 y Bryan Alexis Reyes Coloma con documento de identificación N° 1751197086; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Generación de un Modelo Digital del Terreno a través de un Dron con Tecnología LiDAR de un Tramo de Vía de Quinientos Metros de Longitud de la Avenida Mariana de Jesús del Cantón Quito, Provincia de Pichincha”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de julio del 2025

Atentamente,



César Israel Chasiquiza Bustamante

1726037433



Bryan Alexis Reyes Coloma

1751197086

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Hugo Patricio Carrion Latorre con documento de identificación N° 0603015728, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: GENERACIÓN DE UN MODELO DIGITAL DEL TERRENO A TRAVÉS DE UN DRON CON TECNOLOGÍA LIDAR DE UN TRAMO DE VÍA DE QUINIENTOS METROS DE LONGITUD DE LA AVENIDA MARIANA DE JESÚS DEL CANTÓN QUITO, PROVINCIA DE PICHINCHA, realizado por César Israel Chasiyuza Bustamante con documento de identificación N° 1726037433 y por Bryan Alexis Reyes Coloma con documento de identificación N° 1751197086, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de julio del 2025

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a vertical stroke, positioned above a horizontal line.

Ing. Hugo Patricio Carrion Latorre, MSc

0603015728

DEDICATORIA

El presente proyecto le dedico primeramente a Dios, por ser mi fortaleza y pilar fundamental en cada decisión que tomé en lo largo de mi vida. El camino que ha trazado él en todo el transcurso ha sido perfecto, al igual del tiempo que él dispone en cada actividad que he realizado.

Dedico a mi madre Carmen Bustamante, quien es la persona que dedico su tiempo, amor y paciencia para que las metas trazadas por mi tengan éxito. Su amor incondicional me demostró que cualquier obstáculo lo puedo superar con ayuda de Dios. Sus enseñanzas demostraron que puedo ser una persona con valentía y perseverancia. Su esfuerzo día tras día fue clave para alcanzar el éxito en todo. Además de enseñarme el valor del trabajo, que desde pequeño sembró en mi la idea de ser esforzado e independiente. Ella tiene el amor más sincero del mundo hacia sus familiares y amigos, demostrando en sus acciones hacia ellos.

Dedico a mi padre Patricio Chasiquiza, a pesar de la distancia que nos separa por muchos días, su amor de padre permanece vivo en todo momento. Su dedicación y sabiduría me han demostrado que el valor de un hombre está en lo que puede demostrar día a día con los demás, siempre dando lo mejor de sí en su trabajo, hogar y vida social.

Dedico también a mi hermana Daysi Rodríguez quien llevo el ejemplo de nuestra madre, una mujer distinguida por su valentía y esfuerzo. El amor a ella quizás no le demuestro, pero en este apartado, le dedico mi más grato amor hacia ella, quien es mi ejemplo de superación y enseñanza.

Dedico además a mis sobrinas Sofía y Samanta, desde que llegaron a nuestras vidas, nuestro sendero se ilumino de amor y esperanza, han sido el motivo para seguir adelante.

Por ultimo y no menos importante, dar gracias a mis abuelitos paternos y maternos, su dedicación y amor, me dieron los mejores padres para alcanzar el éxito.

Chasiquiza Bustamante César Israel

DEDICATORIA

La siguiente etapa de mi vida debo agradecer a mis padres, ya que demostraron que la educación y la ética puede lograr lo imposible, sin ellos mi vida sería un vacío donde mi madre estuvo cada momento de mi vida haciendo lo impensable para yo recibir lo necesario. A mis padres Jhakeline Jhanet Coloma Gavilanez y Yenan Poe Reyes Asanza que ayudaron a mi formación a lo largo de mi vida universitaria, logrando mi formación desde mi niñez. Su ejemplo fue clave en fortalecimiento, constancia y amor. Este proyecto dedico a mis padres donde la responsabilidad y compromiso que siempre obtenido de ellos.

A Dedico a Dios fue el más importante porque me enseñó que no lo veo, pero lo siento en el espíritu gracias a mi padre poderoso por la sabiduría, fortaleza que me das cada día para estar de pie, sin él no sería nada a lo largo de mi vida.

A mis compañeros que hice transcurso de mi carrera universitaria, a pesar de dificultades, siempre encontramos la forma de salir hacia lo imposible durante la carrera, gracias a su amistad transcurso de mi vida universitaria.

Dedico a mis profesores por lo difícil de la carrera, pero sin su formación esto no sería posible, sobre mí, los veo como una guía. Gracias a ellos tengo las bases de los conocimientos obtenidos, sin ellos con esta trayectoria de la carrera, se ve imposible haberlo terminado.

Reyes Coloma Bryan Alexis

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la oportunidad de conocer la carrera de Ingeniería Civil. Agradezco a mis padres por la formación y valores que hicieron esta meta posible.

Agradezco al personal docente de la UPS, su paciencia y espíritu de enseñanza, hicieron de la carrera universitaria una experiencia única.

Agradezco a mis familiares, por sus consejos y enseñanzas día tras día. Gracias también compañeros que conocí en la UPS, fue una bonita etapa compartir con ustedes.

Chasiquiza Bustamante César Israel

AGRADECIMIENTO

Agradezco este logro a mis padres, por ser mi guía constante, por ayudarme en tiempos complicados y por su amor incondicional. Su apoyo fue algo inclusivo para cada día hacer lo imposible conmigo gracias a ellos este logro es tan suyo como mío.

Agradezco también a Dios, por ser el que me da la sabiduría cada día y fortaleza. Donde su presencia ha sido importante en cada momento de la carrera gracias a él ha sido mi refugio en los momentos de incertidumbre y mi guía en cada decisión.

Gracias a mis familiares, por dar palabras de aliento durante mi periodo universitario. Agradezco a todos mis parientes cercanos donde su amor ha sido un motor constante en este proceso.

Reyes Coloma Bryan Alexis

ÍNCIDE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Problema de estudio	2
1.2.1 Antecedentes	3
1.2.2 Importancia y Alcance	3
1.2.3 Delimitación	4
1.3 Justificación	6
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivo Específicos	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO ..	7
2.1 Introducción	7
2.1.1 Definición de topográfico	7
2.1.2 Marco de referencia geodésico	7
2.1.3 Ubicación Geográfica de la vía	8
2.2 Métodos utilizado para levantamiento topográfico	9
2.2.1 Sistema global de navegación por satélite (GNSS)	9
2.2.2 Principio básico de posicionamiento “GNSS”	11
2.2.3 Método de medición RTK (Real-Time-Kinematic)	12
2.3 Especificaciones de dron (DJI Matrice 350 RTK)	13
2.3.1 Definición	13
2.4 Principios de la tecnología LiDAR	15

2.4.1 Definición	16
2.4.2 Introducción	16
2.4.3 Emisor y láser con tecnología “LiDAR”.....	19
2.5 Especificaciones del sensor “LiDAR Zenmuse L2”	19
2.5.1 Introducción	19
2.5.2 Características del sensor “LiDAR (Zenmuse L2)”.....	20
2.5.2.1 General.....	20
2.5.2.2 Rendimiento del sistema.....	20
2.5.2.2.1 Intervalo de detección.....	20
2.5.2.2.2 Precisión del sistema	21
2.5.2.3 LiDAR	22
2.5.2.3.1 Precisión de medición.....	22
2.5.2.4 Sistema IMU.....	23
2.5.2.5 Cámara de mapeo RGB.....	23
2.5.2.6 Cardán.....	24
2.5.2.7 Almacenamiento de datos.....	24
2.5.2.8 Procesamiento.....	25
2.6 Parámetros de desplazamiento aéreo del dron Matrice 350 RTK.....	25
2.6.1 Creación de ruta para la configuración del tipo de vuelo	25
2.6.2 Ajuste de posicionamiento preciso mediante “RTK” en el dron Matrice 350 RTK.....	26
2.6.3 Selección de instrumento para el trabajo.....	27
2.6.3.1 Seleccionar el modelo de aeronave.....	27
2.6.3.2 Seleccionar modelo de cámara.....	27
2.6.3.3 Seleccionar objetivo.....	28
2.6.4 Configuración de instrumentos.....	29

2.6.4.1 Modo de retorno.....	29
2.6.4.2 Tasa de muestreo.....	29
2.6.4.3 Modo de exploración.....	29
2.6.4.4 Adición de color RGB.....	30
2.6.5 Colección orto.....	30
2.6.6 Colección oblicua.....	30
2.6.7 GSD (Ground Sample Distance).....	31
2.6.8 Densidad de nube de puntos (puntos/m ²).....	31
2.6.9 Modo de altitud.....	32
2.6.10 Altitud y altura constante.....	33
2.6.10.1 Optimización de la elevación.....	34
2.6.11 Altitud de despegue segura.....	34
2.6.11.1 Ajuste del Sistema de Navegación Inercial.....	35
2.6.12 Velocidad.....	35
2.6.13 Ángulo de rumbo.....	36
2.6.14 Al finalizar.....	36
2.6.15 Configuración avanzada.....	37
2.6.15.1 Superposición lateral “LiDAR”.....	37
2.6.15.2 Superposición lateral (Visible).....	37
2.6.16 Comprobación previa al vuelo.....	37
2.7 Configuración “DJI Terra”.....	38
2.7.1 Tipos de misiones.....	38
2.7.1.1 Visible Light (Luz visible).....	38
2.7.1.2 Multispectral (Multispectral).....	38
2.7.1.3 “LiDAR” Point Cloud (Nube de puntos “LiDAR”).....	39

2.7.1.4 Trayectoria.....,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	39
2.7.1.5 Mapeo.....	39
2.7.1.6 Oblicuo.....	40
2.7.1.7 Corredor.....	40
2.7.1.8 Inspección detallada.....	40
2.7.2 Añadir carpeta.....	41
2.7.2.1 CLC.....	41
2.7.2.2 CLI.....	42
2.7.2.3CMI.....	42
2.7.2.4 IMU.....	42
2.7.2.5 LDR.....	42
2.7.2.6 RTK.....	42
2.7.3 Nube de puntos “LiDAR”.....	43
2.7.3.1 Densidad de la nube de puntos.....	43
2.7.3.1.1 Por porcentaje.....	43
2.7.3.1.2 Por distancia.....	44
2.7.4 Escenarios.....	44
2.7.4.1 Calibración de LiDAR.....	44
2.7.4.2 Procesamiento de nube de puntos.....	45
2.7.5 Rango efectivo de distancia de nube de puntos.....	45
2.7.5.1 Optimizar la precisión de la “NP”.....	45
2.7.5.2 Clasificación de los puntos del Terreno.....	46
2.7.5.2.1 Terreno Plano.....	46
2.7.5.2.2 Pendiente Suave.....	46
2.7.5.2.3 Pendiente Empinada.....	46

2.7.5.3 Generar DEM.....	47
2.7.5.4 Contorno.....	47
2.7.6 Avanzados.....	48
2.7.6.1 Control y comprobación de precisión.....	48
2.7.6.2 Sistema de coordenadas de salida.....	48
2.7.6.2.1 Sistema de coordenadas arbitrarias.....	48
2.7.6.2.2 Sistema de coordenadas conocidos.....	48
2.7.7 Exportación de la nube de puntos a formatos compatibles.....	49
2.7.7.1 Formato LAS.....	49
2.7.7.2 Formato B3DM.....	50
2.7.7.3 Formato PLY.....	50
2.7.7.4 Digital Elevation Model “DEM”.....	50
2.7.8 WGS 84/UTM zone 17S (World Geodetic System).....	50
2.7.9 Universal Transverse Mercator.....	51
2.8 Global Mapper	52
2.8.1 Descripción del programa.....	52
2.8.2 Importación de nube de puntos (a partir de formato LAS).....	52
2.8.3 Formatos de exportación de nube de puntos (Formato RCS).....	52
2.9 Autodesk Civil 3D.....	53
2.9.1 Descripción del programa.....	53
2.9.2 Formato más común.....	53
CAPÍTULO III.....	54
METODOLOGÍA.....	54
3.1 Tipo de investigación.....	54
3.2 Método.....	54

3.3 Técnica de recolección de información.....	54
3.4 Proceso técnico de ingeniería civil.....	55
CAPÍTULO IV.....	56
MANUAL DE LA GENERACIÓN DE UN MODELO DIGITAL DEL TERRENO A TRAVÉS DE UN DRON CON TECNOLOGÍA “LIDAR” EN UN TRAMO DE VÍA.....	56
4.1 Manual de la configuración del dron Matrice 350 RTK.....	56
4.1.1 Configuración de Rover para obtención del punto de referencia.....	56
4.1.2 Configuración de Base para conectividad con el dron.....	67
4.1.3 Montaje del dron Matrice 350 RTK.....	69
4.1.4 Procesamiento de la nube de puntos obtenida.....	79
4.1.5 Elaboración de superficie en software “Autodesk Civil 3D”.....	91
CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES.....	107
REFERENCIAS.....	108
ANEXOS.....	110

ÍNCIDE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM de la Vía.....	4
Tabla 2. Especificaciones de dron “M350 RTK”-Aeronave (2023)	14
Tabla 3. Especificaciones de dron “M350 RTK”-Control remoto (2023)	15
Tabla 4. Especificaciones generales del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).....	20
Tabla 5. Especificaciones de rendimiento del sistema del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).....	20
Tabla 6. Especificaciones de LiDAR del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).....	22
Tabla 7. Especificaciones de Sistema “IMU” del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).....	23
Tabla 8. Especificaciones de cámara de mapeo “RGB” del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).....	23
Tabla 9. Especificaciones de cardán del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).....	24
Tabla 10. Especificaciones de almacenamiento de datos del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).....	24
Tabla 11. Especificaciones de procesamiento de datos del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación de la Avenida Mariana de Jesús	5
Figura 2. Tramo de vía de la comunidad “San Pedro de Taboada”	5
Figura 3. Red “GNSS” de Monitoreo Continuo del Ecuador- REGME.....	8
Figura 4. REGME, radio de cobertura a todo el país de 50 Km (fecha de corte, marzo de 2013).....	12
Figura 5. El dron “DJI M350 RTK” ubicada en la zona cercana de la vía Mariana de Jesús	13
Figura 6. Dron equipado con sensor LiDAR para levantamiento topográfico.....	15
Figura 7. El sensor “Zenmuse L2”-sensor LiDAR ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Sur.....	16
Figura 8. Luz en reflejarse y regresar de similar manera a la ecolocalización murciélagos.....	17
Figura 9. La tecnología láser conocida como “LiDAR” retira digitalmente la cubierta forestal para revelar ruinas.....	18
Figura 10. Todos los tipos de vuelo automático en la aplicación “DJI Pilot 2” dependiendo el tipo de proyecto	26
Figura 11. El software DJI TERRA con los tipos de misiones.....	39
Figura 12. El programa “DJI Terra” opciones para el procesamiento de la nube de puntos según requerimiento del proyecto.....	41
Figura 13. Todos los archivos que se guardan en la memoria del sensor “LiDAR” de un proyecto.....	43
Figura 14. El programa “DJI Terra” configuración de la nube de puntos.....	44
Figura 15. El programa “DJI Terra” configuración del tipo escenario deseado.....	45
Figura 16. El programa “DJI Terra” ajuste según el tipo de terreno.....	46
Figura 17. El software “DJI Terra” la opción “DEM”.....	47
Figura 18. La función contorno para la ejecución de la “NP” en el programa “DJI Terra”.....	42

Figura 19. Captura de pantalla de software “DJI TERRA” en la configuración de coordenadas.....	49
Figura 20. Lista de comprobación de parámetros en el software “DJI Terra”.....	51
Figura 21. El equipo de “RTK” ubicada en la zona cercana de la vía Mariana de Jesús.....	56
Figura 22. Imagen extraída del dispositivo de la aplicación “FOIF SurPad”.....	57
Figura 23. Imagen extraída del dispositivo del menú principal del “RTK”.....	58
Figura 24. Imagen extraída del dispositivo en la opción de parámetros de sistema coordenadas del “RTK”.....	59
Figura 25. Imagen extraída del dispositivo la opción de datum geodésico del “RTK”.....	60
Figura 26. Imagen extraída del dispositivo para la obtención de puntos levantado.....	61
Figura 27. Imagen extraída del dispositivo configuración de conexión de datos.....	62
Figura 28. Imagen extraída del dispositivo sobre la base “IGM”.....	62
Figura 29. Imagen extraída del dispositivo verificación de información.....	63
Figura 30. Imagen extraída del dispositivo clasificación de la base.....	64
Figura 31. Imagen extraída del dispositivo todas las estaciones “IGM” a nivel nacional.....	65
Figura 32. Fotografía realizada por los autores de la altura del bastón.....	66
Figura 33. Imagen extraída del dispositivo de parámetros de la antena.....	66
Figura 34. Imagen extraída del dispositivo de punto georreferenciado del dron.....	67
Figura 35. Imagen extraída del dispositivo el nombre del receptor.....	67
Figura 36. Imagen extraída del dispositivo nombre de proyecto realizado.....	68
Figura 37. Imagen extraída del dispositivo para la configuración punto referenciado.....	69
Figura 38. El dron “DJI M350 RTK” ubicada en la zona cercana de la vía Mariana de Jesús.....	70
Figura 39. La instalación de los trenes de dron “M350 RTK” ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Sur.....	70
Figura 40. El despliegue de hélice de dron “M350 RTK”.....	71
Figura 41. Colocación de cada una de las baterías de dron “M350 RTK”.....	71

Figura 42. Verificación de seguro de la batería de forma totalmente horizontal.....	72
Figura 43. Colocación del sensor “LiDAR” con el estabilizador.....	72
Figura 44. Botón de encendido para la vinculación del dron “M350 RTK”.....	73
Figura 45. Vinculación de la aeronave en la aplicación “DJI Pilot 2”.....	73
Figura 46. El menú principal de la configuración ajuste de posicionamiento del dron “M350 RTK”.....	74
Figura 47. La configuración del sistema “RTK” mediante Local “NTRIP” estableciendo el punto de conexión al dron “M350 RTK” para georreferenciar el punto.....	75
Figura 48. Imagen extraída del dispositivo con programa vista de la ventana principal del interfaz.....	79
Figura 49. Imagen extraída del dispositivo con programa ventana para seleccionar el tipo de misión.....	79
Figura 50. Imagen extraída del dispositivo con programa para asignar un nombre al proyecto.....	80
Figura 51. Imagen extraída del dispositivo con programa con vista general del panel de configuraciones.....	80
Figura 52. Imagen extraída del dispositivo con programa y ventana de fuente de datos del sensor LiDAR.....	81
Figura 53. Imagen extraída del dispositivo con programa con referencia del tramo de vía obtenido.....	81
Figura 54. Imagen extraída del dispositivo con programa y despliegue del menú para configuración de nube de puntos.....	82
Figura 55. Imagen extraída del dispositivo con programa y despliegue de malla 2D.....	82
Figura 56. Imagen extraída del dispositivo con programa y despliegue de malla 3D.....	83
Figura 57. Imagen extraída del dispositivo con programa y despliegue de la clasificación de punto de terreno.....	83
Figura 58. Imagen extraída del dispositivo con programa y despliegue de modelo digital de elevación.....	84
Figura 59. Imagen extraída del dispositivo con programa y despliegue de configuración de contorno.....	84
Figura 60. Imagen extraída del dispositivo con programa y	

despliegue de configuraciones avanzadas.....	85
Figura 61. Imagen extraída del dispositivo con programa y ventana de confirmación de parámetros.....	85
Figura 62. Imagen extraída del dispositivo con programa y vista de barra de carga del avance del proceso.....	86
Figura 63. Imagen extraída del dispositivo con programa y ventana de finalización de reconstrucción.....	86
Figura 64. Imagen extraída del dispositivo con programa con modelo distinguido por colores.....	87
Figura 65. Imagen extraída del dispositivo con programa con alturas establecidas por colores.....	87
Figura 66. Imagen extraída del dispositivo con programa con distinción de los materiales capturados.....	88
Figura 67. Imagen extraída del dispositivo con programa con distinción de terreno plano y construcciones aledañas.....	88
Figura 68. Imagen extraída del dispositivo con programa implantación en 2D del modelo en el mapa.....	89
Figura 69. Imagen extraída del dispositivo con programa con modelo digital de elevación referenciado en el mapa.....	89
Figura 70. Imagen extraída del dispositivo con programa y ventana de selección de contenido para exportar	90
Figura 71. Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” ventana de configuración de proyección.....	91
Figura 72. Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” con ventana de open data files.....	92
Figura 73. Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” con vista general de la “NP”	92
Figura 74. Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” con vista de elevaciones de los puntos.....	93
Figura 75. Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” con ventana de exportación de puntos.....	94
Figura 76. Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” y ventana de selección de formato de exportación	94

Figura 77. Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” con ventana de consejo del software.....	95
Figura 78. Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” y ventana de (RCS export options).....	96
Figura 79. Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” y ventana de selección de ubicación del archivo a exportar	96
Figura 80. Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” y ventana de proceso de exportación	97
Figura 81. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana de Drawing Settings	97
Figura 82. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y enfoque de opción attach.....	98
Figura 83. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana de ubicación de archivo “RCS”.....	98
Figura 84. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana attach point cloud.....	99
Figura 85. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D”, ventana de model con la NP“	99
Figura 86. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y enfoque en opción de crear superficie desde la “NP”.....	100
Figura 87. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana de la configuración de superficie	100
Figura 88. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana de configuración de densidad de la “NP”	101
Figura 89. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana de interpolación de la “NP”.....	102
Figura 90. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” con enfoque en toolspace	102
Figura 91. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana de add boundaries	103
Figura 92. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y selección de la superficie vial	103
Figura 93. Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” vista de model con la superficie recortada	104

Figura 94. Imagen del programa “Autodesk Civil 3D” vista desde object viewer.....104

RESUMEN

El presente trabajo de investigación describe las diferentes fases a seguir para realizar un modelo digital de elevación topográfica, mediante el uso múltiples softwares que se implementan en el campo de la ingeniería civil. La aplicación de nuevas tecnologías de análisis topográfico, la cual proporciona una nueva metodología de estudio de la morfología del terreno, que va en vanguardia en aspecto tecnológico.

La implementación de herramientas tecnológicas, como el uso del sensor LiDAR en proyectos de levantamientos topográficos resulta una manera eficiente y rápida de obtener la información valida de una base de datos que es representada en una nube de puntos tridimensional. Este proyecto empieza con el uso de un dron consiste con un equipo de tecnología LiDAR, el cual recopila los datos a través de sensores láser que los cuales son disparados en diferentes direcciones y ángulos, obteniendo relevante información de la posición en la que el láser alcanza los objetivos definidos de la superficie.

El procesamiento de esta base de datos se lleva a través del software “DJI Terra” especializado en el tratamiento de la nube de puntos obtenidas en el sensor LiDAR, para la obtener las coordenadas topográficas de manera digitalizada, se obtiene la información requerida para realización de una representación digital del terreno, con la aplicación de este software se logra la eliminación de distractores por ejemplo como: desplazamiento de personas, animales y automóviles circulando por las vías, como ocurrió nuestro documento de estudio, también la remoción de edificaciones aledañas a la vía. La exportación de los resultados obtenidos del programa “DJI Terra” ayudan a procesar la nube de puntos al programa “Autodesk Civil 3D”, damos uso al software “Global Mapper”, el cual nos da la característica del archivo que recepta el programa “Autodesk Civil 3D”. Esta recopilación de información será procesada en una base de datos generada en el estudio que se plasmará en el programa “Autodesk Civil 3D”, colaborará para la elaboración del modelo digital en el

programa “Global Mapper”. Finalmente, la generación de la nube de puntos analizadas en el programa “Autodesk Civil 3D”, permitirá generar un modelo digital topográfico en tiempo real.

Palabras clave: Modelo digital, LiDAR, nube de puntos, análisis topográfico, software

ABSTRACT

This research project describes the different phases to follow to make a digital topographic survey model, using multiple software's that are implemented in the field of civil engineering. The application of new topographic analysis technologies, which provides a new methodology for the study of the morphology of the land, which is at the forefront in technological aspect.

The implementation of technological tools, such as the use of the LiDAR sensor in topographic survey projects is an efficient and fast way to obtain valid information from a database that is represented in a three-dimensional point cloud. This project begins with the use of a drone that consists of LiDAR technology equipment, which collects data through laser sensors which are shot in different directions and angles, obtaining relevant information on the position in which the laser reaches the defined targets on the surface.

The processing of this database is carried out through the "DJI Terra" software specialized in the treatment of the point cloud obtained in the LiDAR sensor, for the obtaining of the terrestrial coordinates in a digitized way, the required information is obtained to realization of a digital representation of the land, which this software to achieve the elimination of distractions such as: displacement of people, animals and cars circulating on the roads, as occurred in our study document, also the removal of buildings adjacent to the road.

The exportation of the results obtained from the "DJI Terra" program helps to process the cloud of points to the "Autodesk Civil 3D" program. We use "Global Mapper" software, which gives us the characteristic of the file that the "Autodesk Civil 3D" program receives. This collection of information will be processed in a database generated in the study that will be embodied in the "Autodesk Civil 3D" program, with collaboration of the design of the digital model in the "Global Mapper" program. Finally, the generation of the point cloud

analyzed in the “Autodesk Civil 3D” program, it will allow the generation of a topographic digital model in real time.

Key words: Digital model, LiDAR, Point Cloud, Topographic analysis, Software

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La topografía es una esencia principal de la ingeniería civil, su importancia radica en que, a través de este estudio, los profesionales pueden obtener datos geográficos con precisión y además levantar una superficie con el fin de modelar planos con diseños de obras civiles.

Al inicio de la línea del tiempo destacan los egipcios en ser los pioneros de la topografía. Debido a las inundaciones anuales del río Nilo, delimitaban la superficie con técnicas sencillas de medición, con el fin de marcar límites de las tierras agrícolas después de este evento climático.

Avanzando en el tiempo, precisamente en la edad media, el mundo islámico desarrollo un avance importante en el área de la trigonometría, esto contribuye significativamente al desarrollo de la obtención de datos métricos con mayor exactitud y un margen de error menor.

En la siguiente etapa, específicamente en la época del renacimiento, destaca un personaje, su nombre es Leonardo da Vinci por sus contribuciones de investigación en la ciencia. Sus aportaciones dan origen, en el siglo XVI, a la invención del teodolito que facilito mediciones angulares de mayor precisión.

Durante el siglo XVIII los métodos eran más avanzados, se utilizaba la triangulación que permitió la medición precisa de grandes espacios. La topografía estaba interrelacionada con la cartografía.

Uno de los puntos de influencia que destacan fue en el siglo XIX, la topografía es llevada a proyectos de ingeniería civil y estrategias militares. En el transcurso de las guerras napoleónicas, utilizaban la topografía para visualizar el terreno y planificar tácticas militares.

Por el siglo XX, con la llegada de nuevas tecnologías como el teodolito electrónico, el distanciómetro y por último la tecnología satelital, la topografía logro avances de suma

importancia. El uso de sistemas de posicionamiento global “GPS” es un factor clave que garantiza la precisión y la eficiencia de las mediciones topográficas.

Por lo expuesto la topografía ha experimentado, a lo largo de la historia, avances tecnológicos que fueron desarrollando nuevas tecnologías avanzadas para la obtención precisa de información topográfica que se implementa en el diseño y planificación de cualquier construcción. La topografía actualmente se encuentra en avance ya que existe herramientas modernas de alta precisión como: estaciones totales, receptores “GNSS” (Sistema Navigation Satellite System), tecnología “LIDAR” (Light Detection and Ranging) y drones equipados con sensores fotogramétricos.

En contexto, el uso de drones equipados con tecnología “LIDAR” ha contribuido para la generación de Modelos Digitales del Terreno “MDT”. La tecnología “LIDAR” ha evolucionado en la generación de puntos 3D para optimizar el procesamiento de datos para la creación de mapas en 3D y superficies.

1.2 PROBLEMA DE ESTUDIO

Al emplear el avance de la tecnología en nuevos proyectos de ingeniería, existe la dificultad por el inexplorado campo tecnológico con los ingenieros civiles que usan en sus actividades planificadas los métodos convencionales.

Además, en la carrera de pregrado de igual manera se manejan los métodos convencionales, por ello, en el presente proyecto se dará la iniciativa de uso del dron adquirido por la universidad. Los programas para el manejo de la base de datos también tendrán espacio para definirlos y desarrollarlos a fin de que el lector tenga la idea de cómo manejar los mismos con la nube de datos.

La cobertura de las redes telefónicas tiene también su importancia, debido a que el dron debe ser manejado en espacios que no tengan restricción de su uso como, por ejemplo, evitar volar en cárceles del país.

La gestión de la base de extensa nube de datos capturados tiene un margen de riesgo por la pérdida de datos por no contar con una memoria de almacenamiento grande.

Aunque la evolución de la topografía promete enriquecer los proyectos, creando estudios de manera eficiente, pero su uso enfrenta el limitado conocimiento en normativas y el uso de recursos. Superar esta dificultad representa que la capacitación de un ingeniero es constante y el valor de la adecuación tecnológica establece un importante avance en el estudio de novedosas tendencias.

1.2.1 Antecedentes

En el trabajo realizado por Céspedes e Castillo (2023), “LiDAR es una tecnología de última generación y desarrollo urbano”. Con la innovación tecnológica según Renslow (2012), “la detección y medición de distancias topográficas aéreas LiDAR han evolucionado” (p. 406).

El uso del dron con la tecnología LiDAR no es algo habitual por la mayoría de los profesionales, por motivo de desconocimiento de este o por falta de capacitación. Por ello se plantea este proyecto para describir el uso y dar a conocer las ventajas de su aplicación. Según el Instituto Geográfico Militar (2016), “en las aplicaciones de investigación y cartografía durante más de una década, todavía es una tecnología relativamente nueva. Los avances y mejoras en la instrumentación, de software, aplicaciones y la comprensión son constantemente desarrollados” (p. 3). La tecnología “LiDAR”, en dron, representa una solución económicamente eficiente para la generación de datos geoespaciales, como nube de puntos, modelados y cartografía en 3D. Esto contribuye, según Cazorla (2024), para nuevos usuarios, deducir errores, optimizando la toma de datos y mejorando la calidad de los resultados obtenidos.

1.2.2 Importancia y Alcance

Demostrar la aplicación de un sistema con tecnología “LiDAR” que, mediante forma aérea, realiza levantamiento en un medio urbano, comparando con este estudio, su rendimiento

y precisión a comparación con los métodos convencionales. Por lo expuesto, a fin de realizar la comparativa, se dará uso a un dron “Matrice 350 RTK”, que cuenta con la tecnología “LiDAR” y contrastará los resultados en su eficiencia.

El sitio de estudio de característica urbana consta de una vía, aceras y edificaciones aledañas, a fin de tener la información de la superficie vial la cual será replanteada. Además, la zona de estudio no presenta una pendiente que complique el método de estudio. El principal plus que tiene este método es debido a que en un tiempo mínimo recolecta una cantidad de puntos a través de un láser que detecta la superficie que va de forma aérea por el espacio. Mientras la operatividad del dispositivo podrá detectar cada obstáculo el cual se procesa en una nube de datos que serán depurados del proyecto a estudiarse.

1.2.3 Delimitación

La vía de estudio está localizada en la parroquia San Pedro de Taboada avenida Mariana de Jesús del cantón Quito en la provincia de Pichincha, con una longitud de 500 metros, situada en la zona 17M cuyas coordenadas son:

Tabla 1.

Coordenadas UTM de la Vía

Puntos	Norte	Este	Cota
Inicio	9963113.71	782106.67	2533.39
Fin	9962916.93	782497.21	2528.66

Nota. Coordenadas en base a visita de campo. Elaborado por: Los Autores

Figura 1.

Mapa de Ubicación de la Avenida Mariana de Jesús



Nota. Ubicación de la zona donde se encuentra la vía. Elaborado por: Los autores en base al programa Google Earth Pro, 2024.

Figura 2.

Tramo de vía de la comunidad “San Pedro de Taboada”



Nota. La Avenida Mariana de Jesús con sección transversal total: 16.5 m sin calzada, ni acera
Elaborado por: Los autores en base al programa de Google Street View, 2025.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Este plan de titulación tiene la finalidad dar conocer las nuevas tecnologías topográficas usando drones equipados con tecnología “LiDAR” para la generación de modelos digitales del terreno “MDT”. Con el uso de esta tecnología, se propone su efectividad proyectos de ingeniería civil, especialmente en zonas urbanas con reducida vegetación.

Se busca el mejoramiento a los métodos tradicionales para la obtención de la topografía que nos permite con facilidad de establecer áreas, realización de prediseños y levantamientos topográficos en zonas anteriormente mencionadas. Actualmente, estas nuevas tecnologías desarrollan la optimización de tiempos, también un ahorro económico por su fácil utilización en zonas de acceso sencillo y evitar la exposición en zonas de altos riesgo.

1.4 OBJETIVO

1.4.1 Objetivo General

Realizar el levantamiento con dron de un tramo de una vía mediante la aplicación de la tecnología “LiDAR” para la obtención de un modelo digital del mismo.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Calibrar los parámetros de vuelo con la configuración inicial del dron para un despegue y aterrizaje que no comprometa la integridad del mismo.
- Obtener los puntos establecidos por la tecnología “LiDAR”, mediante la importación de estos a un programa.
- Descartar los puntos de la nube de datos que no aportan significativamente a la vía de estudio.
- Procesar la nube de datos para crear una superficie de la vía en el programa “CIVIL 3D”.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ZONA DE ESTUDIO

2.1.1 Introducción

La sesión a lo largo del tramo de vía estudio que se va a realizar con el dron realizando es importante realizar un estudio del sitio para evitar cualquier contratiempo durante levantamiento topográfico, tener precisión en los datos y la eficiencia en la exportación de la nube de puntos “NP”.

2.1.2 Definición de topográfico

La definición de topografía consiste el estudio de una superficie de la tierra detallada. Esta ciencia, considerando las variaciones del terreno como: elevaciones y depresiones. Su utilización más habitual es para tener una representación de terrenos y ríos. La topografía los permite conocer un punto determinado de terreno donde la posición de este se va a encontrar en planimetría (X-Y) y en altimetría (Z). La topografía se encarga en la modelación tridimensional de una superficie mediante la medición y recopilación de datos del terreno.

Durante la realización de un levantamiento a una alta definición topográfica los permite la creación de modelos digitales del terreno “MDT” a mayor detalle puesto a facilitar la ejecución de obras civiles como: la realización de diseños y planificación.

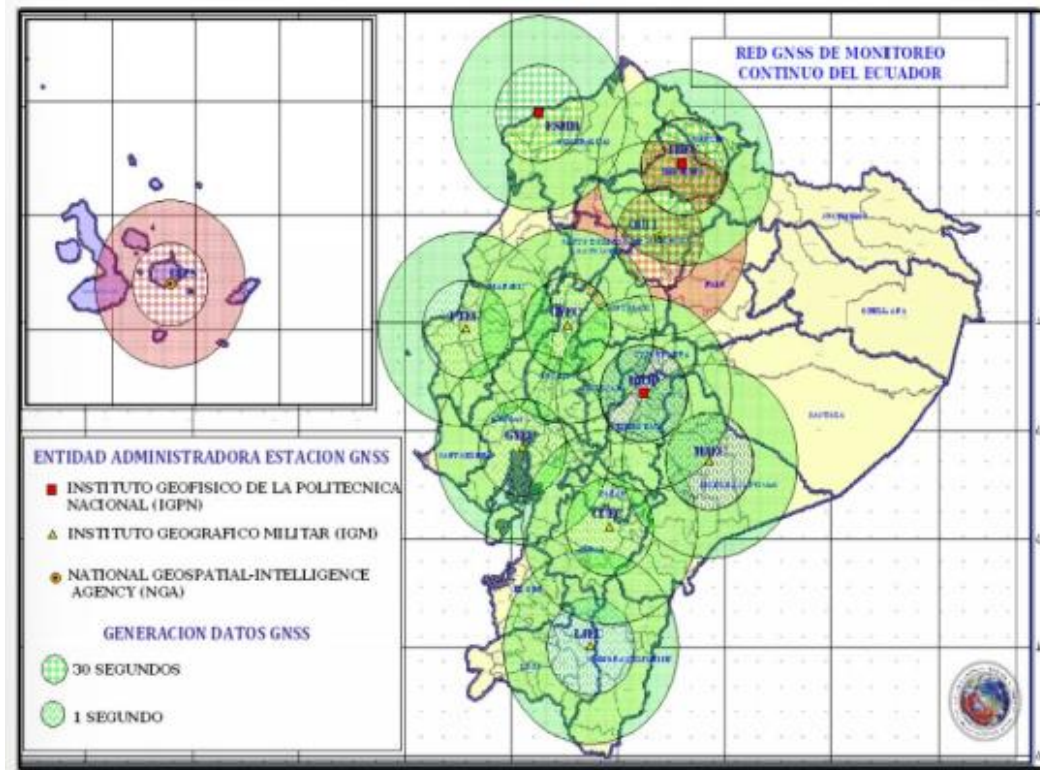
2.1.2 Marco de referencia geodésico

El marco de referencia geodésico es un sistema espacial que los ayuda a determinar una ubicación precisa especificando un punto en el territorio. Donde, El Ecuador el sistema oficial Sistema Referencia Geodésico SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para Américas), utilizado por el instituto Geográfico Militar “IGM” este sistema es fundamental para la realización de trabajos topográficos donde los proporciona asistencia para la determinación de distancias y la realización de cálculos geodésicos de alta exactitud.

El Ecuador se utiliza para la georreferenciación el SIRGAS anteriormente mencionada, obtener mediciones de mayor exactitud y eludir adversidades durante la práctica.

Figura 3.

Red “GNSS” de Monitoreo Continuo del Ecuador- REGME



Nota. Red “GNSS” de monitoreo continuo del Ecuador. Fuente: Instituto Geográfico Militar.

La utilización de marco geodésico se emplea durante la realización levantamiento topográfico con el dron con el sensor LiDAR para la georreferenciación de la superficie.

2.1.3 Ubicación Geográfica de la vía

La ubicación geográfica de un tramo vial constituye un componente vital en el proceso de planificación, ya que fluye directamente en la toma decisiones estratégicas y también en la optimización de recursos en la rama de la ingeniería civil, durante el proceso de ejecución en la construcción de proyectos viales.

Abordando el aspecto de localización geográfica del estudio, en cual se ubica en la vía Mariana de Jesús; es esencial la obtener de información en a estudio de la zona elegida,

recopilando como: aspectos topográficos, vegetación en la zona, reconocimiento del terreno, entre otras. Es crucial para establecer reconocimiento de área de estudio es fundamental obtener, elaborar e interpretar la información obtenida de las coordenadas geográficas, que permitirán el levantamiento topográfico mediante el uso de dron.

En la fase operativa se procede a configurar desplazamiento aéreo del dron, para determinar los parámetros de vuelo programado en la vía Mariana de Jesús. Este proceso es fundamental, para determinar la ubicación exacta del proyecto para mitigar y reducir posibles errores durante el proceso configuración en la ruta vuelo.

La exportación denominada “NP”, la cual consiste en la obtención de coordenadas tridimensionales alrededor de zona levantada ayudara en la creación de un modelo digital tridimensional del terreno, para la elaboración de modelos estructurales de construcción de infraestructura vial diseñada para formar parte del sistema de comunicación terrestre.

2.2 MÉTODOS UTILIZADO PARA LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Los métodos topográficos esta encargada en el diseño: vial, estructural, entre otras. A diferencia que décadas anteriores se utilizaba equipos de uso primario como: estación total, teodolito, cinta métrica, entre varias, los cuales incrementaban tiempos y generaban resultados nada fiables. En la actualidad, se dispone de equipos con tecnología más avanzada como: sistemas “GNSS”, estaciones totales electrónicas, drones con sensores “LiDAR” o fotogramétricos.

El uso de la tecnología en drones con sensores “LiDAR” ha revolucionado en muchos campos tecnológicos logrando eficiencia en la recopilación de datos. Su versatilidad, facilidad el uso y adaptabilidad a distintas aplicaciones.

2.2.1 Sistema global de navegación por satélite “GNSS”

El ente rector de la cartografía en el Ecuador es el Instituto Geográfico Militar “IGM”, esta institución tiene la función de mantener el Marco Geodésico de referencia Nacional

actualizado y viable usando técnicas de posicionamiento disponibles hoy en día, por ejemplo, los sistemas satelitales de navegación global tales como; “GPS”, “GLONASS” y en un tiempo no muy lejano el sistema para georreferenciar una coordenada llamado “GALILEO”, la cual, podría usarse como medio u instrumento para instalar una estación que bridan información de coordenadas cual facilite la ubicación de un sitio referenciado.

Esta técnica permitirá la recopilación de datos denominados “GNSS” en tiempo real; La cual. ayudará obtener señales de referencia, ondas de transmisión, emisiones satelitales, entre otros usos de georreferencia. Satisfaga, todos los requerimientos de los usuarios de sistema “GNSS” a nivel nacional e internacional.

La tecnología es parte fundamental para el desarrollo de construcciones y funcionamiento de estaciones IGM que operen de forma adecuada y justifiquen su uso. Principalmente los equipos geodésicos como “GNSS”, lo cuales realizan un proceso de monitoreo continuo permanente. Los cuales, ayudan a obtener información y datos relevantes relacionados índole topográfico, así como también a diferentes prácticas de la ingeniería civil.

La Red “GNSS” de Monitoreo Continuo del Ecuador “REGME”, se empezó a usar en el año 2008 con el apoyo de instituciones nacionales e internacionales. En el sector de la construcción de civil, la cual ha sido parte esencial en el desarrollo económico de los países alrededor de mundo. Para obtener información con mayor facilidad y fiabilidad en la precisión de información topográfica en tiempo real.

La instalación y configuración de la Red “GNSS”, fue diseñado por matrices internacionales y en el Ecuador se delegó esta responsabilidad “IGM”, para que este rector sea encargado de normar el uso y la aplicación este instrumento tecnológico.

La funcionalidad de las permanentes de la Red “GNSS” en las diferentes estaciones a nivel nacional en: costa, sierra, oriente y región insular, contribuyen en territorio nacional al desarrollo alcanzar de forma eficaz y precisa recopilación de datos y implementación uso

topográfico que coadyuven optimo proceso de construcción de tipo vial, estructural. El proceso permanente de “GNSS” en captar datos e información relevante en los procesos de planeación e implementación, ejecución de obras civiles, sin necesidad de establecer em sitio la colocación con tecnología “GPS”, que muy a menudo presentan problemas logísticos y de accesibilidad a los puntos referenciados, que provocan un aumento en el presupuesto económico en todo proceso de carácter estructural.

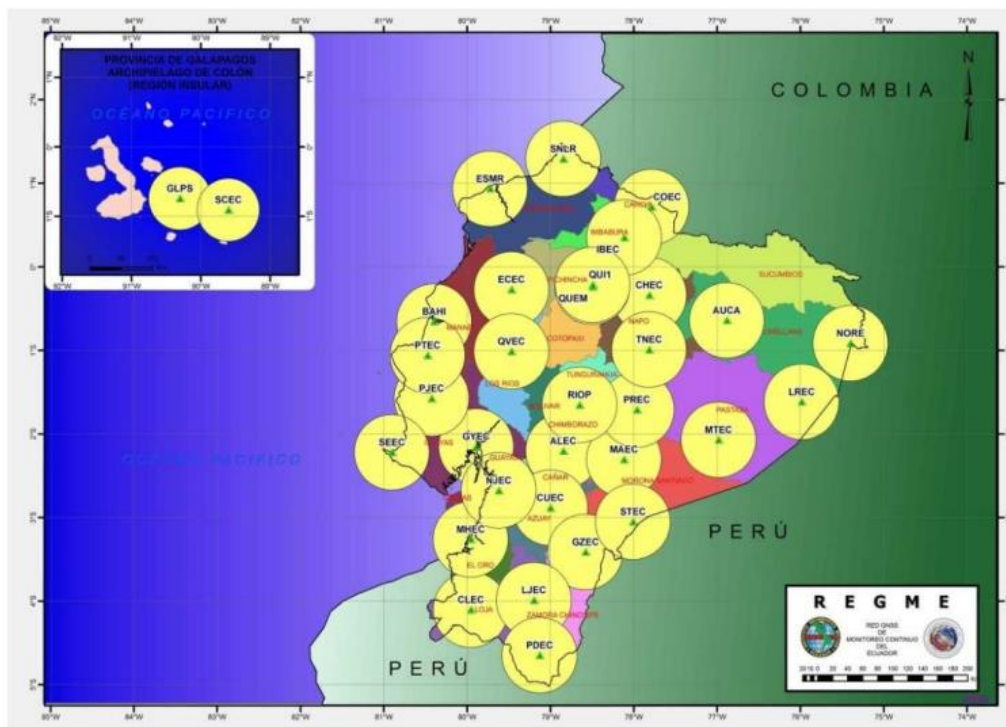
2.2.2 Principio básico de posicionamiento “GNSS”

Aplicando el principio de posicionamiento de la Red “GNSS” se logra alcanzar el mínimo error en la toma de datos, a través del uso de los registros de la Red “GNSS” de Monitoreo del Ecuador “REGME”, la cual permite obtener una inexactitud mínima de error en el rango de 2 – 5 cm de falla en el eje horizontal conforme a las condiciones topográficas del terreno levantado, el nivel de obstáculos físicos y la cantidad de información rastreada en la campaña de posicionamiento.

La Red “GNSS” de monitoreo continuo del Ecuador, conformada por 33 estaciones y su distribución y densidad brinda cobertura nacional en lugares accesibles.

Figura 4.

REGME, radio de cobertura a todo el país de 50 Km (fecha de corte, marzo de 2013).



Nota. Estación “REGME” (Red Geodésica de Monitoreo Continuo del Ecuador), con un radio de cobertura de hasta 50 km, proporcionando datos precisos para georreferenciación en tiempo real en todo el país. Fuente

2.2.3 Método de medición “RTK” (Real-Time-Kinematic)

La tecnología de medición “RTK” (Real Time Kinematic), la cual se aplica en tiempo real, es el resultando de la evolución de los equipos “GPS” es un sistema de posicionamiento de última tecnología.

Mediante se logra identificar el posicionamiento preciso en tiempo real de la superficie a ser estudiada y medida; Se refiere a la obtención de coordenadas en el momento exacto de la medición. El resultado de este proceso consiste presentar una metodología eficiente para determinar enlace de comunicación de los dispositivos de sistema “GPS” y la incorporación de un sistema informático que procesara los datos de las coordenadas proporcionada por los equipos de medición. La diferencia con el equipo convencional con tecnología “GPS” que

contiene un sistema “RTK” es que el último en mención tiene la facilidad de replanteo, permitiendo la distribución homogénea de datos en el levantamiento topográfico.

2.3 ESPECIFICACIONES DE DRON “DJI MATRICE 350 RTK”

2.3.1 Definición

El dron Matrice 350 RTK “M350 RTK” de la marca DJI es un dispositivo con tecnología aeronáutica industrial para proporcionar y gestionar un proceso de obtención análisis de los datos e información receptadas por el dron en el transcurso del vuelo, lo cual permite obtener una información más precisa y veras de las coordenadas topográficas aplicadas en un proyecto de estudio. Además, se debe mencionar que este dispositivo permite la generación de un modelo digital en 3D de la superficie seleccionada para su: procesamiento, análisis e interpretación de resultado de mediciones. Esta tecnología es muy valiosa en la rama ingeniería civil porque coadyuva a la inspección de infraestructuras, elaboración prediseños y observaciones de defectos estructurales de las edificaciones.

Figura 5.

El dron DJI “M350 RTK” ubicada en la zona cercana de la vía Mariana de Jesús



Nota. Dron DJI “M350 RTK” con todos sus componentes. Elaborado por: Los autores.

Tabla 2.

Especificaciones de dron “M 350 RTK”-Aeronave (2023)

Especificaciones de dron M350 RTK	Detalle
Dimensiones (desplegada, sin hélices)	810 x 670 x 430 mm (largo x ancho x alto)
Dimensiones (plegada, con hélices)	430 x 420 x 430 mm (largo x ancho x alto)
Distancia diagonal entre ejes	895 mm
Peso (con un solo estabilizador inferior)	Sin batería: aprox. 3.77 kg Con dos baterías TB65: aprox. 6.47 kg
Carga útil máxima del amortiguador con un solo estabilizador	960 g
Peso máximo de despegue	9.2 kg
Frecuencia de funcionamiento	24000 - 2.4835 GHz 5.150 - 5.250 GHz (CE: 5.170 - 5.250 GHz) 5.725 - 5.850 GHz En algunos países y regiones, las frecuencias de 5.1 GHz y 5.8 GHz están prohibidas, o la frecuencia de 5.1 GHz solo se permite para uso en interiores.
Potencia del transmisor (PIRE)	2.4000-2.4835 GHz: <33 dBm (FCC), <20 dBm (CE/SRRC/MIC) 5.150-5.250 GHz (CE: 5.170-5.250 GHz): <23 dBm (CE) 5.725-5.850 GHz: <33 dBm (FCC/SRRC), <14 dBm (CE)
Precisión en vuelo estacionario (con viento moderado o sin viento)	Vertical: ±0.1 m (con posicionamiento visual) ±0.5 m (con posicionamiento GNSS) ±0.1 m (con posicionamiento RTK) Horizontal: ±0.3 m (con posicionamiento visual) ±1.5 m (con posicionamiento GNSS) ±0.1 m (con posicionamiento RTK)
Precisión de posicionamiento RTK (RTK FIX)	1 cm + 1 ppm (horizontal); 1.5 cm + 1 ppm (vertical)
Velocidad angular máxima	Cabeceo: 300°/s; guiñada: 100°/s
Ángulo máximo de inclinación	30° (en modo N y con el sistema de visión frontal activado: 25°)
Velocidad máxima de ascenso	6 m/s
Velocidad máxima de descenso (vertical)	5 m/s
Velocidad máxima de descenso (inclinación)	7 m/s
Velocidad horizontal máxima	23 m/s
Altitud máxima al viento	5000 m (si se usan las hélices 2110s y con un peso de despegue ≤7.4 kg) 7000 m (si se usan las hélices 2112 de gran altitud con reducción de ruido y con un peso de despegue ≤7.2 kg)
Resistencia máxima al viento	12 m/s
Tiempo máximo de vuelo	55 minutos (medido con la Matrice 350 RTK volando a aproximadamente 8 m/s sin instrumentos en un entorno sin viento hasta que el nivel de la batería alcanza el 0 %. Los datos son solo de referencia. El tiempo de uso real puede variar según el modo de vuelo, los accesorios y el entorno. Preste atención a los avisos de la aplicación).
Estabilizadores de DJI compatibles	Zenmuse H20, Zenmuse H20T, Zenmuse H20N, Zenmuse P1 y Zenmuse L1
Configuraciones del estabilizador admitidas	Un estabilizador inferior Un estabilizador superior Dos estabilizadores inferiores Un estabilizador inferior + un estabilizador superior Dos estabilizadores inferiores + un estabilizador superior
Grado de protección IP	IP55 (el grado de protección IP no es eficaz permanentemente y puede disminuir debido al desgaste del producto)
GNSS	GPS + GLONASS + BeiDou + Galileo
Temperatura de funcionamiento	De -20 a 50° C (de -4 a 122°F)

Nota. Dron DJI “M350 RTK” sus especificaciones de la aeronave. Fuente: Manual 350 RKT-Manual de usuario (2023).

Tabla 3.

Especificaciones de dron “M350 RTK”-Control remoto (2023)

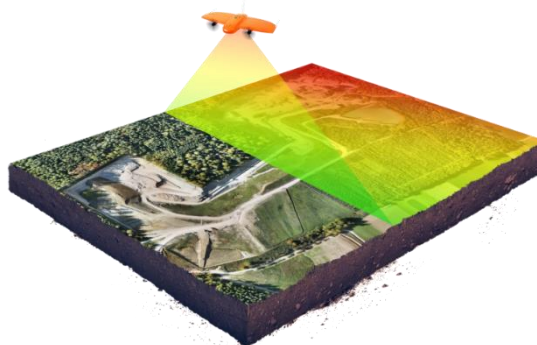
Especificaciones de controlador	Detalle
Pantalla	Pantalla táctil LCD de 7.02 pulgadas; resolución: 1920x1200; brillo máximo: 1200 nits
Peso	Aprox. 1.25 kg (sin batería WB37) Aprox. 1.42 kg (con batería WB37)
GNSS	GPS + GLONASS + BeiDou
Batería integrada	Tipo: Li-ion (6500 mAh @ 7.2 V) Tipo de carga: use la estación de baterías o el cargador USB-C de carga rápida con una potencia máxima de 65 W (voltaje máximo de 20 V). Tiempo de carga: 2 horas Sistema químico: LiNiCoAlO2
Batería externa (Batería inteligente WB37)	Capacidad: 4920 mAh Voltaje: 7.6 V Tipo: Li-ion Energía: 37.39 Wh Sistema químico: LiCoO2
Grado de protección IP	IP54
Tiempo de funcionamiento	Batería integrada: aprox. 3 horas y 18 min Batería integrada + batería externa: aprox. 6 horas
Temperatura de funcionamiento	De -20 a 50° C (de -4 a 122 °F)
Frecuencia de funcionamiento	2.4000 - 2.4835 GHz, 5.725-5.850 GHz
Potencia del transmisor (PIRE)	2.4 GHz: <33 dBm (FCC); <20 dBm (CE/SRRC/MIC) 5.8 GHz: <33 dBm (FCC); <14 dBm (CE); <23 dBm (SRRC)

Nota. Dron DJI “M350 RTK” sus especificaciones de control remoto. Fuente: Manual 350 RKT-Manual de usuario (2023).

2.4 PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGÍA LIDAR

Figura 6.

Dron equipado con sensor LiDAR para levantamiento topográfico



Nota. Representación gráfica de un levantamiento topográfico con dron mediante tecnología. Fuente: Tomado de (LiDAR vs. Fotogrametría: qué sensor elegir para una aplicación determinada – WINGTRA)

2.4.1 Definición

Se define como “LiDAR” a la tecnología de teledetección que utiliza pulso de luz láser para medir la distancia de una superficie levantada u objeto, a partir de los datos recabados, se puede crear una representación tridimensional precisa mediante la utilización del sensor “LiDAR”.

Figura 7.

El sensor “Zenmuse L2”-sensor LiDAR ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Sur



Nota. El sensor “Zenmuse L2”. Elaborado por: Los autores

2.4.2 Introducción

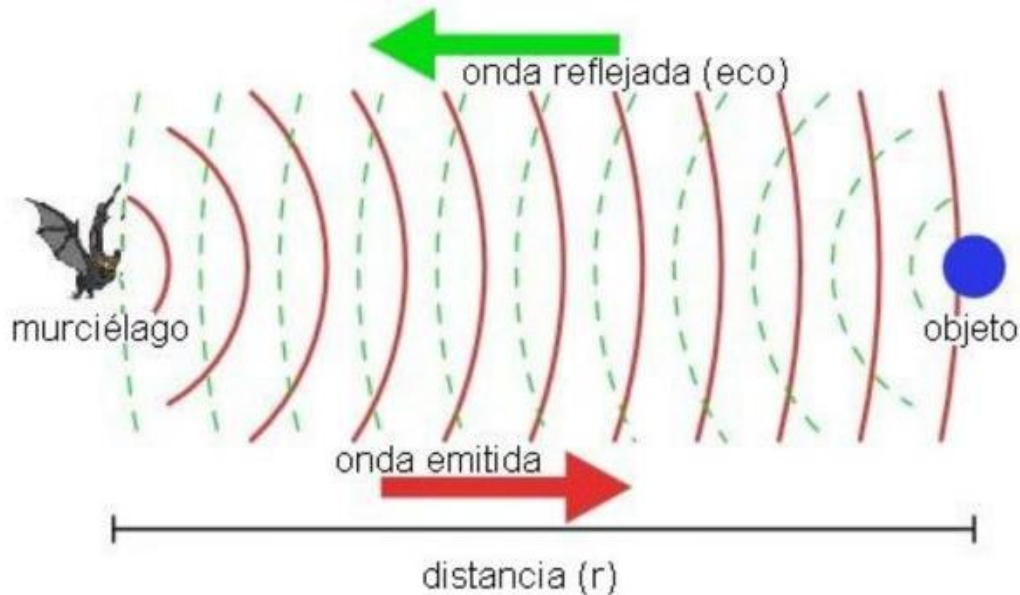
La tecnología “LiDAR” se basa en la elaboración de una nube de puntos del entorno levantando, creación de modelos digitales con un alto nivel de precisión. El sensor “LiDAR” no sólo se encuentra en drones, también está en muchos otros dispositivos como: aspiradoras, robots, vehículos o sistemas navegación segura, así como también los tipos de cámaras que proporcionan un enfoque automático más rápido y preciso.

La luz láser del sensor “LiDAR” mide el tiempo que tarda la luz en alcanzar el objetivo y regresar a su punto de origen de medición como lo hacen ciertos mamíferos como los

murciélagos que usan esta técnica denominada ecolocalización, la cual utilizan al sonido para guiarse en su proceso desplazamiento aéreo evitando obstáculos en su trayectoria de vuelo.

Figura 8.

Luz en reflejarse y regresar de similar manera a la ecolocalización murciélagos



Nota. Funciona de igual modo la ecolocalización al sensor “LiDAR” emitir ondas que rebotan en un objeto. Fuente: Tomado de (Ecolocalización: qué es y animales que la utilizan– Ecologiaverde).

El sensor “LiDAR” emite pulsos de luz láser a corta longitud de onda, la cual usa un sistema infrarrojo invisible para el ojo humano; La luz láser rebota en los objetos y superficie seleccionada, una parte de la luz láser emitida regresa al sensor y se procede a la medición de tiempo que tarda el pulso en recorrer la distancia de ida y vuelta.

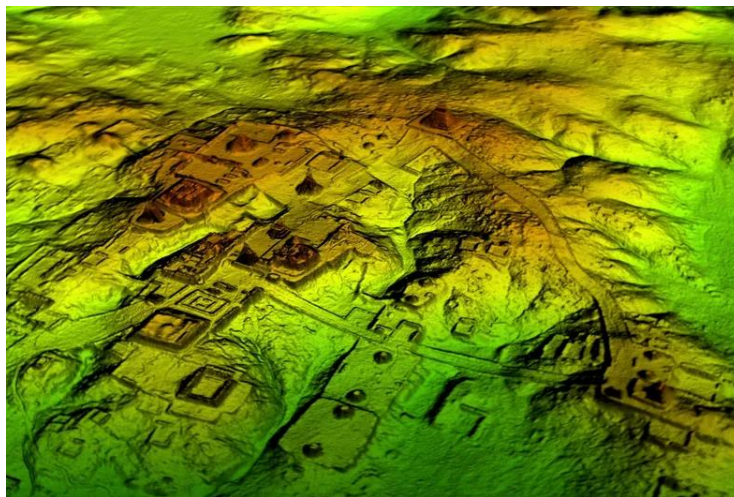
La velocidad de la luz emitida por el sensor “LiDAR” ayuda a calcular la distancia del objeto con un nivel alto de precisión. La información recopilada por la medición de la distancia recorrida de cada punto láser se combina con una “NP” tridimensional, una representación precisa de la superficie analizada. Otra ventaja proporcionada por la tecnología “LiDAR” es obtener datos de alta precisión de la distancia examinada, lo que permite crear nubes de puntos detallados y verosímiles. La tecnología “LiDAR” funciona en condiciones de iluminación

variables, inclusive en la oscuridad, su aplicación es ideal para diferentes procesos de creación de infraestructura interna y externa de edificaciones.

La luz láser en la tecnología “LiDAR” puede penetrar la vegetación hasta cierto punto, lo que permite la creación de mapeo topográfico, usado ampliamente para crear mapas precisos de terrenos como: edificios o estructuras arqueológicas. Como lo hacen los arqueólogos la usan para descubrir zonas de poco acceso y sitios arqueológicos de difícil acceso.

Figura 9.

La tecnología láser conocida como “LiDAR” retira digitalmente la cubierta forestal para revelar ruinas.



Nota. Esquema sobre un levantamiento topográficos mediante sensor “LiDAR” representando un modelo digital de alturas “DEM”. Fuente: Tomado de (Así es cómo los láseres están revolucionando la arqueología-NATIONAL GEOGRAPHIC)

El sensor “LiDAR” es crucial para analizar de la zona geográfica detectando diferentes obstáculos. Se utiliza este sensor se aplica para investigar los comportamientos en los cultivos para mejorarlos y lograr su máximo rendimiento produciendo productos adecuados para el consumo humano bajo altos estándares de proceso de calidad, optimizando la gestión agrícola en la rama de la ingeniería agrícola.

La aplicación de sensor “LiDAR” en la rama ingeniería civil es crucial para la planificación e implementación de proyectos de construcción en procesos de inspección, medición de áreas, descartando defectos de tipo estructural en las construcciones.

2.4.3 Emisor y láser con tecnología “LiDAR”

La parte de la tecnología “LiDAR” conocida como emisor es un componente del sistema que tiene como objetivo de emitir pulsos de luz láser dirigidos hacia la superficie del terreno u objeto designado. Los pulsos de luz son detectados por el sensor, la cual reflejan la información de la coordenada tridimensional obtenidas.

2.5 ESPECIFICACIONES DEL SENSOR “LIDAR ZENMUSE L2”

2.5.1 Introducción

En el sensor “LiDAR Zenmuse L2” viene incomparado una “IMU” (Unidad de Medición Inercial), desarrollado por “DJI”, es un instrumento compatible con ciertas aeronaves de la marca “DJI” como por ejemplo el dron “M350 RTK”. Su operatividad genera la emisión de ondas láser que emplea el sensor “LiDAR” para la medición de distancias. La tecnología “LiDAR” combina los datos georreferenciados con imágenes en tres dimensiones, que ayuda a la implementación y el uso de modelos digitales del terreno.

2.5.2 Características del sensor “LiDAR Zenmuse L2”

2.5.2.1 General

Tabla 4.

Especificaciones generales del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

Características técnicas	Especificaciones
Dimensiones	155x128x176 mm (largoxanchoxalto)
Peso	905 ± 5 gramos
Alimentación	28 W (normal) 58 W (máx)
Índice de protección	IP54
Temperatura de funcionamiento	De -20 a 50 °C (de -4 a 122 °F)
Temperatura de almacenamiento	De -20 a 60 °C (de -4 a 140 °F)
Aeronave compatible	Matrice 350 RTK Matrice 300 RTK (requiere DJI RC Plus)

Nota. “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023) especificaciones generales. Fuente: “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

2.5.2.2 Rendimiento del sistema

Tabla 5.

Especificaciones de rendimiento del sistema del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

Características técnicas	Especificaciones
Alcance de detección	450 m al 50 % de reflectividad, 0 klx 250 m al 10 % de reflectividad, 100 klx
Tasa de nube de puntos	Devolución única: máx. 240.000 pts/s Devoluciones múltiples: máx. 1.200.000
Precisión del sistema	Horizontal: 5 cm a 150 m Vertical: 4 cm a 150 m
Codificación de colores de nubes de puntos en tiempo real	Reflectividad, Altura, Distancia, RGB

Nota. “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023) especificaciones de rendimiento de sistema. Fuente: “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

2.5.2.2.1 Intervalo de detección

Midiendo una superficie plana cuyo diámetro tenga un ángulo que sea mayor a la dimensión del láser, que genere un ángulo perpendicular de influencia y se logra una visualización espacial de aproximadamente de veintitrés mil metros. Se sugiere aplicarlo en

espacios carentes de luz, para que los rayos láser alcancen la dirección correcta o requerida para lograr una óptima dirección al momento de su emisión. Al alcanzar diversos objetivos, el láser sufre una división en su potencia total al producir una transmisión de rayos láser , pudiéndose producir una disminución en la cobertura esperada, tomando en cuenta que existe una limitación de aproximadamente medio kilómetro.

2.5.2.2.2 Precisión del sistema

La medición se realizará tomando en cuenta el diseño estructural identificado en el laboratorio de “DJI” al instalar el sensor “LiDAR Zenmuse L2” a un dron “M350 RTK”, y con ello se podrá diseñar de una forma efectiva una bitácora de vuelo que contenga el sistema de navegación inercial. Mediante la realización de escaneos repetitivos haciendo uso del equipo “RTK”.

Tomando como referencia que el sensor “LiDAR” opera de manera óptima a una altura no mayor de ciento cincuenta metros de altitud, alcanzando una velocidad de cincuenta y cuatro kilómetros por hora y se presenta un ángulo de desfase de menos noventa grados, en un kilómetro y medio.

El terreno posee elementos con características angulares perceptibles, y usaba puntos de referencia en la trayectoria presentando una similitud de una forma dispersa en el modo de reflexión.

Poniendo en uso la aplicación de “DJI Terra” posterior a la ejecución se mejora el diseño de nube de puntos.

Se utilizo “DJI Terra” para realizar el posprocesamiento con optimizar la “NP” activa. Bajo las mismas situaciones para la optimización de la nube de puntos, la cual no se encuentra activada, la precisión asimétrica vertical es de cuarenta milímetros y la precisión asimétrica horizontal ochenta milímetros.

2.5.2.3 LiDAR

Tabla 6.

Especificaciones de LiDAR del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

Características técnicas	Especificaciones
Precisión de medición (RMS 1σ)	2 cm a 150 m
Retornos máximos admitidos	5
Modo de escaneo	Patrón de escaneo no repetitivo, Patrón de escaneo repetitivo
Campo de visión	Patrón de escaneo repetitivo: Horizontal 70°, Vertical 3° Patrón de escaneo no repetitivo: Horizontal 70°, Vertical 75°
Alcance de detección mínimo	3 metros
Divergencia del rayo láser	Horizontal 0,2 mrad, Vertical 0,6 mrad
Longitud de onda del láser	905 nm
Tamaño del punto láser	Horizontal 4 cm, vertical 12 cm a 100 m (FWHM)
Frecuencia de emisión del pulso láser	240 KHz
Seguridad láser	Clase 1 (IEC 60825-1:2014)
Límite de emisión accesible (AEL)	233.59 nJ
Apertura de referencia	Apertura efectiva: 23,85 mm (equivalente a circular)
Potencia máxima de emisión de pulso láser en 5 nanosegundos	46.718 W

Nota. “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023) especificaciones de “LiDAR”. Fuente: “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

2.5.2.3.1 Precisión de medición

Bajo en un espacio con temperatura cerca de veinticinco grados centígrados y un objetivo que posee con un índice de reflectancia de 0.8, y una separación de ciento cincuenta metros de longitud. Al realizar una prueba real arrojaría resultados opuestos al espacio previamente mencionado. Tomando en cuenta que la información proporcionada en las especificaciones técnicas del “LiDAR” son de tipo referencial.

2.5.2.4 Sistema “IMU”

Tabla 7.

Especificaciones de Sistema “IMU” del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

Características técnicas	Especificaciones
Frecuencia de actualización de la IMU	200 Hz
Rango del acelerómetro	±6 g
Rango del medidor de velocidad angular	±300 dps
Precisión de guiñada (RMS 1 σ)	Tiempo real: 0.2°; posprocesamiento: 0.05°
Precisión de inclinación/rotación (RMS 1 σ)	Tiempo real: 0.05°; posprocesamiento: 0.025°
Precisión de inclinación/rotación (RTK FIX)	Horizontal: 1 cm + 1 ppm Vertical: 1.5 cm + 1 ppm

Nota. “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023) especificaciones de sistema “IMU”. Fuente: “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

2.5.2.5 Cámara de mapeo RGB

Tabla 8.

Especificaciones de cámara de mapeo “RGB” del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

Características técnicas	Especificaciones
Sensor	4/3 CMOS, píxeles efectivos: 20 MP
Objetivo	Campo de visión (FOV): 84° Equivalente de formato: 24 mm Apertura: f/2.8-f/11 Puntos de enfoque: 1 m a ∞ (con enfoque automático)
Velocidad de obturación	Obturador mecánico: 2-1/2000 s Obturador electrónico: 2-1/8000 s
Recuento de obturador	200 000
Tamaño de la foto	5280x3956(4:3)
Modos de fotografía	Disparo único: 20 MP Temporizado: 20 MP JPEG Intervalo temporizado: 0, 7/1/2/3/5/7/10/15/20/30/60 s RAW/JPEG + RAW Intervalo temporizado: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
Codificación y resolución de vídeo	H.264, H265 4K: 3840x2160 a 30 fps FHD: 1920x1080 a 30 fps
ISO	Vídeo: 100-6400 Foto: 100-6400
Tasa de bits de vídeo	4K: 85 Mbps FHD: 30 Mbps
Sistema de archivos compatible	exFAT
Formato de la fotografía	JPEG/DNG (RAW)
Formato de vídeo	MP4 (MPEG-4 AVC/H.264)

Nota. “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023) especificaciones de cámara de mapeo “RGB”.

Fuente: “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

2.5.2.6 Cardán

Tabla 9.

Especificaciones de cardán del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

Características técnicas	Especificaciones
Sistema de estabilización	3 ejes (inclinación, rotación, giro)
Intervalo de vibración angular	0,01°
Montaje	DJI SKYPORT desmontable
Rango mecánica	Inclinación: -143° a +43° Giro: ±105°
Intervalo controlable	Inclinación: -120° a +30° Giro: ±90°
Modo de operación	Seguir/Liberar/Volver a centrar

Nota. “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023) especificaciones de cardán. Fuente: “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

2.5.2.7 Almacenamiento de datos

Tabla 10.

Especificaciones de almacenamiento de datos del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

Características técnicas	Especificaciones
Almacenamiento de datos en bruto	Archivos de fotografía/Nube de puntos/GNSS/Calibración
Almacenamiento de datos en nubes de puntos	Almacenamiento de datos de modelado en tiempo real
Tarjetas microSD compatibles	MicroSD: Velocidad de escritura secuencial de 50 MB/s o superior y clasificación UHS-I de grado 3 o superior; capacidad máxima: 256 GB
Tarjetas microSD recomendadas	Lexar 1066x 64GB U3 A2 V30 microSDXC Lexar 1066x 128GB U3 A2 V30 microSDXC Kingston Canvas Go! Más 128GB U3 A2 V30 microSDXC Lexar 1066x 256GB U3 A2 V30 microSDXC

Nota. “Zenmuse L2” admite la función Código de seguridad. En la sección de Datos y privacidad en “DJI Pilot 2” se establece el código para cifrar la tarjeta microSD instalada en la cámara. Fuente: “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023) especificaciones de almacenamiento de datos.

2.5.2.8 Procesamiento

Tabla 11.

Especificaciones de procesamiento de datos del equipo “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

Características técnica Especificaciones	
Software compatible	DJI Terra
Formato de datos	DJI Terra admite la exportación de modelos de nubes de puntos en los siguientes formatos: PNTS/LAS/PLY/PCD/S3MB

Nota. “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023) especificaciones de procesamiento de datos. Fuente: “Zenmuse L2”-Manual de usuario (2023).

2.6 PARÁMETROS DE DESPLAZAMIENTO AÉREO DEL DRON MATRICE 350 RTK

2.6.1 Creación de ruta para la configuración del tipo de vuelo

La opción de la creación de ruta en el dron “M350 RTK” con la aplicación “DJI Pilot 2”, brinda a los requerimientos del levantamiento según el tipo de proyecto adaptándose a la naturaleza de la superficie de estudio.

Entre las opciones más utilizadas son:

- Ruta de trayectoria
- Ruta de zona
- Oblicuo
- Ruta lineal

Figura 10.

Todos los tipos de vuelo automático en la aplicación “DJI Pilot 2” dependiendo el tipo de proyecto



Nota. La conformación de cada tipo de vuelo automático según el tipo de necesidad del levantamiento Fuente. Manual de usuario de dron “DJI M350 RTK”-Misión de vuelo Pag. 103.

Configurado el desplazamiento aéreo del dron, es importante tener en cuenta tipo de proyecto adecuado según la necesidad propuesta del proyecto. Se debe tener en cuenta el propósito del diseño topográfico haciendo uso de esta aeronave no tripulado según sus especificaciones. La configuración de ruta más utilizada para levantamientos topográficos es la “Ruta de zona”, misma que permite la recolección de información técnica en 2D/3D necesarios para la creación e implementación de la “NP” en forma digital.

2.6.2 Ajuste de posicionamiento preciso mediante “RTK” en el dron Matrice 350 RTK

El ajuste de posicionamiento preciso consiste en un equipo diseñado para la conexión de una ubicación de un punto específico, la cual se encuentre georreferenciado para facilitar la vinculación con el sistema de navegación satelital. El método de posicionamiento de “RTK” en la aplicación “DJI Pilot 2”, resulta esencial para la realización de la aplicación de tipo topográfico, este se encontrará georreferenciado que ayudará a obtener un conjunto de datos espaciales, que se encuentre georreferenciado con una alta precisión. Su funcionamiento operativo utilizara señales de tipo “GNSS” y “RTK”. Las cuales, permitirán alcanzar una alta precisión en el posicionamiento satelital. El dron incorpora un sistema de navegación moderna que su funcionamiento se realiza por medio de los sistemas mencionados.

Los sistemas combinan un receptor “GNSS” con la tecnología “RTK” señaladas previamente que se ejecutan de manera paralela. El sistema “GNSS” facilita la operación conjunta con el dron, logrando recibir señales de múltiples como: “BeiDou” (China), “Galileo” (Unión Europea), “GPS” (Estados Unidos) y “GLONASS” (Rusia). Las conexiones mencionadas amplían el alcance de cobertura de forma efectiva en la captura de los datos de posicionamiento mientras se establece la conexión del dispositivo. El dron “M350 RTK”, incorpora la tecnología “RTK” la cual permite el receptor que trabaje en tiempo real las señales satelitales a través de una red de referencia conocida como “NTRIP” (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol).

La red de este sistema los proporciona la corrección de posibles errores provocados por factores atmosféricos. La cual, asegura la precisión de los datos obtenidos durante en levantamiento topográfico con dron para adquisición de sus coordenadas espaciales.

2.6.3 Selección de instrumento para el trabajo

2.6.3.1 Seleccionar el modelo de aeronave

La selección de modelo es primer paso de la configuración de vuelo, es fundamental la elección correcta de dron según disposición que tengamos para nuestro proyecto y la disponibilidad del modelo. La aplicación de “DJI Pilot 2”, proporciona la capacidad de reconocer el tipo de dron que dispongamos por ejemplo el “M350 RTK”, “M300 RTK”, entre otros.

2.6.3.2 Seleccionar el modelo de cámara

La elección correcta del tipo de cámara que vayamos a utilizar según el requerimiento del vuelo. Cada tipo de cámara presente en la opción de la aplicación “DJI Pilot 2”, según el proyecto de estudio que vayamos a ejecutar como: fotogramétrica “RBG” o con un sensor “LiDAR”. Es fundamental escoger la cámara adecuada en función de los requerimientos del trabajo de investigación, con el fin de garantizar una recolección de datos eficientes.

La selección de la cámara representa un elemento clave en el levantamiento topográfico con dron, siendo indispensable para obtención de datos. El sensor “LiDAR” o su nombre técnico “Zenmuse L2” asume un rol clave en la configuración inicial del dron. Dicha tecnología permite funcionar en su totalidad en el procesamiento en el programa “DJI Terra” para garantizar la confiabilidad de la información recopilada.

2.6.3.3 Seleccionar objetivo

La selección del objetivo, se define el tipo de topografía asistida por dron que se llevará en el transcurso de la práctica desarrollada. La aplicación “DJI Pilot 2” dispondrá de dos opciones principales como: “LiDAR Mapping” y Fotogrametría. Esta configuración permitirá obtener características detalladas de acuerdo con el tipo de proyecto que desarrollemos.

- **“LiDAR Mapping”:** consiste en el uso de la tecnología “LiDAR” que utiliza un sensor láser para adquisición exacta de la nube de puntos por metro cuadrado del entorno, generando puntos con coordenadas tridimensionales. Esta técnica es esencial para el cálculo de áreas, la elaboración de modelos digitales y planificación de proyectos de construcción.
- **Photogrammetry:** se basa en la superposición de imágenes capturadas por un sensor óptico RGB, la cual contribuye en la producción de ortofotos y representaciones de modelos en 3D mediante la utilización de programas de procesamiento. Este método es comúnmente utilizado en: proyectos urbanos, cartografía de superficie y diseño de elevación de la superficie.

2.6.4 Configuración de instrumentos

La configuración de instrumentos en la aplicación “DJI Pilot 2”, contribuye a garantizar la fiabilidad de los registros recolectados y registrados durante el levantamiento topográfico. Los principales parámetros para configurar incluyen los siguientes.

2.6.4.1 Modo de retorno

La configuración de modo de retorno tiene como objetivo almacenar la información de cada pulso reflejado con el láser de sensor “LiDAR” de manera óptima. En donde su función se encuentra en automático es imprescindible para la seguridad de dron para el retorno al punto de origen actúa, como un parámetro de vuelo primordial que permite la automatización frente a eventos como: pérdida de conexión, batería baja o intervención manual del operador.

2.6.4.2 Tasa de muestreo

La tasa de muestreo se refiere a los ajustes que determinan la frecuencia de escaneo, la cual establece la frecuencia pulsos de láser generados por segundo, y se expresa en pulsos por segundo (Hz) que es una medida de frecuencia.

Una mayor tasa de muestreo incrementa la acumulación de las coordenadas tridimensionales en la “NP”, lo cual incrementa el nivel de calidad del proyecto, a mayor resolución del modelo generado. Aunque, el aumento de la tasa de muestreo contribuye en la calidad del proyecto esto implicar un mayor tamaño de datos, la cual dificultad en el procesamiento en el programa “DJI Terra”. Es necesario incrementar la capacidad para asegurar resultados de alta calidad.

2.6.4.3 Modo de exploración

La configuración de modo de exploración es un análisis más optimizado y adaptado a las necesidades del proyecto. El modo de exploración tiene la finalidad de realizar vuelos automáticos verificando la ejecución de la misión

2.6.4.4 Adición de color “RBG”

Esta adición de color “RBG” permite valoraciones en los datos geoespaciales que se representen con color por cada punto generado en el sensor “LiDAR”, mejorando la percepción visual del modelo y facilitando los distintos elementos presentes en el entorno levantado.

2.6.5 Colección orto

La colección orto hace referencia a un modo donde no se implica mucho la inclinación desproporcionada de la zona de estudio. En cuyo caso es la captura de imágenes que pretende maximizar el ajuste de los resultados de acuerdo al tipo de la variedad del terreno, así como diseño morfológico de la superficie. Al contrario de una fotografía aérea convencional, el método orto hace posible la corrección de errores derivados de la perspectiva o la inclinación de la cámara.

Lo cual, hace mejora la precisión geométrica. En la aplicación “DJI Pilot 2”, el método orto es muy utilizado en levantamientos como: mapas detallados, topografías, planificación vial y monitoreo ambiental.

2.6.6 Colección oblicua

La colección oblicua hace alusión a una técnica en la que método implica zonas con elevada inclinación o posicionadas de forma vertical. Este modo de operación se emplea en cámaras orientadas en ángulos inclinados, lo que posibilita la recolección de capturas imágenes de forma vertical y lateral.

De este modo se logra la captura de objetos o estructuras desde múltiples puntos de vista. Este proceso habilita la recopilación de datos más precisos en tres dimensiones y representaciones espaciales más completas de la zona. La aplicación “DJI Pilot 2”, el método oblicuo es ampliamente empleado en levantamientos que involucran edificaciones laterales, fachadas y topografía compleja con relieves muy pronunciadas.

2.6.7 “GSD” (Ground Sample Distance)

La configuración “GSD” tiene como significado en español (Distancia de Muestra Terrestre) representa un parámetro fundamental en la obtención de imágenes geoespaciales en tiempo real durante el levantamiento. Esta distancia de muestra terrestre tiene como finalidad abarcar un solo píxel en una imagen aérea.

Permite determinar cuanta superficie terrestre representa cada píxel capturado, lo que resulta fundamental para la diferenciación de entornos.

Es condicionado principalmente por:

- Movimiento altitudinal del vuelo
- La resolución de la cámara
- La longitud focal del objetivo

Debe considerarse el ajuste “GSD” un rol determinante en la adquisición de capturas. Un valor bajo de “GSD” resulta imprescindible en situaciones de alta demanda un grado de detalle elevado. Este parámetro es empleado en estudios morfológicos del terreno y en el diseño digital del espacio terrestre con una alta resolución.

Un valor alto de “GSD” suele ser adecuado para tareas de mapeo general o actividades de monitoreo y la unidad del “GSD” va a estar expresado en unidades métricas por lo general se mide en centímetro por píxel (cm/píxel).

2.6.8 Densidad de nube de puntos (puntos/m²)

La acumulación de coordenadas tridimensionales o espaciales en la “NP” que representa un aspecto básico en la captura de datos en el levantamiento topográfico realizado con dron, mediante la tecnología “LiDAR” o fotogrametría. Esta configuración se caracteriza por el número de puntos capturados por unidad de área, generalmente se expresa en puntos por metro cuadrado (puntos/m²).

La representación de cada punto de la nube es tridimensional conformada por una (profundidad, ancho y altura). Lo que posibilita conocer la ubicación precisa de cada punto capturado, determinando de manera sencilla el elemento levantado.

Una mayor densidad de puntos contribuye a alcanzar una representación exacta de los elementos y precisión en la información geoespacial obtenido. Por el contrario, una reducción de datos geoespaciales en la nube de puntos puede resultar en una resolución menor en la información recopilada. La ventaja de tener un nivel mínimo de registros georreferenciales en la elaboración de las mediciones obtenidas lo que facilita la interpretación de las coordenadas en el programa anteriormente mencionado.

La densidad de puntos va a estar condicionada a los siguientes criterios:

- Altitud de desplazamiento aéreo
- La frecuencia de la señal “RTK”
- La velocidad del dron
- La configuración avanzada del sensor “LiDAR”

Todos estos parámetros resultan primordiales para una adecuada densidad de puntos para garantizar el prestigio del proyecto realizado. Permitir cumplir los objetivos establecidos del proyecto.

2.6.9 Modo de altitud

La configuración de modo de altitud sirve para gestionar la altura establecida durante la ejecución del vuelo automático. Este parámetro resulta crucial para la realización de proyectos topográfico, la cual contribuye a la veracidad de las mediciones registradas y confiabilidad durante la elevación de dron. Las condiciones particulares de esta configuración es la seguridad del vuelo y la exactitud de las coordenadas reales.

Las principales opciones de altitud son:

- **Relativo al punto de despegue (ALT):** Este modo de altitud se refiere el lugar de partida donde va a desplegarse el dron con una altitud constante se mide desde el nivel de despegue 0 metros, esta configuración se va a encontrar por default en la aplicación “DJI Pilot 2”. La configuración “ALT” es muy utilizado en levantamientos de superficies de topografía uniforme o zonas de baja pendiente. La desventaja más común es cuando se elabora en terrenos con pendientes elevadas afectando la resolución “GSD” y la identificación modelos de puntos en tres dimensiones.
- **ASL (EGM96):** El sistema de referencia “EGM96” (Earth Gravitational Model 1996) hace significado en español un modelo gravitacional de la tierra. Se refiere a la altitud respecto al nivel del mar. Es Indispensable para la ejecución de proyectos que hacen requerimiento de datos geodésicos. Se maneja en coordenadas georreferenciados, compatibilidad con sistemas “GNSS” referenciando con un alto grado detalle y modelos de elevación mundial.
- **AGL:** Esta configuración se refiere a la altitud respecto al nivel de terreno. La cual, los permite mantener una altura constante paralela al suelo. Se emplea para terrenos complejos o zonas de relieve irregular. La que permite facilitar la exportación del modelo digital de terreno en la aplicación “DJI Pilot 2” y representar la mejor opción para la realización de un levantamiento topográfico asegurando la estabilidad en la distancia entre sensor “LiDAR” respecto al terreno.

2.6.10 Altitud y altura constante

La configuración de altitud y altura constante es fundamental para la correcta exportación de datos extraídos que se encuentra en los parámetros de movimiento aéreo al

aplicar el sistema de configuración del dron, corresponde a la altura de vuelo establecida respecto al terreno del proyecto programado. La adecuada configuración de este parámetro es esencial para garantizar la calidad de los resultados recolectados y perfeccionamiento en la generación de la “NP”.

La importancia de la configuración correcta como:

- La colocación de forma uniforme para la adecuada información de los datos recolectados.
- La operación de vuelo de forma segura con el fin evitar cualquier contratiempo y minimizar el riesgo del dispositivo.
- La calidad de vuelo esto quiere decir la optimización de tiempo al seleccionar la correcta altitud y altura constante para eludir datos erróneos.

2.6.10.1 Optimización de la elevación

El ajuste de la optimización de la elevación es un proceso automático la cual modifica la altitud de vuelo. La cual, se ajusta para optimizar la confiabilidad en los datos obtenidos. Esta configuración es utilizada en relieves irregulares para la captura de imágenes de forma oblicua al final de vuelo. Las imágenes oblicuas son muy útiles para ayudar obtener la mejor calidad en procesamiento de datos. La utilización de la optimización de la elevación es muy adecuada para la ejecución de modelos 3D.

2.6.11 Altitud de despegue segura

La altitud de despegue segura representa un criterio esencial para la seguridad de dron este parámetro de trayectoria aérea determina la altitud mínima inicial de la tuta de vuelo en el dron alcanza de forma inmediata al despegar y garantizar que el dron se eleve de forma vertical hasta llegar una altitud segura. Su funcionamiento consiste en asegurar que el dron vuele de forma paralela al terreno. Lo cual, ayuda prevenir impactos con obstáculos alrededor de la zona como: cables de poste, árboles, edificaciones y topografía demasiado irregular. La

importancia de este parámetro de vuelo aporta estabilidad de vuelo inicie de forma vertical durante el proyecto de levantamiento y la otra importancia es para evitar daños en los materiales de dron como sus hélices entre otros es valioso tener en cuenta esto en zonas urbanas donde encuentre elementos que interfieran con la trayectoria de vuelo.

2.6.11.1 Ajuste del Sistema de Navegación inercial

La corrección en la calibración del sistema de navegación inercial, la cual en inglés significa (Inertial Measurement Unit), donde en la movilidad del dron asiste en forma adecuada en la toma de mediciones asegurando la exactitud de los mismos contribuyendo en la información de vuelo y posicionamiento del dron. Se encarga en contener una unidad de acelerómetros y giróscopos. La que está encargada en la detección de movimiento durante la misión de vuelo la que trabaja en un entorno espacial es fundamental la calibración para su orientación y estabilidad durante un levantamiento con escaneo “LiDAR”.

2.6.12 Velocidad

La configuración de la velocidad de vuelo del dron es fundamental para garantizar la precisión en la captura de datos. Hace alusión a velocidad a la que el dron recorre una trayectoria específica en la aplicación “DJI Pilot 2” se expresa metro por segundo (m/s). La velocidad va a estar según la rapidez que se encuentre automatizado en caso de que se presenta más velocidad se reflejara con menor precisión en la recopilación de información y menor celeridad va a lograr la calidad de la toma de datos sea con mayor precisión, pero una desventaja la batería del dron se va a consumir más rápido dependiendo el tipo de proyecto con el sensor “LiDAR” por va en función los puntos capturados por metros cuadrados (m²/pts). En levantamientos donde necesita una mayor calidad de detalle en la superficie resulta crucial tener en cuenta: conjunto acumulado de puntos georreferenciados, el consumo de batería, tiempo de vuelo y el tipo de requerimiento del modelo digital del terreno.

2.6.13 Ángulo de rumbo

El ángulo de rumbo es aquel ángulo orientando hacia el norte geográfico. En la aplicación “DJI Pilot 2” consiste en que es la orientación de la aeronave. Esta configuración es clave el control de dron durante el levantamiento topográficos con el sensor “LiDAR” en una misión automática.

2.6.14 Al finalizar

La configuración finalizar mediante el software del mando del dron es para la automatización de vuelo programados de aterrizaje para definir su punto de llegada una vez ya completado su misión. La importancia, la cual resulta fundamental para garantizar la integridad del equipo y la eficiencia durante la operación para la recolección de datos con el fin de garantizar la calidad de trabajo.

Las opciones para el punto de regreso del dron son:

- **Regresar al punto de origen “RTH”:** Esta configuración autónoma para el vuelo del dron los permite despegar desde el punto origen del dron y aterrizar al mismo sitio de vuelo. Es referencial para evitar cualquier riesgo hacia el equipo evitando el agotamiento de la batería y comúnmente realización en la mayoría de las misiones en la aplicación “DJI Pilot 2” para la realización de levantamiento topográficos.

Entre otras como:

- Aterrizar
- Flotar
- Repetir misión

La adecuada configuración de este desempeña un rol determinante al finalizar el vuelo ya que puede ayudar prevenir accidentes previos por pérdida de señal o batería insuficientes y la seguridad del dron a condiciones climáticas irregulares en zonas complejas.

2.6.15 Configuración avanzada

2.6.15.1 Superposición lateral “LiDAR”

Este parámetro es muy importante, con el fin de procesar coordenadas obtenidas en el campo porque afectan directamente en la calidad, precisión de los datos capturados y la extracción de información espacial. Implica el porcentaje de área para asegurar que no se encuentre puntos vacíos durante en el procesamiento de los datos.

2.6.15.2 Superposición lateral (Visible)

Consiste este ajuste en la mejora en la captura de datos de formar paralela, pero hay un contra durante el procesamiento de los datos se hace más difícil más cuando el porcentaje de este es mayor 70% por el tamaño del documento y procesar se hace un verdadero reto. La creación de mediciones geoespaciales es para garantizar que no exista espacios vacíos en la superficie. Se alcanza con esta configuración para el desarrollo de representaciones tridimensionales de la superficie, la misma que, se encuentra con información más precisa y con menos error.

2.6.15.3 Superposición frontal (Visible)

La configuración de la superposición frontal se basa en porcentaje entre las imágenes consecutivas en la misma franja de vuelo. Esto ayuda para la calidad de la toma imágenes y mejorar durante la realización de modelos en 3D.

2.6.16 Comprobación previa al vuelo

Por último, la verificación posterior al despegue del dron resulta fundamental verificar cada uno de los parámetros previamente configurados. Con el fin de llevar a cabo un levantamiento más eficiente y garantizar el despliegue seguro, sin poner en riesgo la integridad del equipo. La verificación también es útil para asegurar la inmutabilidad y perfeccionar el análisis ejecutado.

Revisión de parámetros de cámara y sensores:

- **Chequeo del estado del dron:** Realizar una revisión detallada sobre las hélices, los brazos del dron y trenes de aterrizaje. Verificar que no obtenga fisuras y daños.
- **Comprobación de la capacidad de carga:** Comprobación del estado de la batería de cada una de las baterías del dron, el control remoto y la estación base “RTK”.
- **Montaje y aseguramiento del sensor “LiDAR”:** Comprobación de la colocación correcta del sensor “LiDAR” que se encuentre correctamente instalado e inspección del seguro que se encuentre de forma apropiada ajustado.
- **Inspección previa de los parámetros de vuelo:** Ejecutar una inspección acerca de la altitud de despegue, desplazamiento de dron y trayectoria de vuelo. Revisión de zonas restringidas evitando cualquier contratiempo.

2.7 CONFIGURACIÓN “DJI TERRA”

2.7.1 Tipos de misiones

2.7.1.1 Visible Light (Luz visible)

Las fotografías capturadas por la cámara son utilizadas para generar un modelo 2D o un modelo 3D con una precisión alta. Ya con el resultado de generación del modelo o mapa, los internautas pueden describir anotaciones y establecer diferentes distancias.

2.7.1.2 Multispectral (Multiespectral)

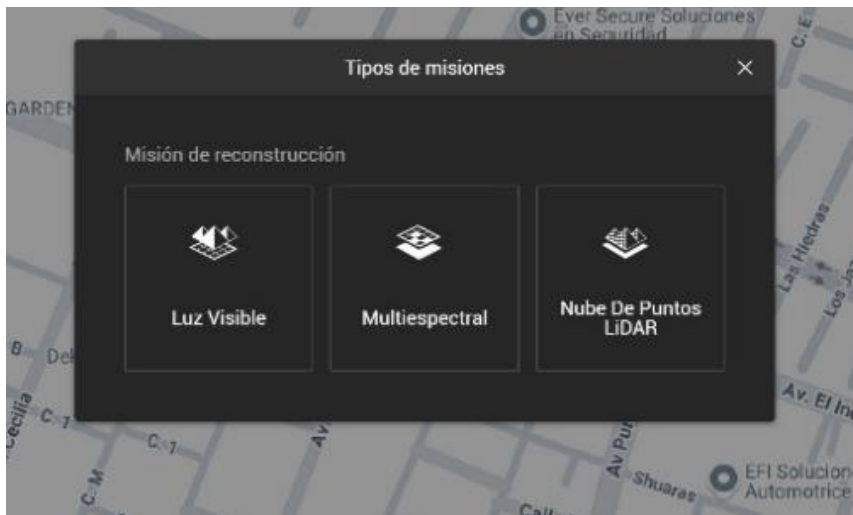
Las fotografías capturadas por las cámaras multiespectrales son utilizadas para generar un mapa multiespectral 2D con alta precisión. Con el mapa ya generado, los internautas pueden describir anotaciones y establecer diferentes distancias.

2.7.1.3 “LiDAR” Point Cloud (Nube de puntos “LiDAR”)

Se emplean los datos capturados por el equipo “Zenmuse L1/L2” para generar una nube de puntos con color real y alta precisión. Tras su reconstrucción, los internautas obtienen la opción de incorporar registros y efectuar múltiples tipos de evaluaciones.

Figura 11.

El software DJI TERRA con los tipos de misiones



Nota. La configuración para la ejecución de los datos obtenidos en el software DJI TERRA.

Elaborado por: Los autores en base al programa “DJI TERRA”, 2025.

2.7.1.4 Trayectoria

Configurar una trayectoria de vuelo basada en puntos de referencia, posteriormente se asigna acciones específicas a cada uno de ellos.

2.7.1.5 Mapeo

Una vez que el usuario defina el área de vuelo y los parámetros de la cámara, “DJI Terra” crea de forma automática rutas de vuelo optimas. La aeronave seguirá esta trayectoria durante toda la misión. Durante el vuelo, es posible activar el mapeo 2D o 3D en tiempo real con precisión limitada. Al concluir la misión, también las imágenes de origen tienen la

capacidad de ser importados para su procesamiento de mapeo en dos y tres dimensiones con alta fiabilidad.

2.7.1.6 Oblicuo

Esta función permite generar de forma automática la incorporación de trayectorias aéreas, las cuales ofrece la posibilidad de configurar cinco tipos de misiones, previamente que el internauta configure la cobertura espacial de la trayectoria y los criterios necesarios. Entre ellas se incluye una trayectoria con un posicionamiento angular del estabilizador respecto al eje longitudinal menor a noventa grados, es decir, orientado completamente hacia abajo. Posteriormente, se crean cuatro rutas adicionales con un ángulo ajustable mayor a menos noventa grados, lo que permite capturar imágenes desde distintas perspectivas: frontal, trasera, lateral izquierda y derecha. Al finalizar la misión, es posible importar las imágenes originales a “DJI Terra” para reconstruir modelos 3D con distintas resoluciones.

2.7.1.7 Corredor

El internauta define la configuración personalizada según sus preferencias, así como la delimitación del trayecto espacial del dron y el desplazamiento aéreo, el software automatiza de forma inmediata la zona de cobertura de operabilidad aérea junto con diversas navegaciones aéreas. Tras completar el proceso, con el fin de efectuar modelados, visualizaciones de infraestructura espacial.

2.7.1.8 Inspección detallada

“DJI Terra” crea automáticamente puntos de referencia para diseñar la ruta de vuelo de inspección una vez que el usuario ha importado modelos generados a partir de una reconstrucción 3D realizada con “DJI Terra” o desde archivos de nube de puntos “LAS” de terceros. Además, añadido puntos de destino al modelo y configurados parámetros como la distancia de captura, la velocidad de vuelo y otros ajustes relevantes.

Una vez planificada la ruta, el usuario puede optar por tres métodos para ejecutar la misión:

- Exportar un archivo “KML” y cargarlo en la aplicación “DJI Pilot 2” (funciona integradamente a través de “Phantom 4 RTK (SDK)”, “M350” o “Mavic 2 Enterprise Advanced”).
- Cargar un archivo “KML” en una misión de punto de referencia dentro de “DJI Terra” (compatible con “Phantom 4 RTK”).

Figura 12.

El programa “DJI Terra” opciones para el procesamiento de la nube de puntos según requerimiento del proyecto



Nota. Realización de la exportación de la nube de puntos en el programa “DJI TERRA” para la reconstrucción de los datos tomados. Elaborado por: Los autores en base al programa “DJI TERRA”, 2025.

2.7.2 Añadir carpeta

2.7.2.1 CLC

Usando las imágenes capturadas del dron, procederemos al diseño tridimensional de puntos, el software procesa los puntos para categorizar según su tipo de superficie u objeto que perteneces. Mencionados puntos pueden clasificarse en: terreno, vegetación, edificaciones, objetos elevados y puntos erróneos por ruido o tráfico en la zona.

2.7.2.2 CLI

Este archivo de parámetros de calibración o información de sensor utilizado como interfaz de línea de comandos.

2.7.2.3 CMI

Interfaz de Mapa Común en la plataforma como “DJI Terra”, hace referencia a una interfaz estandarizada, permitiendo interoperabilidad de mapas o datos en el espacio de sistemas distintos. Facilita que mapas, modelos o superficies geoespaciales se puedan compartir entre distintos programas.

2.7.2.4 IMU

Conlleva los datos de movimiento del sensor, esencialmente mide la aceleración y velocidad angular. Permite que el vuelo de la aeronave sea estable, georeferenciación precisa y corrección de la trayectoria. Registra los datos inerciales sincronizados bajo “GPS” y el disparo de imágenes o barrido “LiDAR”.

2.7.2.5 LDR

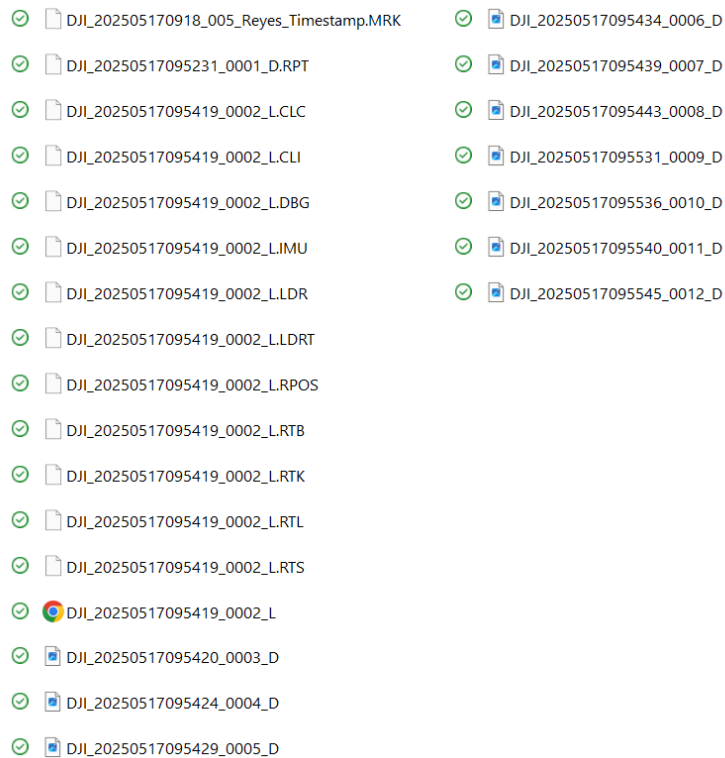
Este archivo contiene un bloque de datos con información que captura el sensor “LiDAR”. Incluye en su archivo datos como coordenadas (XYZ), intensidad, hora precisa del disparo, numero de retorno y clasificación por etiquetas.

2.7.2.6 RTK

Archivo específico con posiciones corregidas en tiempo real, nos da la información georreferenciada en el escenario de análisis.

Figura 13.

Todos los archivos que se guardan en la memoria del sensor “LiDAR” de un proyecto



Nota. Extracción de archivos generados por el sensor “LiDAR” donde se observa todos los archivos tras el vuelo con el sensor “LiDAR”. Elaborado por: Los autores en base al programa “DJI TERRA”, 2025.

2.7.3 Nube de puntos “LiDAR”

2.7.3.1 Densidad de la nube de puntos

2.7.3.1.1 Por porcentaje

La densidad alta corresponde a la tasa de muestreo original, en la que se emplea el 100% del diseño tridimensional previamente mencionado para el procesamiento. Esto garantiza la máxima calidad de los resultados, aunque el tiempo de procesamiento sea más prolongado. La densidad media utiliza el 25% de los datos, lo que produce resultados de calidad intermedia con un tiempo de procesamiento moderado. Por otra parte, la densidad baja

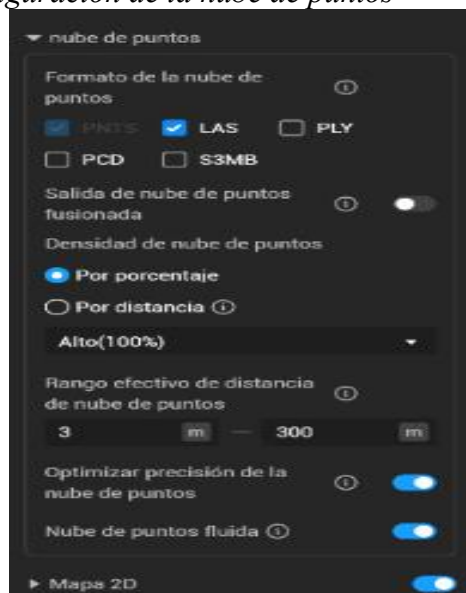
emplea solo el 6,25% de los datos, generando resultados de menor calidad, pero con un procesamiento significativamente más rápido.

2.7.3.1.2 Por distancia

Si la densidad de puntos es irregular, ejemplo, si algunas zonas presentan acumulación excesiva de datos, los usuarios pueden definir una distancia de muestreo para seleccionar únicamente ciertos puntos dentro de ese intervalo. Esto permite reducir la cantidad total de puntos y equilibrar la densidad general de la nube, por consecuencia la nube se vuelve más uniforme. En la opción de procesamiento de la nube de puntos “PNP” es utilizada para procesar los datos obtenidos por el “LiDAR”.

Figura 14.

El programa “DJI Terra” configuración de la nube de puntos



Nota. Cada parámetro para la configuración de la “NP” desde el software “DJI Terra”.

Elaborado por: Los autores en base al programa “DJI TERRA”, 2025.

2.7.4 Escenarios

2.7.4.1 Calibración de “LiDAR”

Es utilizado para ajustar y optimizar la precisión de la “PNP” por el dispositivo “LiDAR”, con el objetivo de conseguir una representación uniforme y fiable del terreno.

2.7.4.2 Procesamiento de nube de puntos

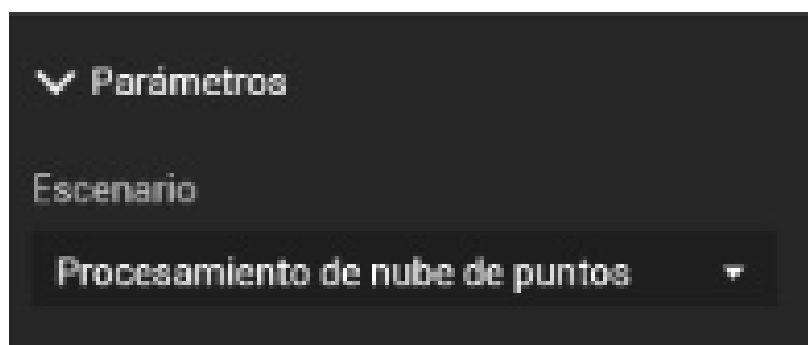
El logro o meta del escaneo láser a través de escáner láser terrestre es un conjunto de puntos, conocido también como nube de puntos, su definición está dada por el Dr. Jon Mills y David Barberen en 2003, la nube de puntos es un sistema de referencia conocido, que indica al usuario una síntesis de la redistribución espacial de los objetos de determinados en un sitio.

El formato de almacenamiento de la nube de puntos depende del programa del elaborador, siendo además de las coordenadas (XYZ), otro tipo de información, como la intensidad de reflejo del pulso laser. Los formatos comunes son: “PNTS”, “LAS”, “PTS”, “FLS”, “XYZ”, “PTX” y “XYZRGB”.

En la práctica topográfica tenemos objetos grandes en el entorno y formas complejas, por ello, el escáner laser debe ser ubicado en distintos sitios, con el fin de resaltar más la información. A fin de que estos puntos sean procesados en el software que detalle el fabricante en el formato que propone el escaneo mediante laser.

Figura 15.

El programa “DJI Terra” configuración del tipo escenario deseado



Nota. Ajuste que tipo de escenario vamos a hacer el procesamiento de datos. Elaborado por: Los autores en base al programa “DJI TERRA”, 2025.

2.7.5 Rango efectivo de distancia de nube de puntos

2.7.5.1 Optimizar la precisión de la “NP”

Si esta opción está activa, el software optimizará la base de datos recopilados en distintos momentos del procesamiento, con el fin de mejorar la consistencia y precisión de los

resultados. Para el uso de esta opción, el programa debe contar con las licencias correspondientes.

2.7.5.2 Clasificación de los puntos del Terreno

En esta opción podemos seleccionar el tipo de terreno más adecuado según las características del área de trabajo.

2.7.5.2.1 Terreno Plano

Recomendado para regiones con alta densidad de edificaciones y superficies llanas

2.7.5.2.2 Pendiente Suave

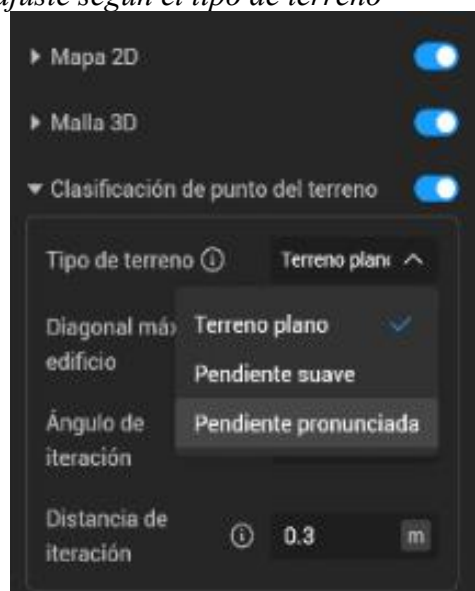
Ideal para áreas como colinas o montañas de pendiente moderada.

2.7.5.2.3 Pendiente Empinada

Apropiado para zonas con grandes variaciones de altitud, como montañas escarpadas o valles profundos.

Figura 16.

El programa “DJI Terra” ajuste según el tipo de terreno



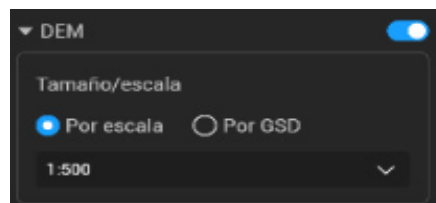
Nota. Relacionado según el tipo de topografía del terreno levantado. Elaborado por: Los autores en base al programa “DJI TERRA”, 2025.

2.7.5.3 Generar “DEM”

En esta opción se puede realizar por escala o “GDS”. La clasificación de los puntos de terreno se aplicará de forma predeterminada, aunque se podría ajustar sus parámetros de acuerdo con el tipo de terreno seleccionado.

Figura 17.

El software “DJI Terra” la opción “DEM”



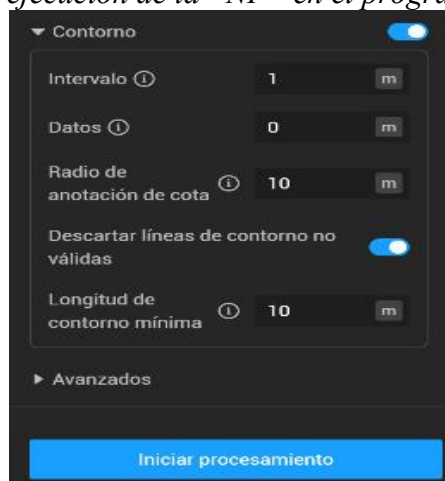
Nota. La opción relacionada para la clasificación de alturas de acuerdo con la topografía de la zona. Elaborado por: Los autores en base al programa “DJI TERRA”, 2025.

2.7.5.4 Contorno

En este apartado al activarla y completar la reconstrucción, se puede acceder al archivo de salida de contorno en la ruta del proyecto /lidars/terra_contour. El archivo puede ser importado en herramientas de terceros para su visualización y edición.

Figura 18.

La función contorno para la ejecución de la “NP” en el programa “DJI Terra”



Nota. Las opciones de contorno para la calidad del trabajo durante la visualización del proyecto. Elaborado por: Los autores en base al programa “DJI TERRA”, 2025

2.7.6 Avanzados

2.7.6.1 Control y comprobación de precisión

En este apartado, la configuración en el programa nos establece que el ajuste de los puntos podemos detallarlos, si en caso pertenecen a puntos de control o puntos de comprobación.

Al vincular la “Base RTK” a nuestro proyecto, establece ya la configuración que son puntos de control, mejorando la precisión absoluta en la generación del “DEM”. Como resultado, el software nos establece un margen de precisión con un error mínimo para nuestra “NP”, en coordenadas (X, Y, Z), y detalla, en ciertos casos, si el modelo tiene desfase del rango aceptable de proceso. Por consecuente, el programa permite tener un trazo y garantía de precisión, que es útil en nuestra propuesta de trabajo. Así verificamos la certeza absoluta del modelo digital que se genera a través de este.

2.7.6.2 Sistema de coordenadas de salida

2.7.6.2.1 Sistema de coordenadas arbitrarias

El software puede obtener coordenadas arbitrarias acorde a la zona que nos encontremos y a su vez, no hemos dado uso a una “Base RTK”, pero la exactitud que se tiene con lo último en mención difiere con respecto a tener instalación de este equipo. Además, tomando en cuenta que trabajamos bajo una señal de “GPS”, existirán campos o entornos en los cuales no se obtenga la señal de este, para ello se recomienda y se sugiere el uso de esta opción.

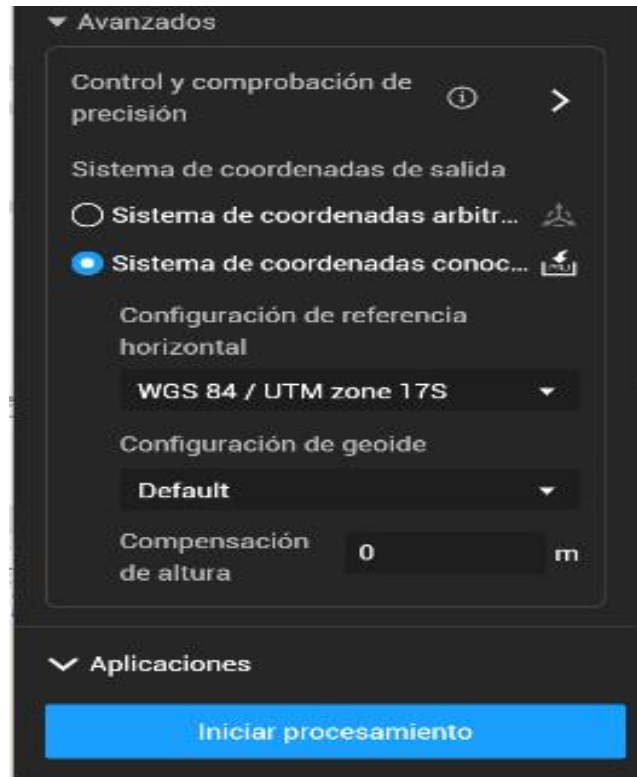
2.7.6.2.2 Sistema de coordenadas conocidos

El proyecto consta con el uso de equipo “Base RTK”, por ello, podemos recrear la nube de puntos a través de un sistema referencial geodésico, en este caso usamos como referencia horizontal la opción “WGS 84 UTM 17S”. Así el proceso de la nube de datos obtiene la

precisión necesaria para el detalle de la superficie que generamos a partir de la recolección con la tecnología “LiDAR”.

Figura 19.

Captura de pantalla de software “DJI TERRA” en la configuración de coordenadas



Nota. Vista del software “DJI TERRA” para configuraciones “Avanzados”. Elaborado por: Los autores.

2.7.7 Exportación de la nube de puntos a formatos compatibles

2.7.7.1 Formato LAS

Es una modalidad de formato creado por la American Society for Photogrammetry and Remote Sensing de uso para almacenar e intercambiar datos “LiDAR” en tres dimensiones. Este modelo permite representar cantidades de magnitudes altas de puntos tridimensionales con atributos vinculados como intensidad, retorno, clasificación, color, posición “GPS”, entre otros.

Por su estructura eficaz y automatizada, mencionado formato facilita el proceso de la nube de puntos en distintos softwares computacionales.

2.7.7.2 Formato B3DM

Este formato permite la agrupación de modelos en tres dimensiones heterogéneos, como diferentes edificaciones de una zona, para transmitir de manera eficiente al espectador su renderizado e interacción. Su eficacia se basa en el transporte de múltiples modelos en una sola solicitud y su renderizado con el mínimo número de puntos en dibujo necesarios. Utiliza lenguaje de detalle principal 3D Tiles, que cada modelo posee una especificación.

2.7.7.3 Formato PLY

Este formato de archivo es de uso para archivar modelos en tres dimensiones y nubes de puntos, específicamente los que son obtenidos por escáner 3D. son ampliamente usados para representar puntos en planos (XYZ) con atributos como forma, color, luminosidad, etc.

2.7.7.4 Digital Elevation Model “DEM”

Su traducción modelo digital de elevación es una descripción generada a partir de imágenes digitales de elevación, batimetría o topografía. Su nombre de digital es porque la mayor cantidad de estos datos se analizan de manera digital o electrónica. Además, describe la elevación de la superficie terrestre, sin tomar en cuenta estructuras artificiales, vegetación u otro tipo de obstáculo en el suelo. Es un modelo en dos sentidos, el primero es una representación modelada que se basa en píxeles de la superficie, donde cada uno de estos representa un valor de elevación y el segundo tiene protagonismo las computadoras algoritmos que usan “DEM” como entrada para el modelaje o análisis de la topografía en tres dimensiones.

2.7.8 WGS 84 / UTM zone 17S (World Geodetic System 1984)

Es un sistema sistémico referencial de tipo geodésico global que estandariza a la Tierra en forma de elipsoide y un datum. Es común el uso de este sistema en “GPS” y diversas aplicaciones geoespaciales.

2.7.9 Universal Transverse Mercator

Se define como sistema de proyección cartográfica que subdivide a la tierra en sesenta partes de seis grados de amplitud longitudinal. Cada división usa una proyección de Transverse Mercator que representa la superficie de la Tierra en coordenadas planas.

- **Zone 17S:** Indica la zona número 17 del hemisferio Sur, abarca las longitudes desde 78°O a 72°O y latitudes del hemisferio sur.

Figura 20.

Lista de comprobación de parámetros en el software “DJI Terra”



Nota. Verificación previa de programa “DJI Terra” de la lista de comprobación de cada parámetro configurado, validar los ajustes de resolución de malla, sistema de coordenadas y precisión del modelo generado. Elaborado por: Los autores en base al programa “DJI TERRA”, 2025.

2.8 GLOBAL MAPPER

2.8.1 Descripción del programa

Es un programa computacional con que comprende un (Sistema de Información Geográfica) que fue desarrollado por (Blue Marble Geographics). Sus componentes hacen posible el procesamiento y la visualización de datos geoespaciales. El diseño intuitivo que posee hace posible la practicidad y trabajabilidad del usuario, para que el manejo de datos se realice de la manera más eficiente, así desarrolla mapas precisos, administrando datos espaciales y exporta datos de manera precisa para su posterior proceso en varios desarrolladores computacionales.

Con respecto a topografía a través de drones, su uso de procesar datos es esencial para obtener modelos que pueden ser procesados nuevamente en programas convencionales como Civil 3D.

2.8.2 Importación de nube de puntos (a partir de formato LAS)

Con el uso del software “DJI TERRA”, obtenemos esta información de la “NP” recabada en nuestro proyecto. El diseño que importa el programa “Global Mapper” es “. LAS”, este permite que los puntos se ubiquen acorde a un sistema georreferenciado. Primero el programa puede establecer la manera en la que manejaremos los datos, en este caso, el proyecto se levantó en (Coordenadas UTM).

Al realizar dicha configuración, los puntos obtenidos reflejan en el programa como una fuente de datos georreferenciados que pueden distinguirse por colores su posición en elevación y a su vez identificar los distintos objetos que se obtuvieron.

2.8.3 Formatos de exportación de nube de puntos (Formato “RCS”)

Como principal acontecimiento del uso del software es la exportación de la nube densa de puntos, que representa de manera tridimensional una superficie obtenida por “LiDAR”. Para establecer de manera correcta la interpolación de la superficie para desarrollar en otros

programas que realizan el diseño topográfico con sistemas de información geográfica. Para lograr un correcto manejo de datos, “Autodesk” maneja como “PNP” en formato “RCS”. Este formato es posible realizarlo en la versión de “Global Mapper”, el cual mantiene esta programación para la exportación en el formato indicado.

2.9 AUTODESK CIVIL 3D

2.9.1 Descripción del programa

El “Autodesk Civil 3D” es un software para el diseño de infraestructuras civiles, especialmente para el diseño de vial, así como también es de conexiones de agua y desalajo de aguas residuales, estudio de movimientos de tierra y generación de superficies topográficas. La funcionalidad principal es generar esta última, a partir de estaciones totales o generación de “NP” a través de “Global Mapper”. Estos datos se procesan para generar curvas de nivel, calcular volúmenes de corte y relleno y diseñar plataformas o alineamientos horizontales y verticales.

2.9.2 Formato más común

El formato típico de uso es el formato “.DWG”, que es la abreviatura de “Drawing”. Este archivo permite almacenar datos de diseño en dos o tres dimensiones. Además, puede contener gráficos vectoriales como curvas, líneas, polígonos, textos, superficies, cotas, capas, bloques y objetos de diseño avanzado. Por consecuencia, integra información georreferenciada que son compatibles con sistemas de coordenadas existentes y datos de topografía.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación utiliza los métodos descriptivo, cualitativo y experimental, donde las características de proyecto realizado es la comprobación de la configuración en el trayecto aéreo de dron “M350” y haciendo uso de las tecnologías como: una base “RTK” y sensor “LiDAR” en escenarios de operación controlada para la elaboración de futuros proyecto teniendo conocimientos previos de este.

3.2 MÉTODO

El proyecto ejecutado consiste en realizar una etapa previa el estudio del tramo de vía, para presentar estrategias en la elaboración del levantamiento topográfico, a su vez, emplea el uso de dron y la tecnología “LiDAR” usando un “RTK” en base para la recolección de datos geoespaciales de la zona elaborada, con el propósito de explotar la “NP” en los softwares especializados “DJI Terra” y “Global Mapper”. La obtención de las coordenadas por medio de procesamiento en los programas previamente mencionadas de la zona levantada y exportar al programa “Autodesk Civil 3D” para su generación del modelo digital de la vía.

3.3 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Este proceso se utiliza para recoger información básica del proyecto fue mediante la obtención de un punto de referencia a la estación más cercana “IGM” para la realización del levantamiento topográfico aéreo, a través de un dron “M350 RTK”, además, incorpora un sensor “Zenmuse L2”. Este procedimiento tiene como finalidad de identificar puntos georreferenciados, que se vincula al controlador del dron con la adaptación del “DJI Pilot 2” para referenciar la ubicación zonal del terreno.

El uso del sensor “LiDAR” tiene como objetivo obtener “NP” con el propósito de diseñar un modelo digitalizado de la vía. En consecuencia, la exportación de los datos en los

programas “DJI Terra” y “Global Mapper”; por último, adquirir las coordenadas (UTM) del sitio de interés.

3.4 PROCESO TÉCNICO DE INGENIERÍA CIVIL

Al inicio, se elaborará las guías para lograr una presentación durante la fase de ejecución en: la ejecución del dron “M350 RTK”, configurado de los parámetros del desplazamiento aéreo mediante el uso de la aplicación “DJI Pilot 2”, parametrización precisa del equipo “RTK” y preparado en la información aplicada en el software “DJI Terra”. Con el propósito de recopilar datos geoespaciales precisas y actuales dentro del campo de la ingeniería civil. La etapa preliminar mediante la programación del vuelo en el área de interés, programando características como el nivel de altitud, recorrido aéreo, velocidad de desplazamiento, la adquisición de datos considerando la calidad del desempeño técnico y el ajuste adecuado del sistema de corrección “RTK”.

Tras ello, se efectúa el levantamiento topográfico utilizando la tecnología con el sensor “LiDAR”, respetando las normativas de uso de seguridad para drones en Ecuador, reguladas por la (Dirección General de Aviación Civil) “DGAC”, la operación en tiempo real el rendimiento del dron mediante la cámara incorporada en el dron “M350 RTK” respaldando la eficiencia de los datos recopilados. La información recopilada por el sensor “LiDAR” en el desarrollo del diseño cartográfico de tipo topográfico mediante el equipo aéreo “M350 RTK” se transferirá al software “DJI Terra”, con el fin de ajustar la nube de puntos generado. La información suministrada del programa anteriormente mencionado se realizará la exportación de la “NP” a la aplicación “Global Mapper”, la cual permitirá la visualización de modelo generado para la corrección de puntos innecesarios a través del proceso de eliminación dentro del programa. Se procederá la extracción de las coordenadas geoespaciales obtenidos en el software “Global Mapper”, se importará a los formatos compatibles con la aplicación “Autodesk Civil 3D” para la generación de modelo digital.

CAPÍTULO IV

MANUAL DE LA GENERACIÓN DE UN MODELO DIGITAL DEL TERRENO A TRAVÉS DE UN DRON CON TECNOLOGÍA “LIDAR” EN UN TRAMO DE VÍA

4.1 MANUAL DE LA CONFIGURACIÓN DEL DRON MATRICE 350 RTK

4.1.1 Configuración de Rover para obtención del punto de referencia

1) Colocación de base de equipos para RTK

Colocar correctamente una base “RTK” (Real-Time Kinematic) es crucial para lograr una precisión densimétrica en la planificación geoespacial con drones. Esta estación sirve como un punto de referencia que envía correcciones diferenciales en tiempo real al receptor “GNSS” del dron. Si la base está mal ubicada, ya sea por interferencias, obstrucciones o falta de estabilidad, se pueden producir errores sistemáticos en toda la “NP”, o modelos digitales del terreno. Para obtener resultados confiables, es esencial que la base se instale sobre un punto estable, nivelado y libre de obstáculos, con buena visibilidad satelital y correctamente georreferenciada en el sistema de coordenadas adecuado

Con la adquisición en préstamo de los equipos “RTK”, se procede a ubicar el bastón en el trípode para que permanezca estable y perpendicular al suelo.

Figura 21.

El equipo de “RTK” ubicada en la zona cercana de la vía Mariana de Jesús



Nota. Colocación de “RTK” para punto base en la ubicación de la zona de proyecto de la vía.

Elaborado por: Los autores.

2) Ingresamos a la aplicación “FOIF SurPad”

Esta herramienta te permite llevar a cabo tareas como medir puntos, hacer levantamientos rápidos, replantear, realizar levantamientos continuos (ya sean líneas o polígonos), y configurar bases “RTK” o conectarte a servicios “NTRIP”, todo desde una interfaz intuitiva que es compatible con receptores “FOIF” y otros modelos

Con la ayuda del dispositivo móvil configurado para la ubicación del punto, abrimos la aplicación para su posterior configuración

Figura 22.

Imagen extraída del dispositivo de la aplicación “FOIF SurPad”



Nota. Ingreso a la aplicación para su configuración. Elaborado por: Los autores.

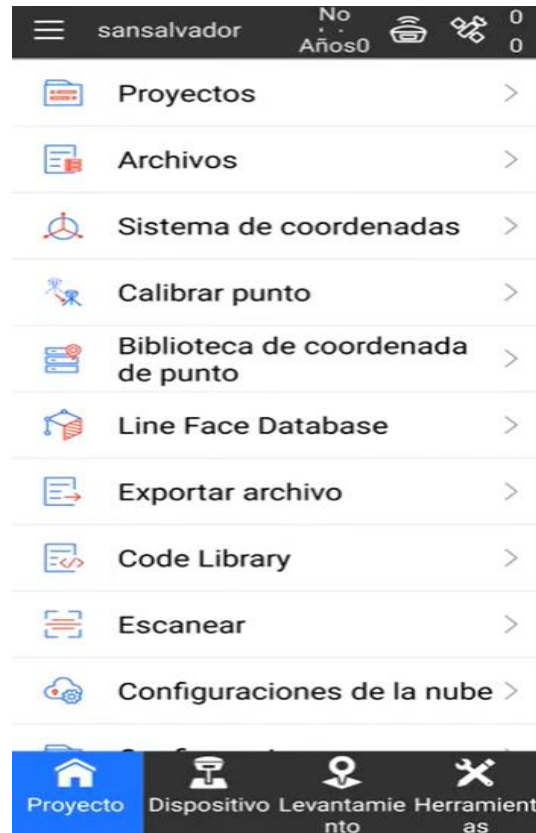
3) Seleccionamos la opción “Sistema de coordenadas”

El sistema de coordenadas es un grupo de reglas matemáticas que nos ayuda a localizar puntos en el espacio usando valores numéricos, conocidos como coordenadas. Estas pueden ser geofísicas dimensiones latitudinales y longitudinales, proyectadas en planimetría o tridimensionales (X, Y, Z). En el campo topográfico y cartografía, los sistemas de coordenadas son esenciales para representar una visión precisa de la ubicación de los objetos en el plano terrestre. Utilizan referencias, por ejemplo, el sistema geodésico “WGS 84” o sistemas proyectados como el “UTM” (Universal Transverse Mercator), que dividen el mundo en zonas para minimizar distorsiones.

En la aplicación nos permite obtener datos de la web para georreferenciar la zona en la que nos encontramos.

Figura 23.

Imagen extraída del dispositivo del menú principal del “RTK”



Nota. Vista de inicio de la aplicación “FOIF SurPad” . Elaborado por: Los autores.

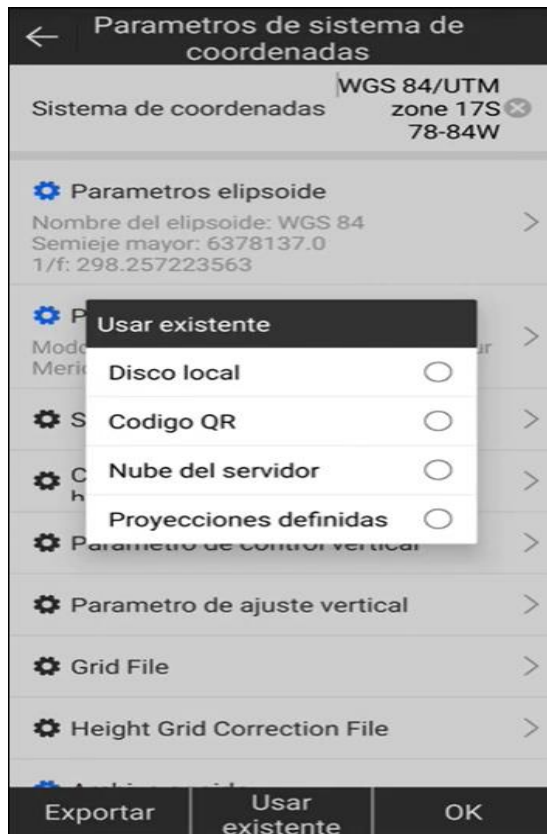
4) Escogemos la opción “Usar existente” y luego “Proyecciones Definidas”

Las proyecciones definidas son aquellas proyecciones cartográficas cuyos parámetros y características geométricas están claramente establecidos y especificados, permitiendo reproducir y aplicar la transformación de coordenadas de manera precisa y consistente. Estas proyecciones cuentan con fórmulas matemáticas y parámetros de referencia (como el elipsoide de referencia, datum, paralelo(s) estándar, meridiano central, escala y falso norte o este) que definen exactamente cómo se proyecta la amplitud curvilínea de la configuración terrestre.

El “RTK” contiene datos que se programan para el uso de la localización de la zona de estudio.

Figura 24.

Imagen extraída del dispositivo en la opción de parámetros de sistema coordenadas del “RTK”



Nota. Vista de configuraciones de la aplicación “FOIF SurPad”. Elaborado por: Los autores.

5) En buscar escribimos “17s” y seleccionamos en la parte inferior la opción “WGS 84/UTM zone 17S 78-84W”

El sistema (WGS 84 UTM Zona 17S) es un sistema de coordenadas proyectadas que une el datum geodésico “WGS 84” (World Geodetic System 1984) con el diseño de tipo cartográfico conocido como “UTM” (Universal Transverse Mercator), y está diseñado específicamente para la zona 17 en el hemisferio sur. El “WGS 84” es el sistema de referencia global que se utiliza para el posicionamiento satelital “GPS” y define el perfil morfológico de la Tierra a través de un elipsoide referencial estandarizado.

En este paso la selección de la zona en configuración “UTM” es importante, debido a que define la zona en la que se plantea el proyecto.

Figura 25.

Imagen extraída del dispositivo la opción de datum geodésico del “RTK”



Nota. Vista de la aplicación “FOIF SurPad” para establecer la zona 17S. Elaborado por: Los autores.

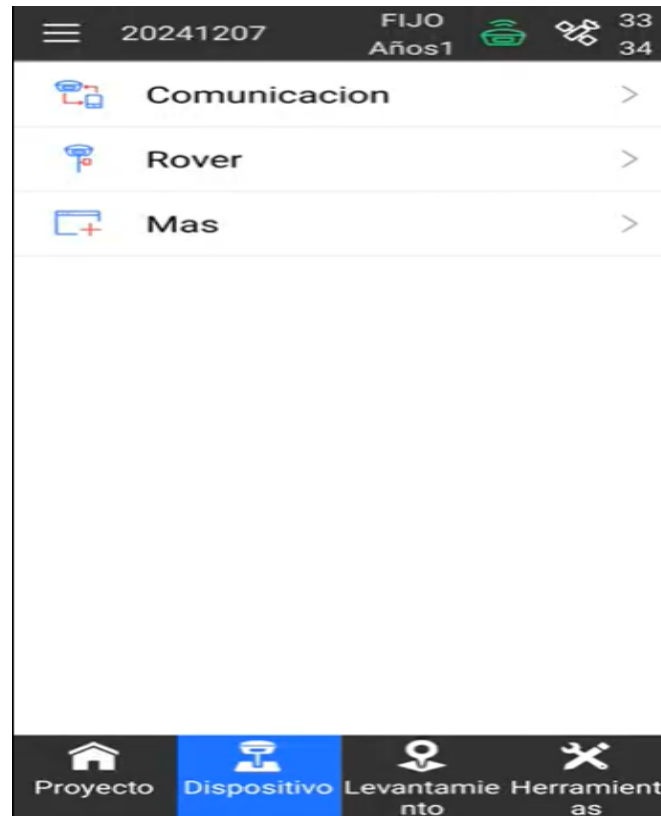
6) Nuevamente en el inicio en la opción inferior “Dispositivo” seleccionamos la opción “Rover”

El rover es el receptor móvil del procedimiento “GNSS” (Sistema Global de Navegación por Satélite) que se utiliza para capturar coordenadas precisas en el campo. A diferencia de la estación base o base “RTK”, que se mantiene fija en un punto conocido y actúa como referencia para enviar correcciones, el rover es el equipo que se mueve por el terreno para medir puntos específicos. Cuando opera en modo “RTK” (Real-Time Kinematic), el rover recibe correcciones actualizadas desde la estación mediante los servicios de la red “NTRIP”, lo que le posibilita obtener posicionamientos del terreno en una forma precisa con valores con una exactitud centimetrada o incluso milimétrica.

En este paso la selección de la zona en configuración “UTM” es importante, debido a que define la zona en la que se plantea el proyecto.

Figura 26.

Imagen extraída del dispositivo para la obtención de puntos levantado



Nota. Vista de la aplicación “FOIF SurPad” para uso de dispositivo como “Rover”.

Elaborado por: Los autores.

7) Seleccionamos en la opción “Parar” y seleccionamos los 3 puntos que esta junto al texto “La Configuración CORS”

En este apartado podemos cambiar la configuración de la base a la que el dispositivo se conectara.

Figura 27.

Imagen extraída del dispositivo configuración de conexión de datos



Nota. Vista de la aplicación “FOIF SurPad” para configuración de conectividad a base de datos. Elaborado por: Los autores.

8) Escogemos la opción de nombre “IGM” y seleccionamos “OK”

La aplicación En este apartado el dispositivo toma señal de la base de datos del IGM

Figura 28.

Imagen extraída del dispositivo sobre la base “IGM”

No	Nombre	IP	Puerto	Usuar
1	2Q	186.101.190.213	20000	2q-2
2	IGM	190.57.157.7	2101	REGME4

Nota. Vista de la aplicación “FOIF SurPad” para uso de base de datos del IGM. Elaborado por: Los autores.

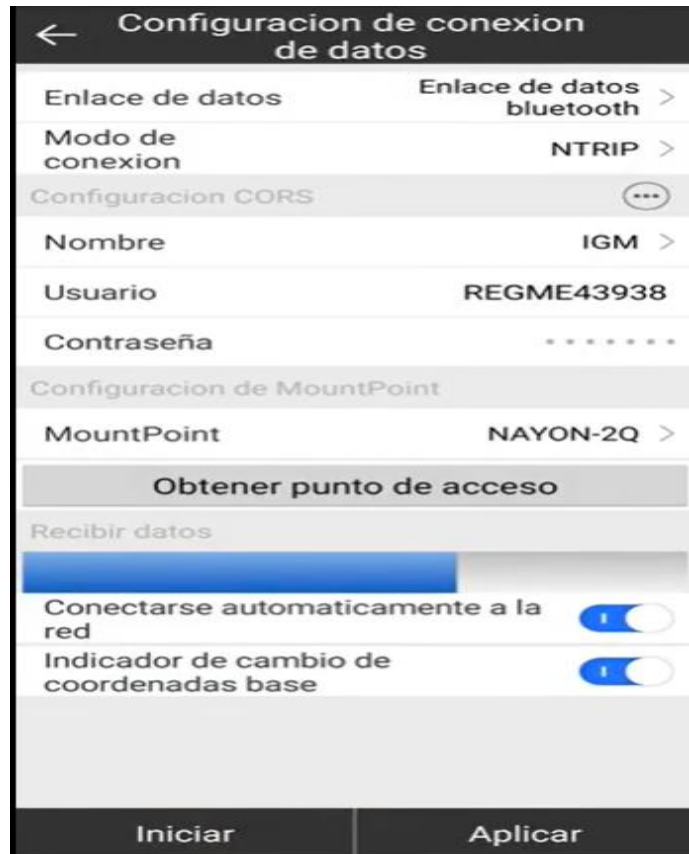
9) De regreso a la pantalla anterior seleccionamos la opción “Obtener punto de acceso”

Obtener un punto de acceso se refiere a cómo se establece una conexión sólida y precisa entre un receptor móvil (rover) y una estación base o red de correcciones, como “NTRIP”, para recibir datos de corrección en tiempo real. Este (punto de acceso) puede ser una red fija que

transmite señales corregidas a través de radiofrecuencia, o un servidor de correcciones por Internet (NTRIP caster), que permite al rover mejorar la precisión de su ubicación utilizando técnicas como “RTK” o “PPK”. Esta sección nos permite conectarnos a la base disponible del “IGM”.

Figura 29.

Imagen extraída del dispositivo verificación de información



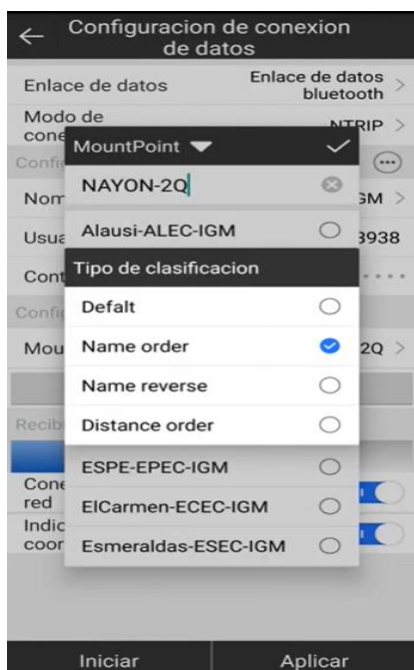
Nota. Vista de la aplicación “FOIF SurPad” para conectividad a la base de datos del “IGM”. Elaborado por: Los autores.

10) Desplegamos el menú de “MountPoint” y seleccionamos la opción “Distance order”

Esta sección nos permite acceder a la fuente de datos disponibles del “IGM”.

Figura 30.

Imagen extraída del dispositivo clasificación de la base



Nota. Vista de la aplicación “FOIF SurPad” menú de clasificaciones de base a buscar.

Elaborado por: Los autores.

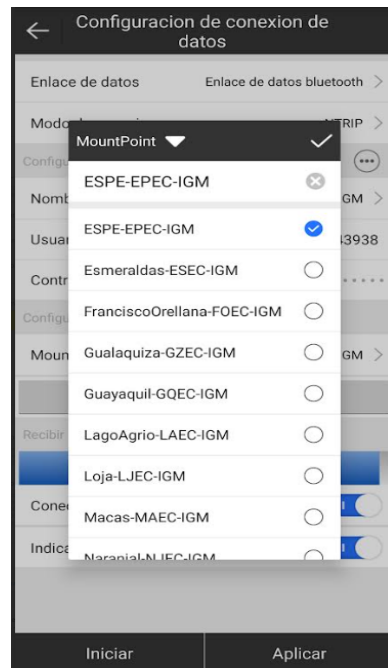
11) Seleccionamos la opción “ESPE-EPEC-IGM”, luego seleccionamos la opción “Aplicar” y finalmente “Iniciar”

La estación (ESPE-EPEC-IGM) es un punto de referencia geodésico que forma parte de la cadena de bases establecidas permanentemente “GNSS” en Ecuador. Esta red fue establecida gracias a la colaboración entre la Escuela Superior Politécnica del Ejército (ESPE), la Empresa Pública de Electricidad de Cuenca (EPEC) y el Instituto Geográfico Militar (IGM). La estación funciona como una base fija que recoge datos “GNSS” de manera continua, lo que permite generar correcciones diferenciales y así mejorar la precisión en levantamientos topográficos y proyectos de ingeniería civil en la región. Verificar la base de la estación “IGM” más cercana.

Nos conectamos a esta base de datos del “IGM” debido a que nuestro proyecto tiene cercanía a mencionada base.

Figura 31.

Imagen extraída del dispositivo todas las estaciones “IGM” a nivel nacional



Nota. Vista de la aplicación “FOIF SurPad” menú de bases del “IGM”. Elaborado por: Los autores.

12) Medimos la altura del bastón

Es crucial medir correctamente la altura del bastón (o vara topográfica) donde se coloca el receptor “GNSS” rover para conseguir coordenadas precisas y confiables en un levantamiento “RTK”. La altitud del bastón es la medida perpendicular al suelo desde el punto del terreno que queremos medir (el punto de interés) hasta el centro de la antena del receptor “GNSS”. Si no registramos esta medida con exactitud, podemos introducir un error sistemático en la coordenada vertical (elevación) y, en algunos casos, también en la horizontal.

La distancia será medida desde el nivel de la superficie donde el bastón reposa, hasta la base del equipo “RTK”.

Figura 32.

Fotografía realizada por los autores de la altura del bastón.



Nota. Distancia de la altura del bastón: 1.40 m. Elaborado por: Los autores.

13) En la opción de levantamiento configuramos la altura de la antena

Este apartado permite configurar el dispositivo “RTK” para que sus características no difieran de la realidad que examinara el dron. Como dato tenemos que la antena del equipo “RTK” y la base tiene una distancia de 5.84 cm.

Figura 33.

Imagen extraída del dispositivo de parámetros de la antena



Nota. Vista de la aplicación “FOIF SurPad” configuración de equipo “RTK”.

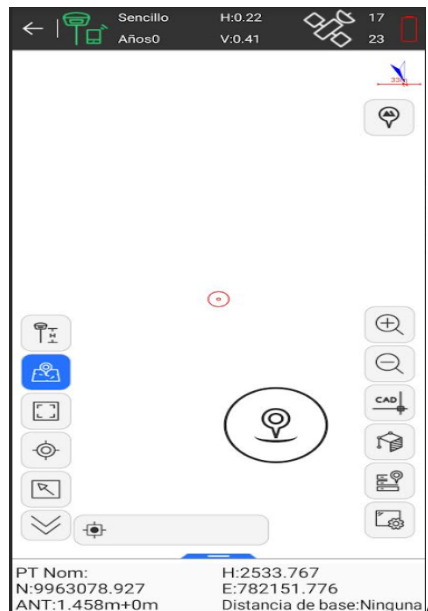
Elaborado por: Los autores.

14) Finalmente tomamos los datos como punto de referencia para la “Base RTK”

Esta sección nos indica el posicionamiento georreferenciado de nuestra base de equipos para que tenga conectividad con el proceso consecuente.

Figura 34.

Imagen extraída del dispositivo de punto georreferenciado del dron



Nota. Vista de la aplicación “FOIF SurPad” posicionamiento de punto referencia. Elaborado por: Los autores.

4.1.2 Configuración de Base para conectividad con el dron

1) Ingresamos a la aplicación “EMLID”

Verificamos que este conectada a nuestra base y escogemos la opción de “Levantamiento”

Figura 35.

Imagen extraída del dispositivo el nombre del receptor



Nota. Vista de la aplicación “EMLID” conectividad a base de equipos. Elaborado por: Los autores.

2) En la parte superior derecha seleccionamos el icono de “+”

En esta sección iniciamos la creación de nuestro proyecto para la georreferencia de base de equipos

Figura 36.

Imagen extraída del dispositivo nombre de proyecto realizado



Nota. Vista de la aplicación “EMLID” creación de proyecto y registro. Elaborado por:

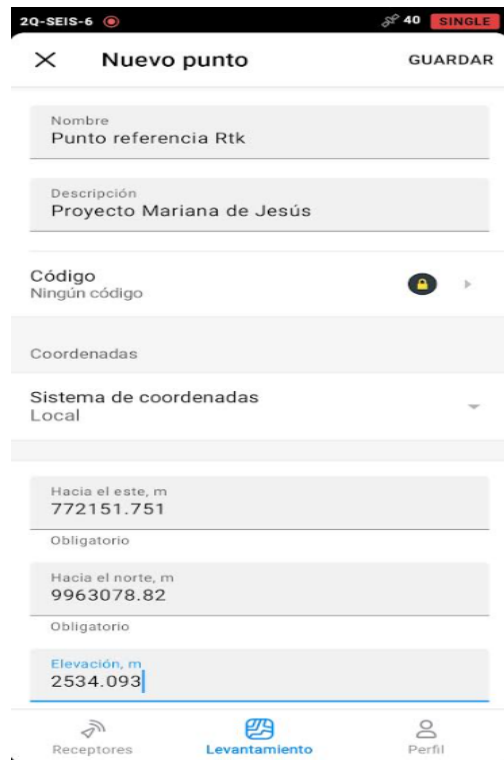
Los autores.

3) Completamos los datos con la información obtenida con el Rover

Por último, se establece el punto de georreferencia de nuestra base de equipos, cabe mencionar que el mismo equipo funciona como “Base” y como “Rover”

Figura 37.

Imagen extraída del dispositivo para la configuración punto referenciado



Nota. Vista de la aplicación “EMLID” información de punto de georreferencia. Elaborado por: Los autores.

4.1.3 Montaje del dron Matrice 350 RTK

1) Instalación de los trenes de aterrizaje

Primero hacemos la colocación de los elementos de apoyo o también llamado los trenes de aterrizaje del dron “M350 RTK” para asegurar la estabilidad del equipo esta toma un papel crucial para la seguridad durante el despegue y aterrizaje de este. Es importante girar la rosca hasta lograr que coincida entre la marca roja y quede perfectamente alineados los dos puntos rojos de referencia.

Figura 38.

El dron “DJI M350 RTK” ubicada en la zona cercana de la vía Mariana de Jesús



Nota. La instalación de los trenes en la ubicación de la zona de proyecto de la vía. Elaborado por: Los autores.

Figura 39.

La instalación de los trenes de dron “M350 RTK” ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Sur



Nota. La instalación de los trenes en la ubicación en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Sur. Elaborado por: Los autores.

2) Despliegue de hélices de la aeronave

Segundo haremos el despliegue de cada uno de los brazos delanteros y traseros es fundamental hacer que cada brazo se encuentre totalmente extendido y se procederá de igual

manera la orientación entre la rosca y el dron hasta que se encuentren los dos puntos blancos alineados en cada brazo.

Figura 40.

El despliegue de hélice de dron “M350 RTK”



Nota. El aseguramiento de cada una de las roscas de forma alineada ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Sur. Elaborado por: Los autores.

3) Instalación de batería de dron

Hacer la colocación de las baterías inteligentes en la parte trasera de dron, una vez colocadas correctamente se procede girar el seguro y verificar la carga de cada una.

Figura 41.

Colocación de cada una de las baterías de dron “M350 RTK”



Nota. Colocación segura de las baterías ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Sur. Elaborado por: Los autores.

Figura 42.

Verificación de seguro de la batería de forma totalmente horizontal



Nota. Garantizar que la fuente de energía se encuentre con un nivel requerido de batería ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Sur. Elaborado por: Los autores.

4) Instalación del sensor “LiDAR” con estabilizador

Presionar el botón del estabilizador que se encuentra en la parte debajo del dron, alinear el sensor “LiDAR” del punto blanco con el estabilizador donde va a estar un punto de referencia de color rojo insertar de forma cuidadosa el sensor “LiDAR” y girar el seguro del estabilizador hasta que se encuentre alienados los dos puntos rojos de referencia asegurando correctamente el bloqueo.

Figura 43.

Colocación del sensor “LiDAR” con el estabilizador



Nota. Asegurando que se encuentre de forma alineada los dos colores de referencia es importante tener alguien que ayude sostenimiento del equipo ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Sur. Elaborado por: Los autores.

5) Vinculación de dron al controlador

Prendemos el controlador de ahí entramos a la aplicación “DJI Pilot 2” vamos a la opción “Vincular aeronave” desde el menú inicial y los va emitir una alerta tener presionado por cinco segundos el botón de encendido si no funciona a la primera volver intentarlo para la sincronización del dron cuando se encuentre encendido va emitir un sonido y se debe producir un movimientos al estabilizador del sensor “LiDAR” es importante dicho componente se presente la vinculado para la adecuada funcionalidad.

Figura 44.

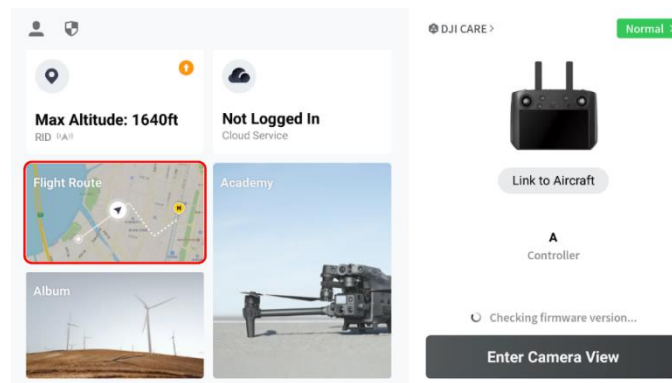
Botón de encendido para la viculación del dron “M350 RTK”



Nota. Se recomienda colocar el equipo en un nivel estable para presionar el botón de encendido hasta que la notificación de vinculación se encuentre activo ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito-Sur

Figura 45.

Vinculación de la aeronave en la aplicación “DJI Pilot 2”



Fuerte. How to delete missions in “DJI Pilot 2”- la pantalla de inicio de “DJI Pilot 2”, crear ruta de vuelo para abrir la lista de misiones.

6) La creación de la lista de misiones

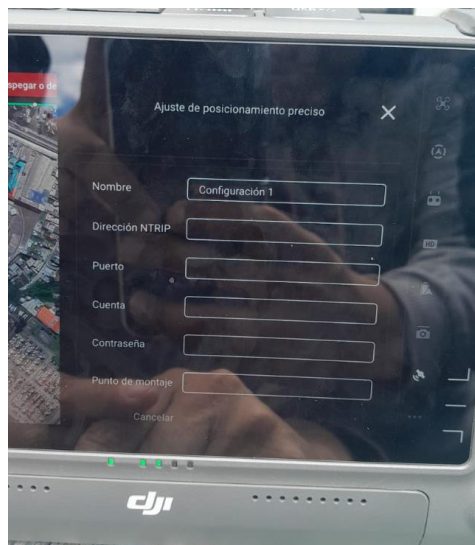
Ya encendido el dron en la aplicación “DJI Pilot 2” entramos a ruta de vuelo desde la pantalla principal le damos un click “(+)” y escogemos la opción “Crear ruta”. Seleccionamos el tipo de misión que vamos a realizar. Donde la misión seleccionada fue “Ruta de zona” es el más recomendado para nuestro proyecto por la recolección de datos en 2D/3D.

7) La configuración del “RTK” en el dron Matrice 350 RTK

Ingresamos a la zona Wifi desde el controlador localizaremos la zona de la red del equipo “RTK” la cual su nombre es “2Q-SEIS-6” y con su respectiva contraseña del equipo “RTK” con el fin de conectar el dispositivo aquí es importante ya tener encendido el equipo “RTK”. Entramos nuevamente al menú principal de la configuración damos click en “Ajuste de posicionamiento preciso” ubicada en la zona baja del menú con una representación de referencia de un satélite y que este correctamente configurado con el punto de referencia anteriormente mencionado.

Figura 46.

El menú principal de la configuración ajuste de posicionamiento del dron “M350 RTK”

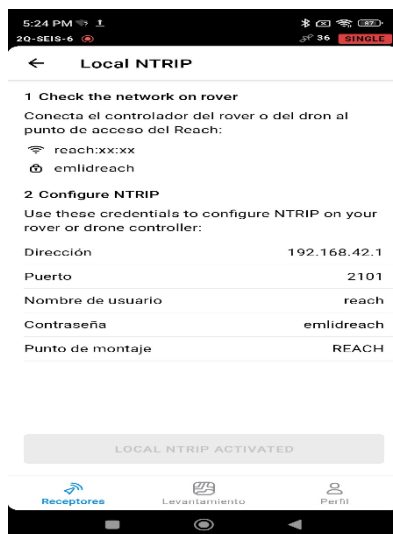


Nota. La configuración del “RTK” de dron “M350 RTK” teniendo en cuenta la red de corrección por internet ubicada en la zona cercana del proyecto

Las opciones que vamos a llenar según el punto IGM que está tomando el equipo “RTK” donde primero se debe llenar el “Nombre” aquí se llena la denominación de la red de la señal “RTK” la cual se encuentra en la zona Wifi mencionado anteriormente. Las siguientes opciones por llenar de ajuste de posicionamiento preciso son cruciales para la configuración de la “Base output” que se encuentra aplicación “RTK” en base aquí escogeremos “Local NTRIP” y entramos a las especificaciones de este.

Figura 47.

La configuración del sistema “RTK” mediante Local “NTRIP” estableciendo el punto de conexión al dron “M350 RTK” para georreferenciar el punto



Nota. Recibir información precisa del equipo “RTK” en tiempo real desde un servidor “NTRIP” en la aplicación “RTK” en base para lograr la conexión al controlador del dron

9) Ejecución del trazado del polígono del proyecto a levantar en la aplicación DJI Pilot 2

Debemos delimitar la zona que vayamos a levantar estableciendo un punto estratégico durante el despegue de dron para la seguridad de este. Insertar los puntos que conforma el perímetro a levantar.

10) Selección del modelo de aeronave y selección del modelo del sensor “LiDAR”

Haremos la elección del modelo de la aeronave damos click “Seleccionar” elegimos el dron “M350/ M300 RTK” cuál es el nombre del dispositivo aéreo que disponemos e igual

manera la elección del modelo de cámara pulsaremos de misma manera “Seleccionar” despliega un conjunto de alternativas seleccionaremos el modelo “Zenmuse L2”. La cual, es nombre del sensor “LiDAR”. La verificación de la compatibilidad del equipo a la aplicación “DJI Pilot 2” y presente la opción “LiDAR Mapping” es fundamental para manipulación de datos geoespaciales.

11) Configuración de Instrumentos para levantamiento topográfico

La adecuada la configuración para la confiabilidad y calidad del levantamiento. Entramos a la opción “Configuración de instrumentos” aquí vamos a cambiar las siguientes opciones el modo de retorno a seleccionar “Retorno Penta”. Así como, la tasa de muestreo va a estar por default en “240 KHz” y modo de exploración no realizamos ninguna modificación que se encuentre “Repetitivo”. Realizar la verificación de que la opción “Adición de color RGB” este encendida para la identificación de los objetos alrededor de la zona.

12) Identificar con el nombre del proyecto

Daremos “Continuar” en este momento se encuentra el aspecto más esencial de la configuración del dron. Identificamos primero con el nombre en la opción “Ruta de zona” el proyecto que vayamos realizar para lograr la reconocer durante la exportación de los datos.

13) Configuración de los parámetros de vuelo de la colección y modo de altitud

El tipo de colección que vamos a realizar según nuestro tipo de proyecto vamos a usar la “Colección orto”. Los vamos a la opción modo de altitud desplegamos las siguientes elecciones escogemos “AGL” para que se encuentre de forma paralela al suelo y verificar la descargar del propio.

14) Ajuste de GSD

La configuración del “GSD” debe mantenerse sin hacer modificaciones, debido a que presentan variaciones de acuerdo al nivel de altura de desplazamiento aéreo, se recomienda dejar esta opción por “default”.

15) Configuración de parámetro de altitud y altura constante

Para asegurar un despliegue de vuelo seguro y sin inconvenientes, establecer un valor de altitud de “150 metros”. El sensor “LiDAR” opera de manera eficiente a partir de dicha altura, minimizando riesgo a la utilizando de dron en áreas con condiciones complejas para la operación área.

16) Configuración para la optimización de la elevación

Es necesario tener la opción “desactivada”, la cual mejora la seguridad y calidad de la recopilación de datos adquiridos.

17) Parámetro de altitud de despegue segura

Se establece un valor similar a la configuración de altitud y altura constante, con el fin de evitar inconvenientes durante la comprobación previa. Se configuró un valor cercano a “150 metros”.

18) Calibración de la IMU

La opción de calibración es importante tenerlo “activado”, para evitar movimientos o interferencias que puedan alterar la precisión de la información obtenida.

19) Configuración de la velocidad desplazamiento de dron

Se utilizó un valor de velocidad de “8 m/s”, la cual es recomendable mantener velocidades superiores a “ ≤ 7 m/s”, ya que valores menores podrían comprometer la estabilidad de la aeronave. Además, tampoco se sugiere configurar velocidades excesivamente altas, con el propósito de garantizar un rendimiento eficiente del sensor “LiDAR” durante su operación.

20) Ajuste de la opción de ángulo de rumbo

No se realiza ningún tipo de ajuste, respetando los valores por defecto. La cual permite tener una orientación de dron respecto al norte geográfico.

21) Configuración avanzada de sensor “LiDAR”

Es fundamental determinar, según el tipo de proyecto que vayamos a ejecutar. En el caso del presente estudio, se configuró al “30%”, la cual es un valor que garantiza un funcionamiento eficiente del sistema para asegurar la calidad de los datos obtenidos. Es aconsejable no configurar el sensor por encima del “< 70%”, ya que valores superiores pueden generar problemas en la etapa de procesamiento de datos.

22) Comprobación previa al vuelo

La verificación previa de todos los detalles, la cual podría afectar el movimiento aéreo del dispositivo es básica para que la operación se desarrolle en una forma adecuada, de acuerdo a los objetivos planificados previamente. Es importante verificar el estado físico del equipo, revisión de energía de la aeronave, conexión correcta del equipo “RTK”, comprobación de la altitud de vuelo, velocidad de dron, densidad de puntos y evaluación del entorno que se encuentre en óptimas condiciones para ejecutar el vuelo.

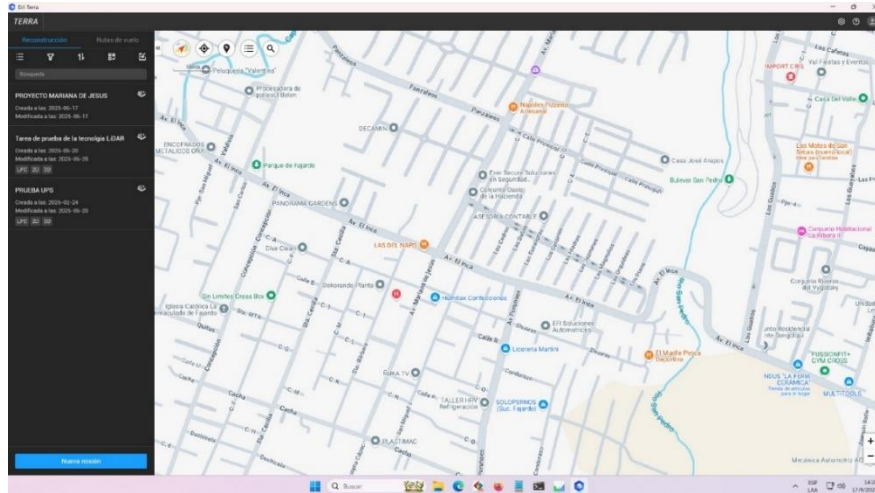
4.1.4 Procesamiento de la nube de puntos obtenida

1) Inicio del programa “DJI TERRA”

Este programa procesa la información obtenida a través del vuelo realizado con el dron que incorpora los datos capturados por la tecnología “LiDAR”.

Figura 48.

Imagen extraída del dispositivo con programa vista de la ventana principal del interfaz



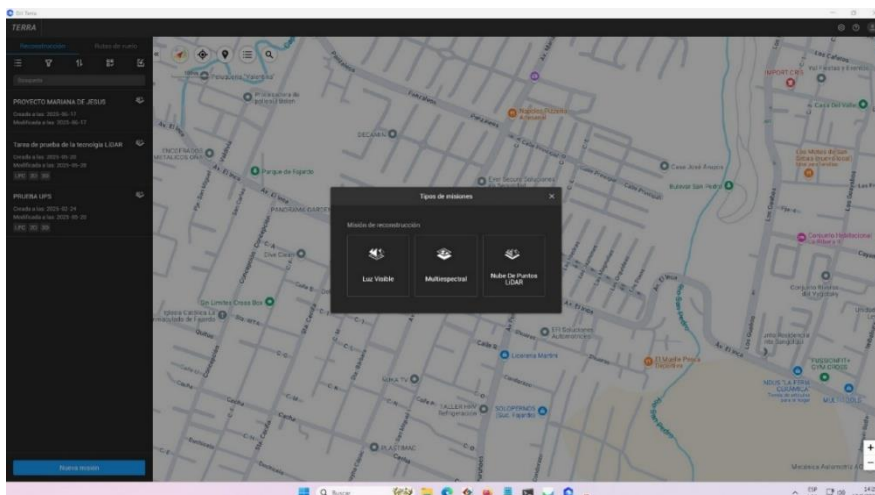
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” con el mapa de referencia. Elaborado por: Los autores.

2) Tipo de misión en realizar

En esta sección escogemos la misión de nube de puntos “LiDAR”.

Figura 49.

Imagen extraída del dispositivo con programa ventana para seleccionar el tipo de misión



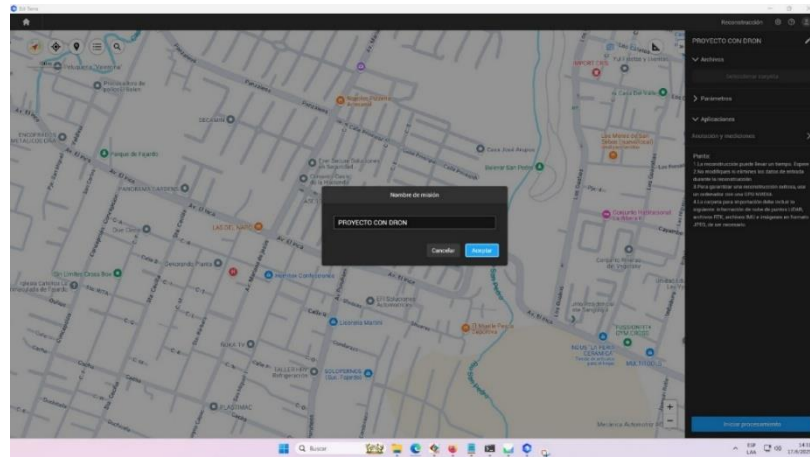
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” con el tipo de misiones. Elaborado por: Los autores.

3) Escribimos el nombre del proyecto

Damos un nombre a nuestro proyecto que vamos a realizar.

Figura 50.

Imagen extraída del dispositivo con programa para asignar un nombre al proyecto



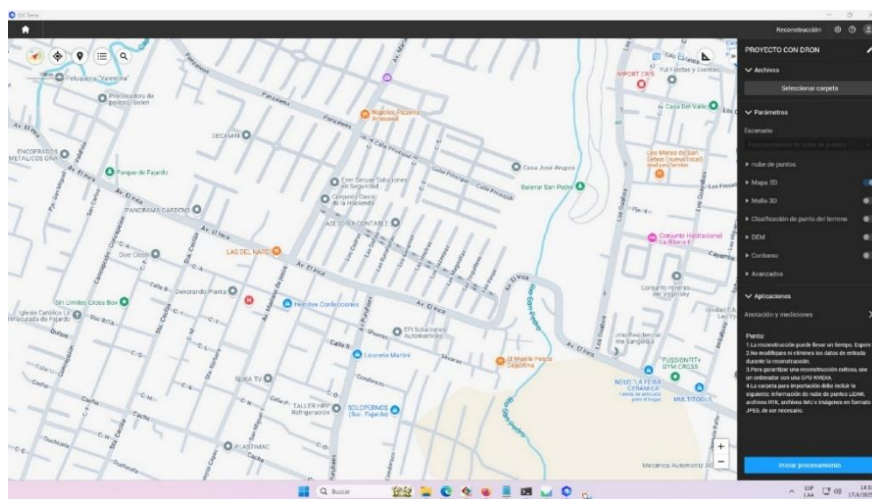
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” con el nombre del proyecto. Elaborado por: Los autores.

4) Modificar parámetros

Establecemos los parámetros de la misión a realizar, con el objetivo de tener una densidad de nube de puntos óptima para el proceso.

Figura 51.

Imagen extraída del dispositivo con programa con vista general del panel de configuraciones



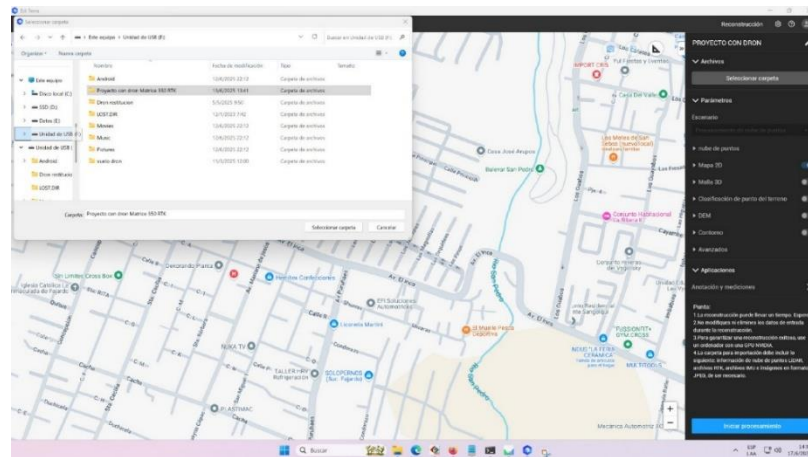
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” con los parámetros a ejecutar. Elaborado por: Los autores.

5) Selección de carpeta con la base de datos del sensor “LiDAR”

Escogemos la carpeta que contiene la información obtenida por la tecnología LiDAR.

Figura 52.

Imagen extraída del dispositivo con programa y ventana de fuente de datos del sensor LiDAR



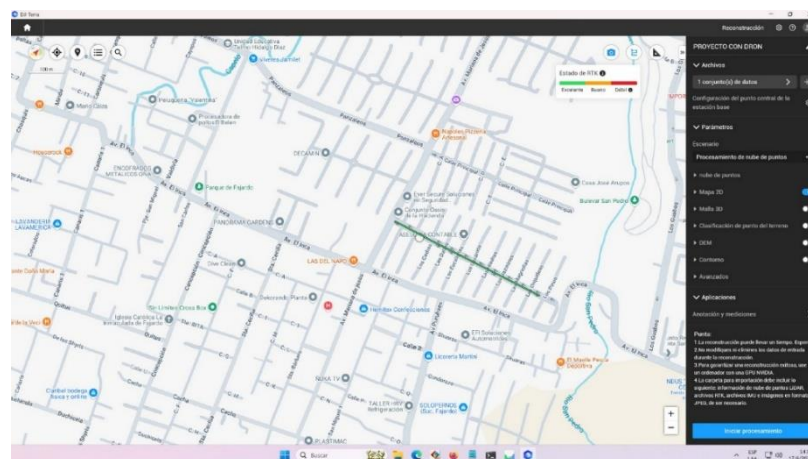
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” con la selección de archivo con datos. Elaborado por: Los autores.

6) Verificación de la ubicación de la vía

El programa detalla en donde se obtuvo la información por los equipos y se verifica que sean correctos.

Figura 53.

Imagen extraída del dispositivo con programa con referencia del tramo de vía obtenido



Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” con ubicación de la información del proyecto.

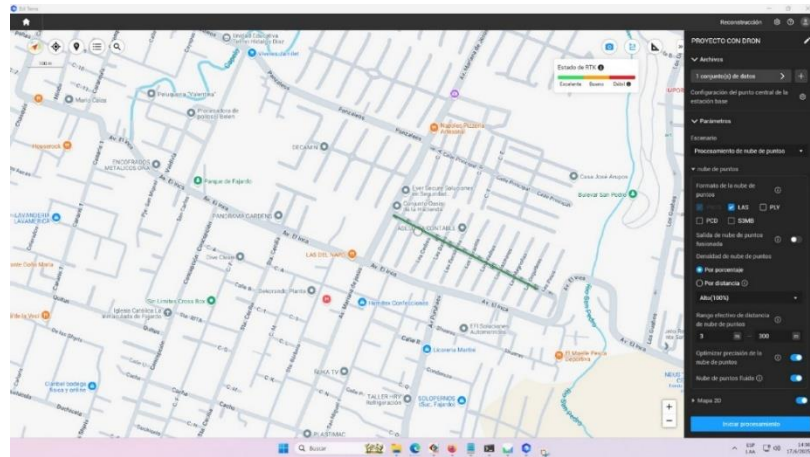
Elaborado por: Los autores.

7) Configuración de la nube de puntos

Se examina los parámetros en los cuales se procesará la “NP”.

Figura 54.

Imagen extraída del dispositivo con programa



Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” con despliegue configuración de nube de puntos.

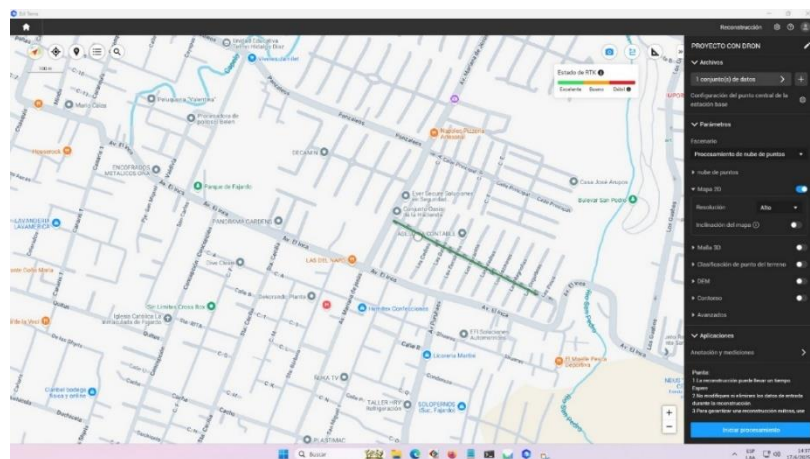
Elaborado por: Los autores.

8) Configuración de malla 2D

Se establece una resolución alta por default

Figura 55.

Imagen extraída del dispositivo con programa y despliegue de malla 2D



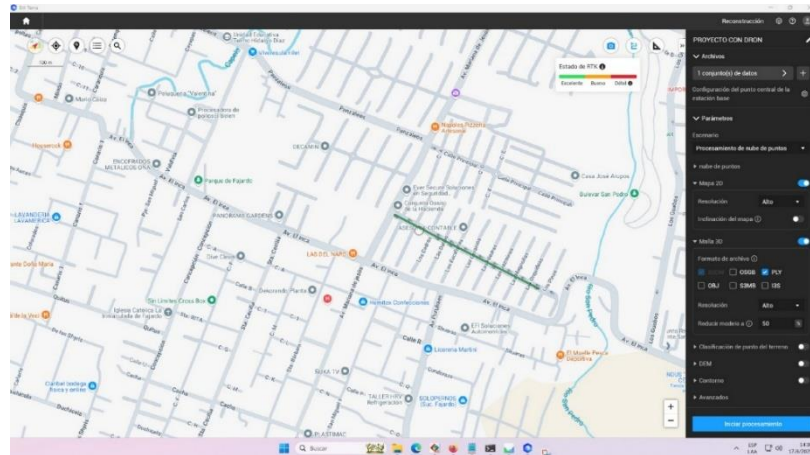
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” con despliegue Malla 2D. Elaborado por: Los autores.

9) Configuración de la resolución de malla 3D

Se establece los parámetros que calibran el modelaje en tres dimensiones.

Figura 56.

Imagen extraída del dispositivo con programa y despliegue de malla 3D



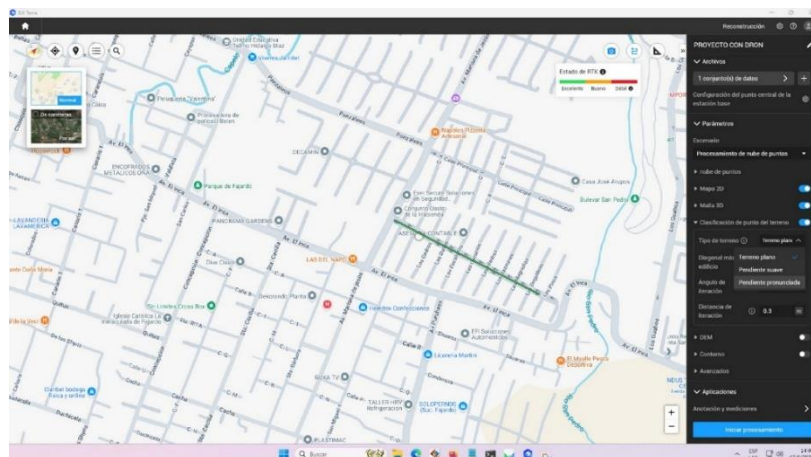
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” con despliegue Malla 3D. Elaborado por: Los autores.

10) Clasificación de la topografía del terreno

En base a la característica de nuestro proyecto seleccionamos el que va acorde con el mismo.

Figura 57.

Imagen extraída del dispositivo con programa y despliegue de la clasificación de punto de terreno



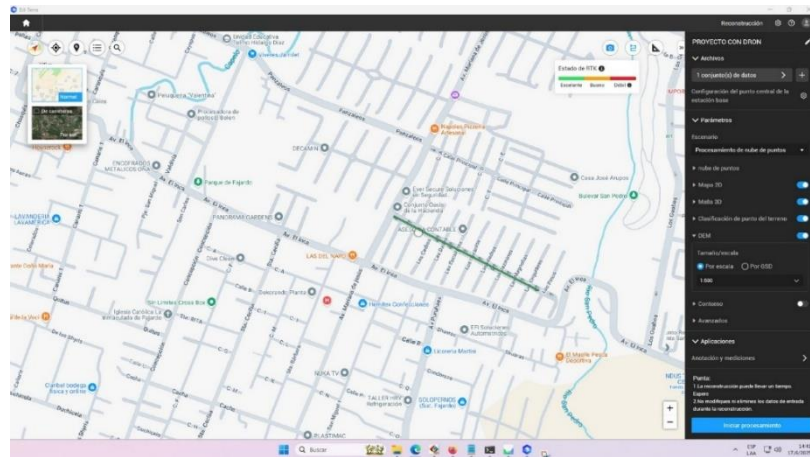
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” con despliegue clasificación de punto de terreno. Elaborado por: Los autores.

11) DEM

En esta sección se configura la elevación de una forma digital a escala de colores según su nivel.

Figura 58.

Imagen extraída del dispositivo con programa y despliegue de modelo digital de elevación



Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” selección para el modelo digital de elevación.

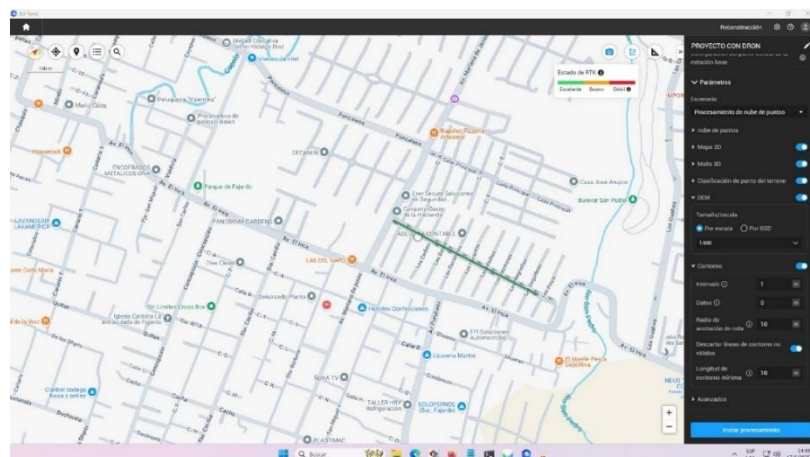
Elaborado por: Los autores.

12) CONTORNOS

En esta sección se configura las distancias de los puntos que queremos procesar en un rango estimado

Figura 59.

Imagen extraída del dispositivo con programa y despliegue de configuración de contorno



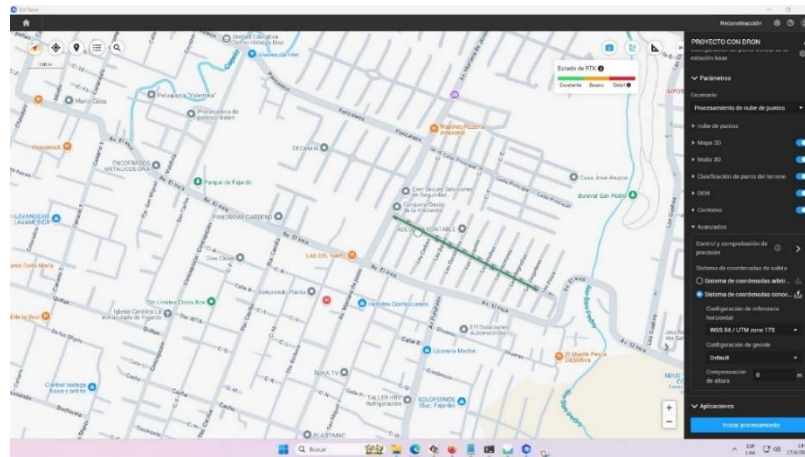
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” despliegue de opción contorno. Elaborado por: Los autores.

13) Sistema de coordenadas

En esta sección seleccionamos el sistema de coordenadas en las que nuestro proyecto está situado.

Figura 60.

Imagen extraída del dispositivo con programa y despliegue de configuraciones avanzadas



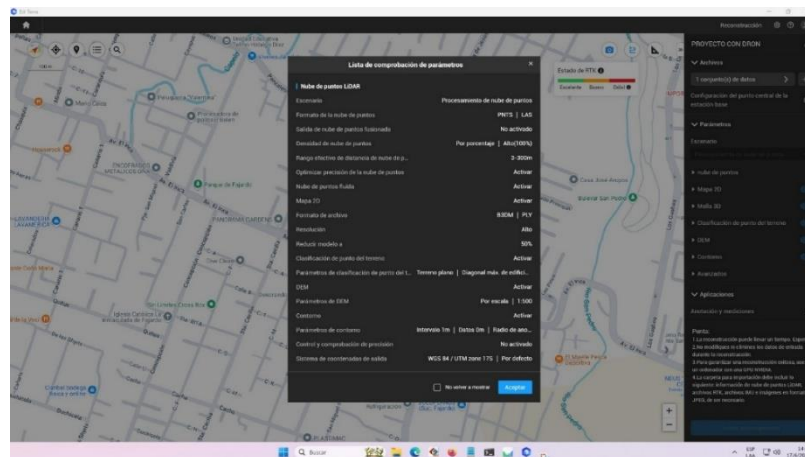
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” selección de sistema de coordenadas. Elaborado por: Los autores.

14) Comprobación de parámetros

El programa nos permite visualizar un resumen de las configuraciones que hicimos antes de ejecutarlas.

Figura 61.

Imagen extraída del dispositivo con programa y ventana de confirmación de parámetros



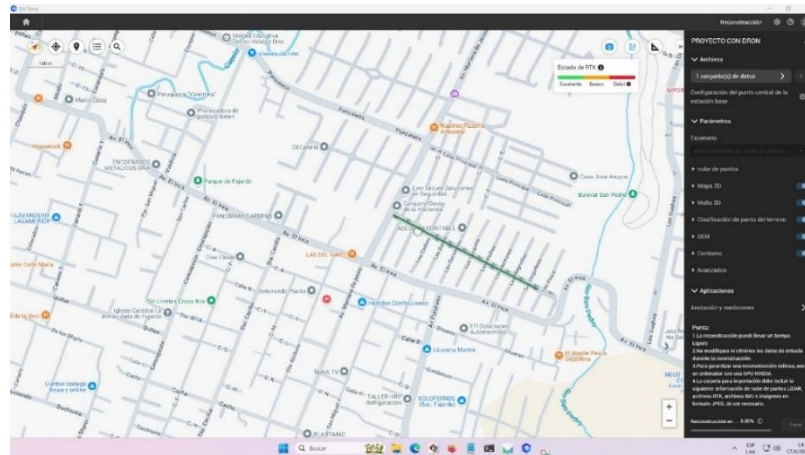
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” resumen de configuraciones. Elaborado por: Los autores.

15) Inicio de procesamiento

El programa nos muestra una barra de carga en la cual indica el porcentaje de avance de nuestro proyecto.

Figura 62.

Imagen extraída del dispositivo con programa y vista de barra de carga del avance del proceso



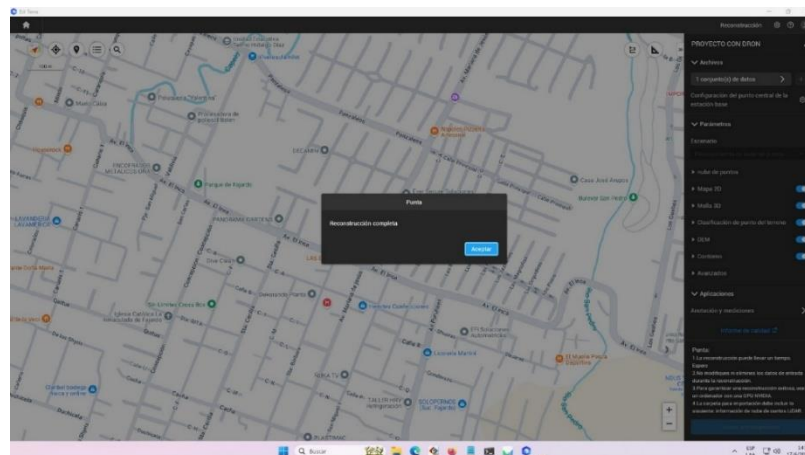
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” avance de la ejecución. Elaborado por: Los autores.

16) Finalización de la ejecución del proyecto

La ventana que se visualiza es la orden de trabajo de reconstrucción completado.

Figura 63.

Imagen extraída del dispositivo con programa y ventana de finalización de reconstrucción



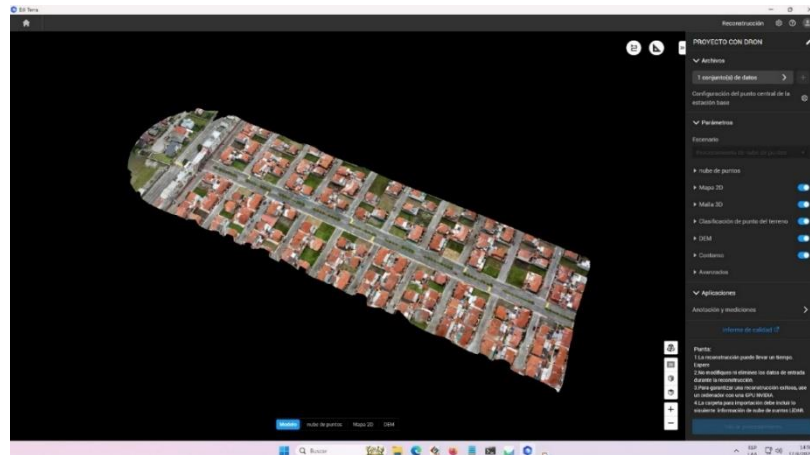
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA”, proceso completo. Elaborado por: Los autores.

17) Modelo de nube de puntos

Se visualiza la creación de la “NP” que incluyen alturas en el espacio de cada objeto analizado.

Figura 64.

Imagen extraída del dispositivo con programa con modelo distinguido por colores



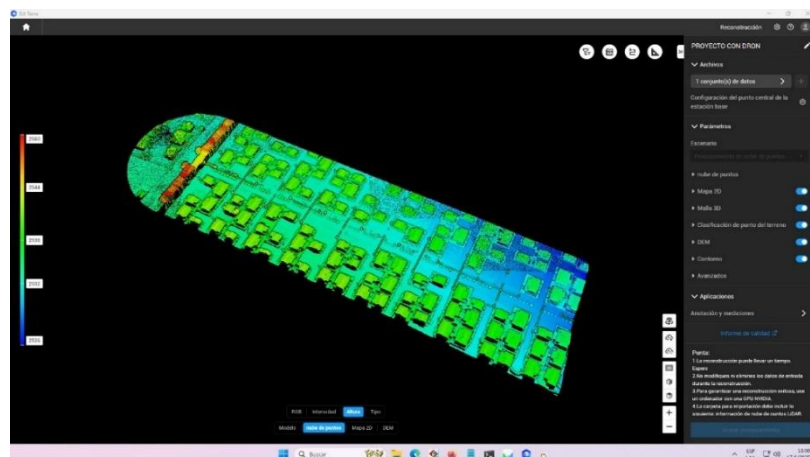
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” modelo digital de elevación. Elaborado por: Los autores.

18) Alturas de nubes de puntos

Se visualiza la generación de alturas que se encuentran los objetos capturados por el “LiDAR”.

Figura 65.

Imagen extraída del dispositivo con programa con alturas establecidas por colores



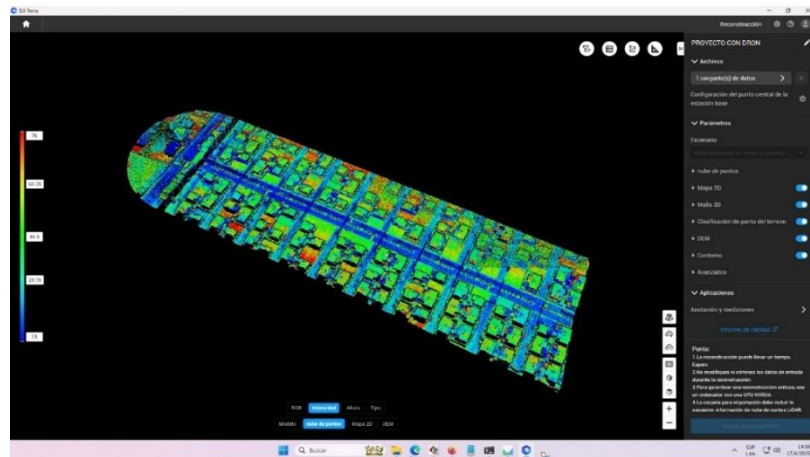
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” modelo digital de elevación. Elaborado por: Los autores.

19) Intensidad de alturas

Se visualiza por colores más destacados la variación de las alturas de los objetos.

Figura 66.

Imagen extraída del dispositivo con programa con distinción de los materiales capturados



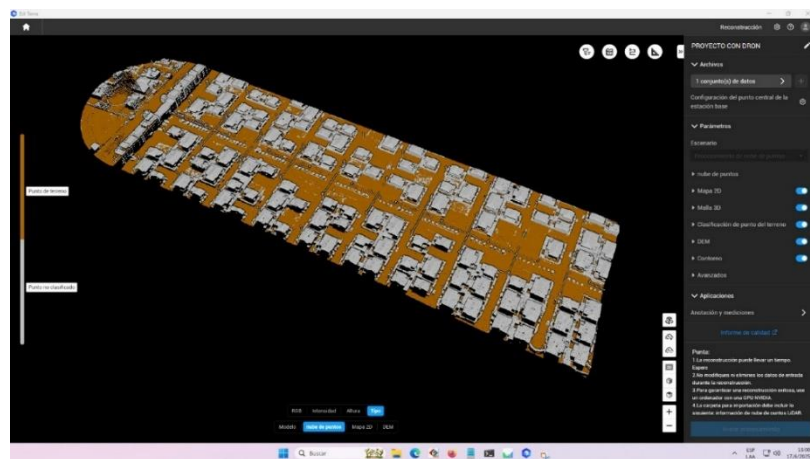
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” modelo digital de elevación. Elaborado por: Los autores.

20) Tipo de nube de puntos

Se visualiza la distinción que hace el programa a lo que estima lo que es edificación y lo que considera terreno.

Figura 67.

Imagen extraída del dispositivo con programa con distinción de terreno plano y construcciones aledañas



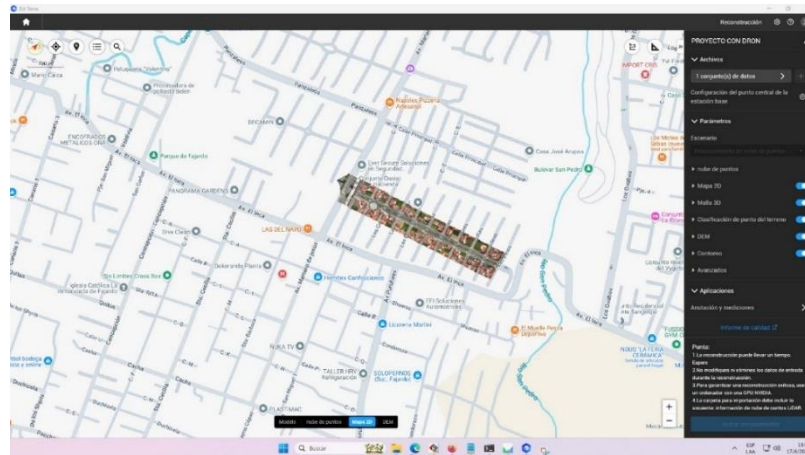
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” modelo digital de elevación. Elaborado por: Los autores.

21) Mapa 2D

Se visualiza la implantación del modelo en el mapa web que dispone el software.

Figura 68.

Imagen extraída del dispositivo con programa implantación en 2D del modelo en el mapa



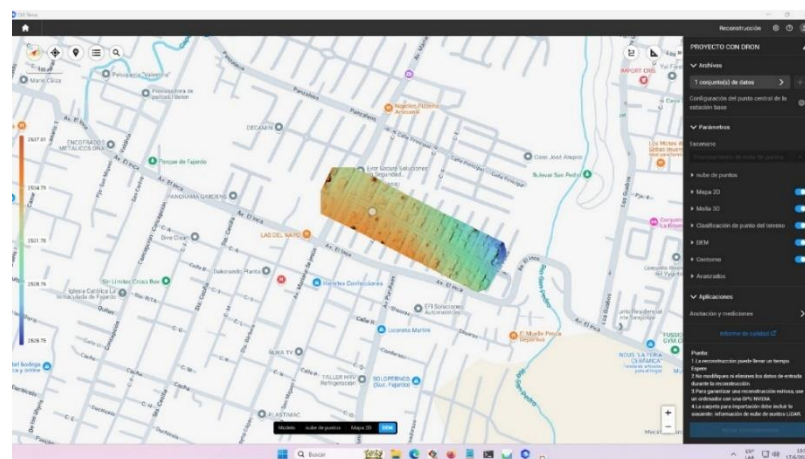
Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” implantación 2D del modelo. Elaborado por: Los autores.

22) DEM

Se visualiza la implantación del modelo digital de elevación en el mapa web que dispone el software.

Figura 69.

Imagen extraída del dispositivo con programa con modelo digital de elevación referenciado en el mapa



Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” implantación 2D del modelo digital de elevación.

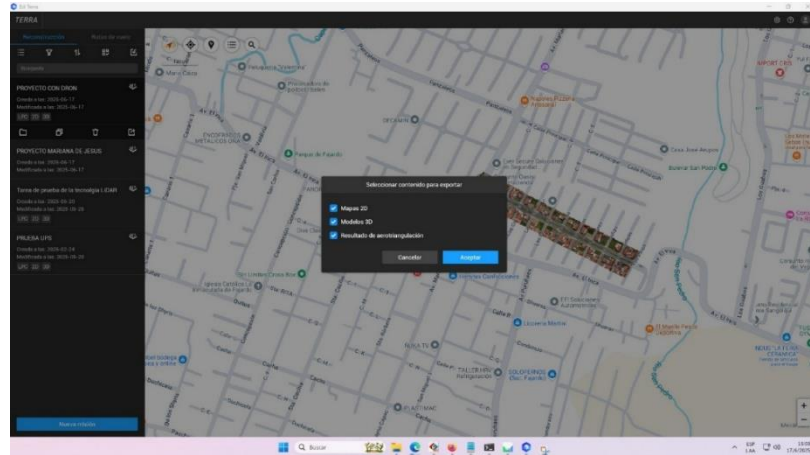
Elaborado por: Los autores.

22) Verificación de exportación

Se visualiza los esquemas que se exportaran del trabajo ejecutado

Figura 70.

Imagen extraída del dispositivo con programa y ventana de selección de contenido para exportar



Nota. Vista de la aplicación “DJI TERRA” verificación de exportación. Elaborado por: Los autores.

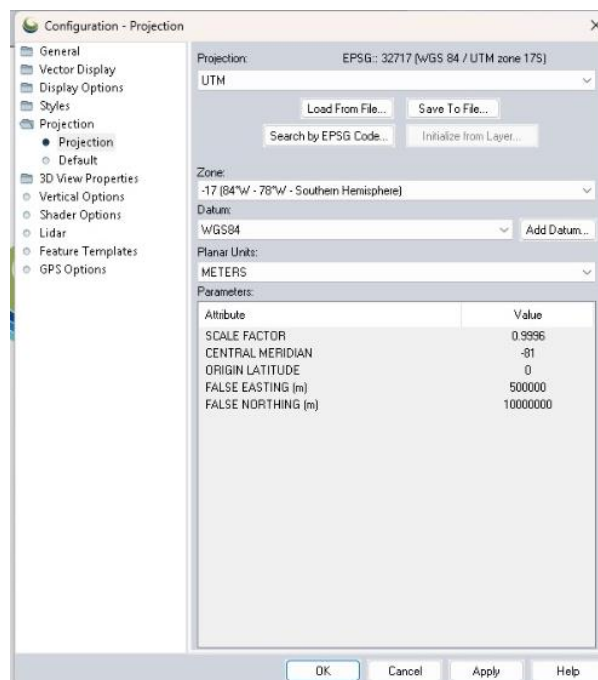
4.1.5 Elaboración de superficie en la aplicación “Autodesk Civil 3D”

1) Ingresamos al programa “Global Mapper”.

El programa “Global Mapper” permite de manera eficiente la importación de “NP” generadas y exportadas desde el software “DJI TERRA”, facilitando su integración en procesos de análisis topográficos, modelados de terreno y generación de puntos georreferenciados.

Figura 71.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” ventana de configuración de proyección



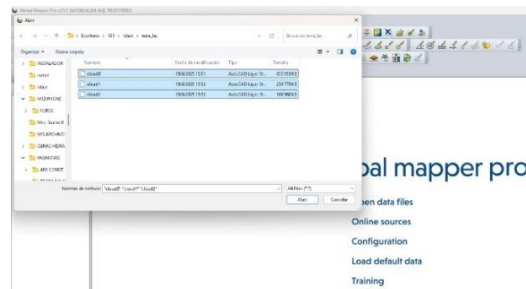
Nota. Vista del software “Global Mapper Pro v25.1” ventana de “Configuration”. Elaborado por: Los autores.

2) Seleccionamos la opción “Open data files”.

En esta parte del proceso se localiza la carpeta denominada “terra_las”, correspondiente a la exportación realizada desde “DJI TERRA”, el cual procesó estos archivos de “NP” configurados con el sistema “LAS” que son viables para el trabajo y proceso entorno al “Sistema de Información Geográfica” como lo maneja “Global Mapper”.

Figura 72.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” con ventana de open data files



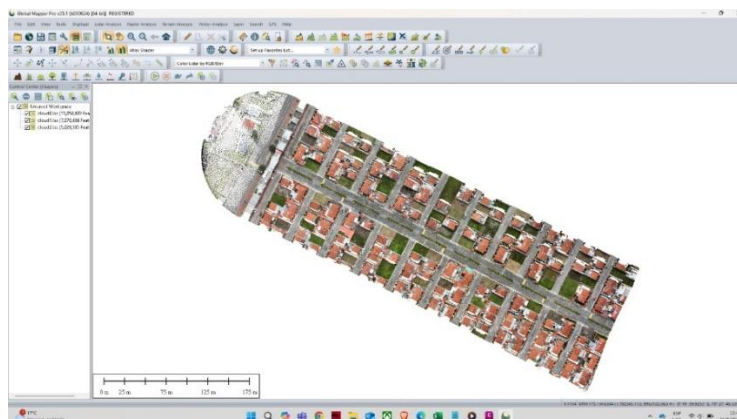
Nota. Vista del software “Global Mapper” ventana de “Open data files”. Elaborado por: Los autores.

3) Click en aceptar y se genera la nube de puntos

Como se visualiza en la imagen, el programa informático proporciona una vista detallada de la “NP” obtenida, permitiendo destacar las propiedades espaciales y atributos asociados para su posterior proceso y análisis topográfico.

Figura 73.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” con vista general de la “NP”



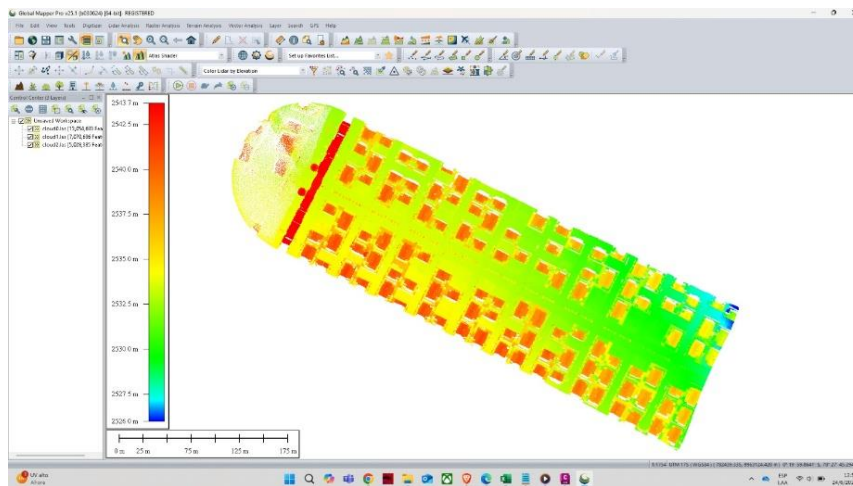
Nota. Vista del software “Global Mapper” vista de la “NP”. Elaborado por: Los autores.

4) Vista de elevaciones con gama de colores

Mediante la opción “Color Lidar by Elevation”, el software aplica una escala de colores de la “NP” en función de referencias longitudinales, la cual permite identificar visualmente las variaciones en la topografía y analizar de manera óptima los rangos de elevación del terreno.

Figura 74.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” con vista de elevaciones de los puntos



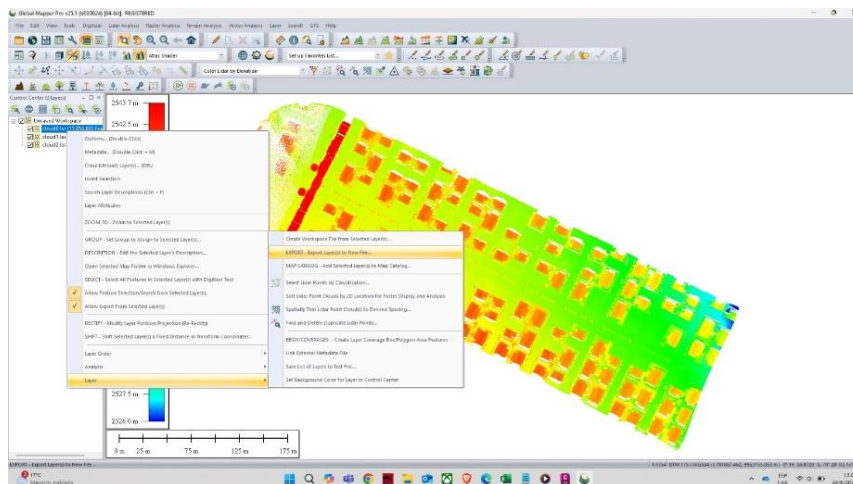
Nota. Vista del software “Global Mapper Pro” vista de la elevación por puntos. Elaborado por: Los autores.

5) Exportación de la nube de puntos

Se accede al menú haciendo click derecho sobre la capa correspondiente en la bandeja de archivos de “Control Center”; a continuación, se selecciona la opción “Layer” y posteriormente se elige “EXPORT – Export Layer(s) to New File...”, con el fin de exportar la nube de puntos activa a un nuevo archivo en el formato deseado para su uso posterior.

Figura 75.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” con ventana de exportación de puntos



Nota. Vista del software “Global Mapper” ventana de exportación de la base de datos”.

Elaborado por: Los autores.

6) Exportación de archivo RCS

Desde la barra de menú despegable del formato de exportación, se selecciona el formato “RCS (Autodesk ReCap)”, lo cual permite generar un archivo compatible con plataformas de Autodesk, en este caso, con Civil 3D, facilitando el manejo de la información obtenida.

Figura 76.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” y ventana de selección de formato de exportación



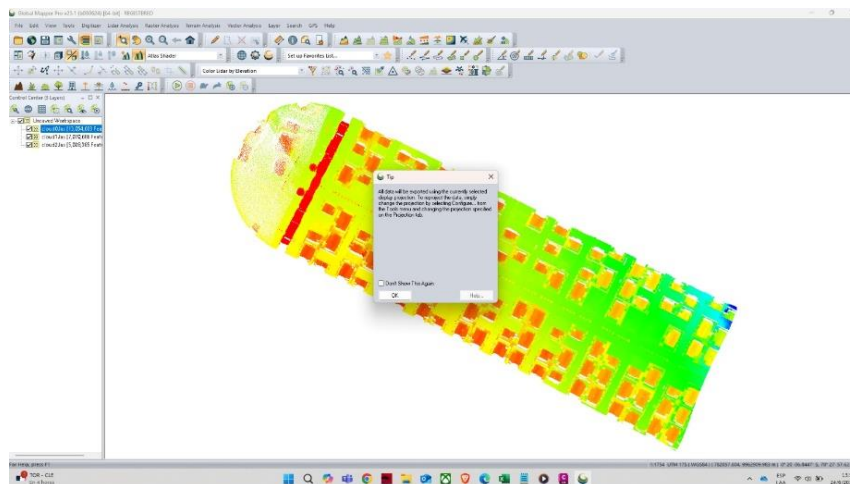
Nota. Vista del software “Global Mapper Pro” Select Export Format. Elaborado por: Los autores.

7) Se desplegar una ventana de consejo o sugerencia

Finalmente, se confirma la operación dando click en “OK”, con lo cual se ejecuta el proceso de exportación de la capa seleccionada al formato “RCS”, completando así la preparación del archivo para su integración en plataformas de diseño y modelado de “Autodesk”.

Figura 77.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” con ventana de consejo del software



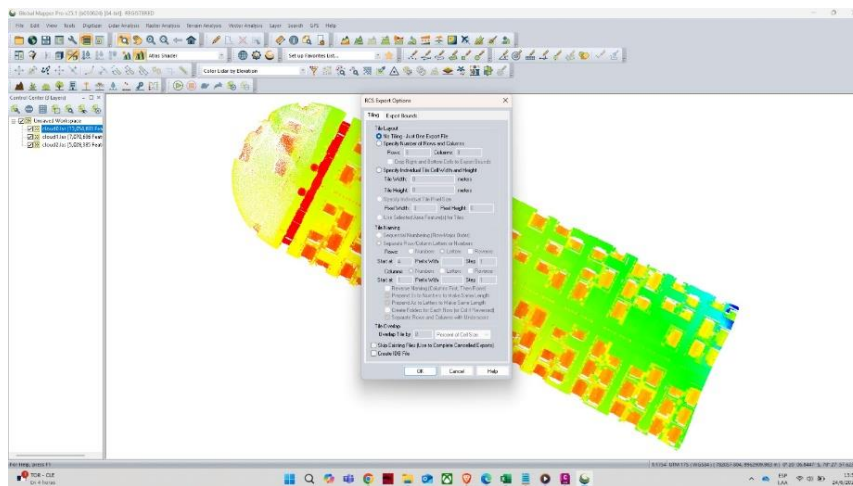
Nota. Vista del software “Global Mapper Pro” Ventana TIP. Elaborado por: Los autores.

8) Opciones de la configuración “RCS Export Options”

En la ventana emergente que aparece a continuación, se conservan los parámetros predeterminados sin realizar modificaciones, y se procede a confirmar la operación dando click en “OK”, finalizando así el procedimiento de exportación de la “NP”.

Figura 78.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” y ventana de (RCS export options)



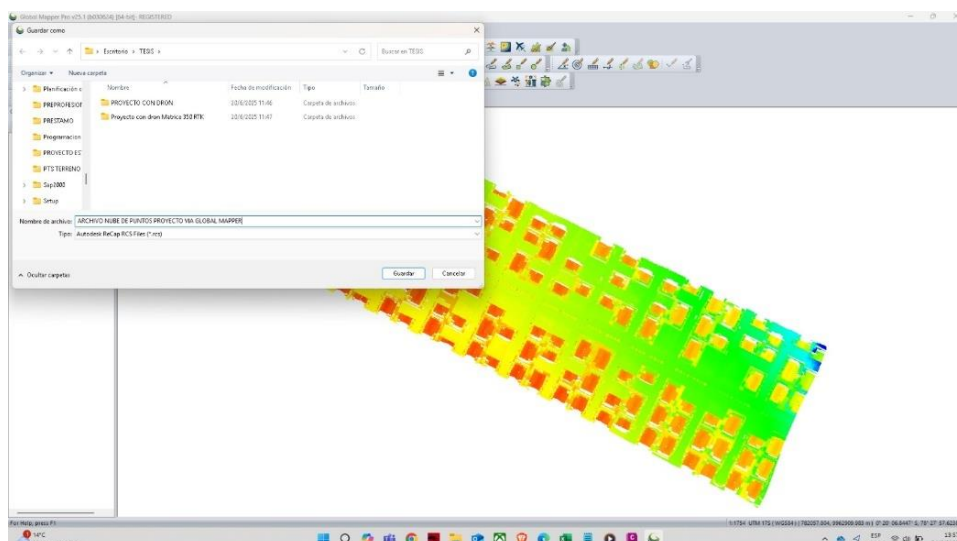
Nota. Vista del software “Global Mapper” RCS Export Option. Elaborado por: Los autores.

9) Ubicamos la carpeta donde guardar el archivo

En la siguiente ventana, establecemos una carpeta de destino para almacenar el archivo de exportación, así su búsqueda para la importación a “Civil 3D” es de manera rápida.

Figura 79.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” y ventana de selección de ubicación del archivo a exportar



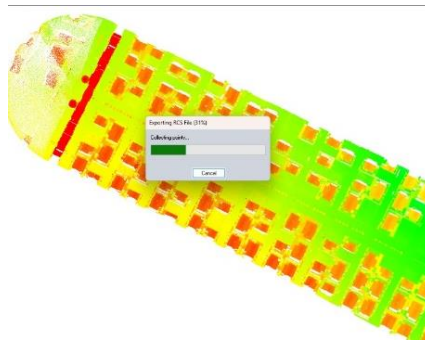
Nota. Vista del software “Global Mapper” Guardar como. Elaborado por: Los autores.

10) Despliegue de ventana de proceso de exportación

Esperamos que el programa finalice el procesamiento de los datos, proceso en el cual lleva a cabo la estructuración del archivo exportado según el formato seleccionado, garantizando su correcta generación y posterior utilización.

Figura 80.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Global Mapper” y ventana de proceso de exportación



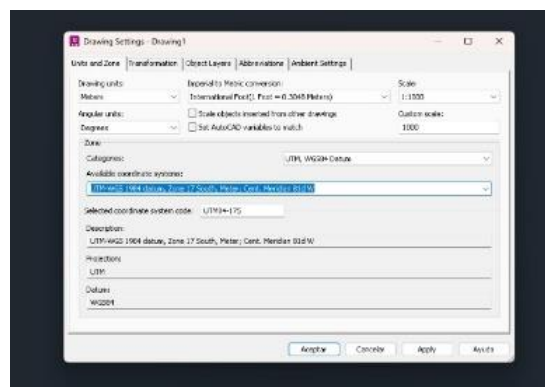
Nota. Vista del software “Global Mapper Pro” “Exporting RCS File. Elaborado por: Los autores.

11) Configuración de la zona del proyecto en Civil 3D

Se procede a la selección de la zona hemisférica correspondiente a la ubicación geográfica de nuestro proyecto, lo cual es fundamental para la correcta definición del sistema de coordenadas proyectadas.

Figura 81.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana de Drawing Settings



Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” ventana “Drawing Settings – Drawing 1”.

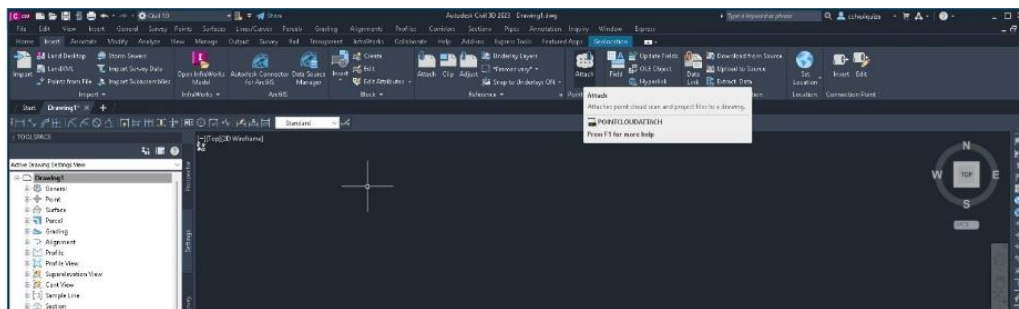
Elaborado por: Los autores.

12) Insertar nube de puntos

Partiendo de la barra de menú localizada en la sección superior, se accede a la pestaña “insert” y se selecciona la parte visualizada “Attach”, con el objetivo de insertar el archivo externo generado a partir de la “NP”.

Figura 82.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y enfoque de opción attach



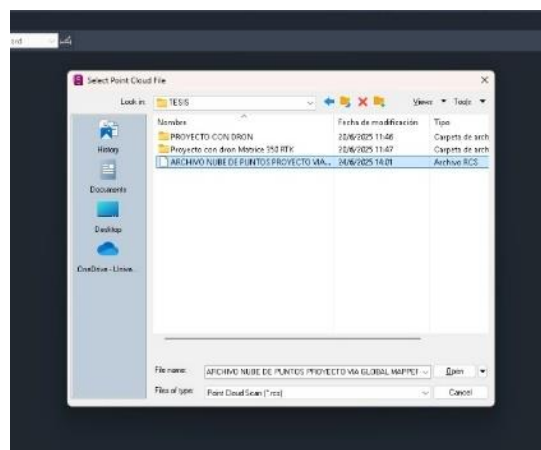
Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” opción “Attach”. Elaborado por: Los autores.

13) Selección del archivo exportados de “Global Mapper”

Se procede a seleccionar la ubicación del archivo previamente exportado, configurando los parámetros de inserción de acuerdo con el formato de origen, en este caso, el formato “RCS”, con el fin de asegurar una correcta integración espacial del modelo.

Figura 83.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana de ubicación de archivo “RCS”



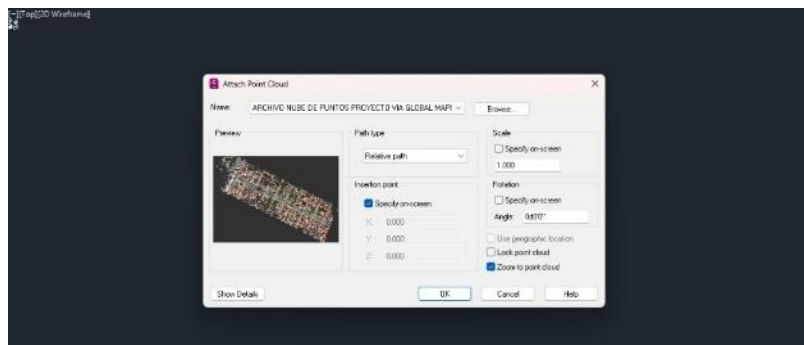
Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” ventana “Select Point Cloud File”. Elaborado por: Los autores.

14) Confirmación de la importación de la nube de puntos

Sin realizar modificaciones en los parámetros predeterminados, se confirma la operación haciendo click en “OK”, permitiendo así la inserción del archivo con la configuración estándar establecida por el sistema.

Figura 84.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana attach point cloud



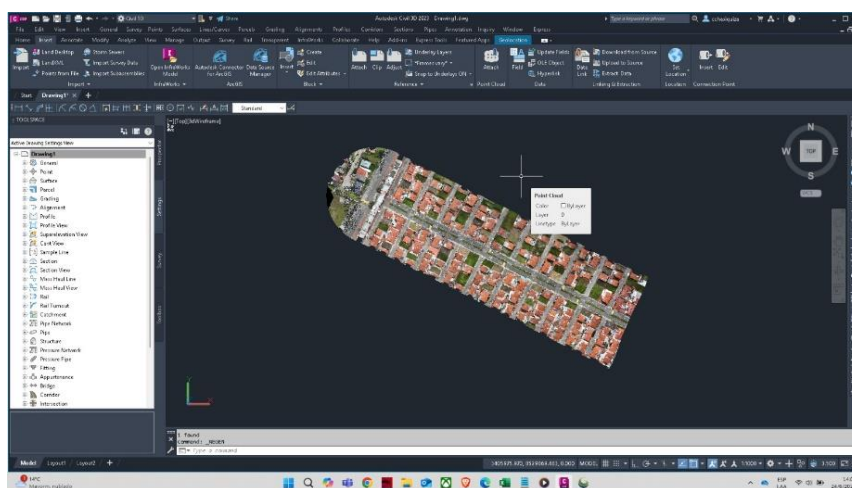
Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” ventana “Attach Point Cloud”. Elaborado por: Los autores.

15) Visualización de la nube de puntos importada

La vista general de la “NP” en Civil 3D proporciona una representación tridimensional de la “NP”, facilitando la visualización del modelo establecido.

Figura 85.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D”, ventana de model con la “NP”



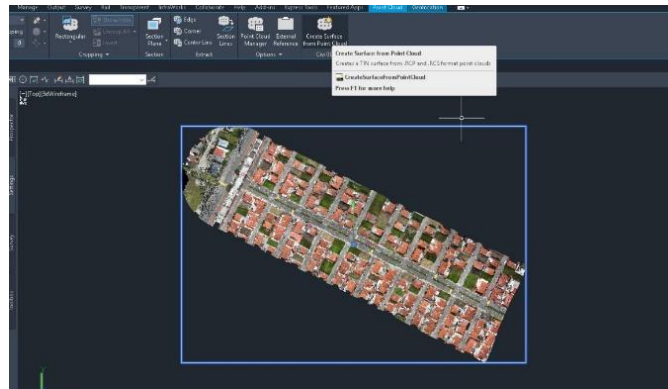
Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” vista de la “NP”. Elaborado por: Los autores.

16) Crear la superficie a través de la nube de puntos

Seleccionamos la “NP” en el entorno de Civil 3D y se selecciona “Create Surface from Point Cloud”, lo que permite generar una superficie del terreno con una imagen digitalizada a través de la información extraída de la investigación de campo.

Figura 86.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y enfoque en opción de crear superficie desde la “NP”



Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” opción “Create Surface from Point Cloud”.

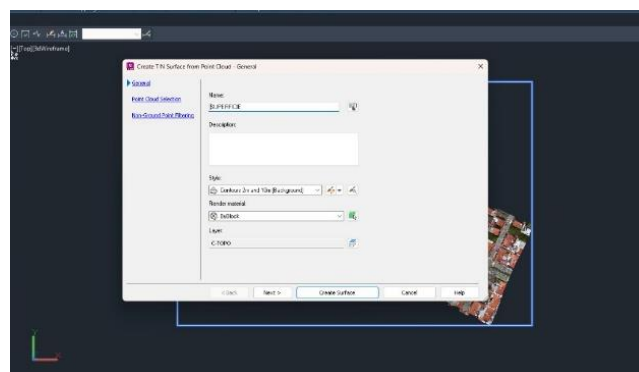
Elaborado por: Los autores.

17) Nombre de la superficie

Para identificar la superficie que crearemos, establecemos un nombre, permitiendo su correcto orden y gestión, facilitando su referencia en los siguientes procesos.

Figura 87.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana de la configuración de superficie



Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” Ventana “Create TIN Surface from Point Cloud

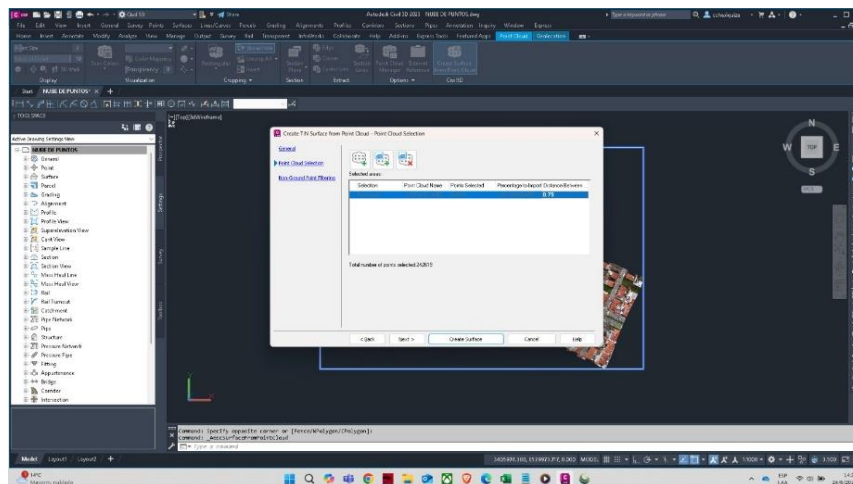
- General. Elaborado por: Los autores.

18) Reducción de la densidad de la nube de puntos

Se establece una distancia promedio entre puntos de 0.75 metros, lo que determina la densidad de muestreo utilizada para generar la superficie, garantizando un equilibrio adecuado entre nivel de detalle y rendimiento computacional.

Figura 88.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana de configuración de densidad de la “NP”



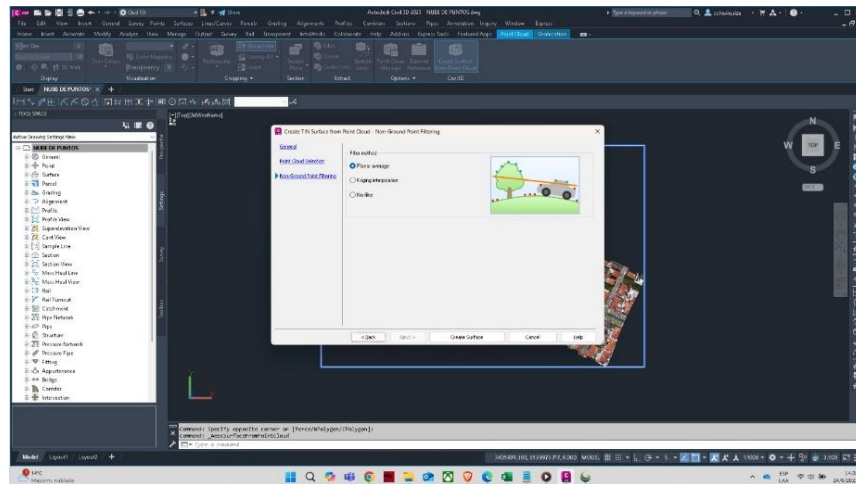
Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” Ventana “Create TIN Surface from Point Cloud – Point Cloud Selection”. Elaborado por: Los autores.

19) Parámetro de interpolación de puntos

Se realiza la interpolación de las mediciones cuantitativas obtenidas, con el fin de generar una superficie continua del terreno, mediante la estimación de valores intermedios entre puntos medidos, lo que permite modelar con precisión las variaciones topográficas del área de estudio.

Figura 89.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana de interpolación de la “NP”



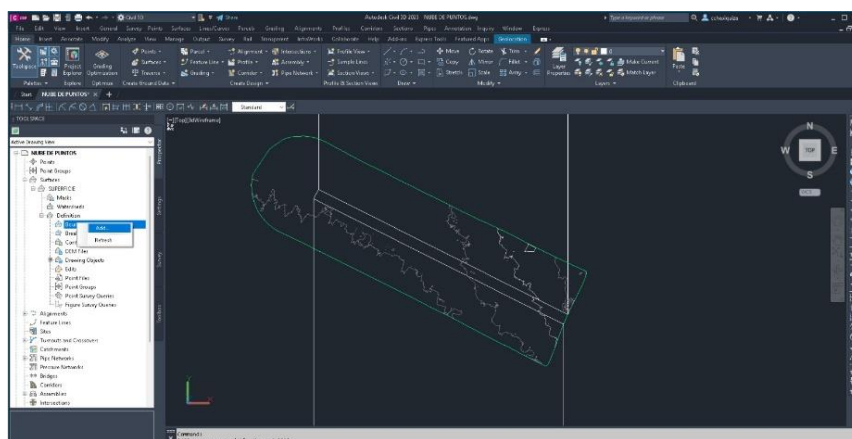
Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” Ventana “Create TIN Surface from Point Cloud - Non-Ground Point Filtering”. Elaborado por: Los autores.

20) Creación de recorte de la vía

Creamos una referencia del corredor vial con el fin de delimitar su extensión y posteriormente, en el apartado “Boundaries” del corredor, damos “Click” derecho y seleccionamos la opción “Add” para añadir un nuevo límite de la superficie.

Figura 90.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” con enfoque en toolspace



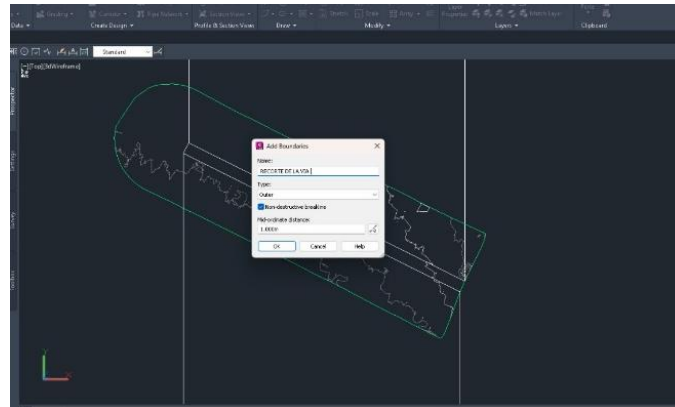
Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” Vista de “TOOLSPACE”. Elaborado por: Los autores.

21) Nombre al recorte de la vía

Asignamos un nombre descriptivo al límite de recorte de la vía y confirmamos la operación dando “Click” en “Ok”, para que se registre los parámetros de recorte.

Figura 91.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y ventana de add boundaries



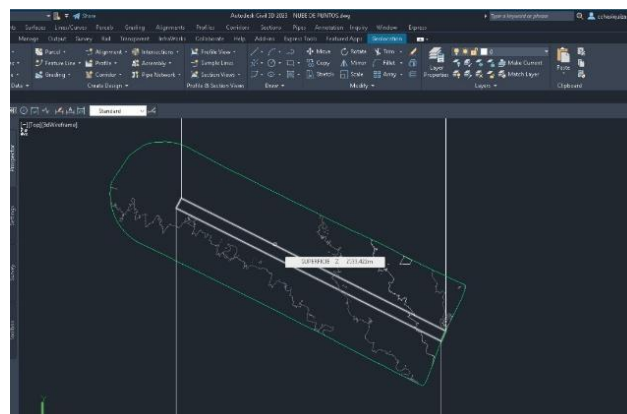
Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” Ventana de “Add Boundaries”. Elaborado por: Los autores.

22) Delimitación de la vía.

Seleccionamos la polilínea de referencia generada, así el programa establece la superficie solo y únicamente de nuestra área de análisis que se encuentra localizada en un espacio vial.

Figura 92.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” y selección de la superficie vial



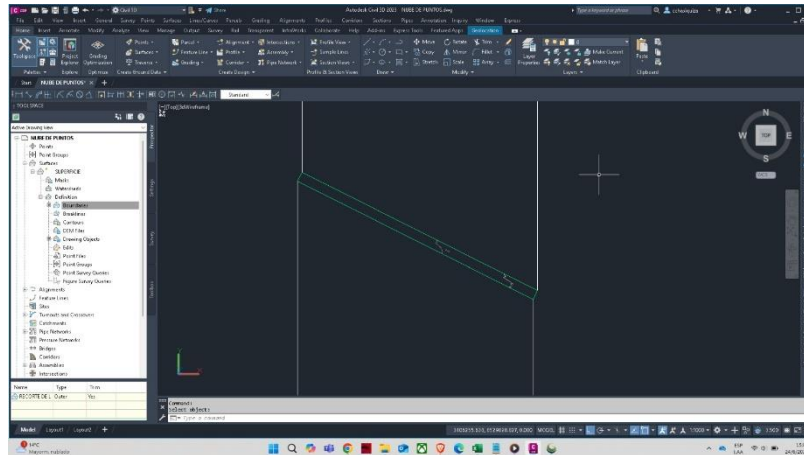
Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” Ventana de Model. Elaborado por: Los autores.

23) Visualización del recorte de la vía

La ventana de “model” nos muestra el recorte de la superficie de la vía.

Figura 93.

Imagen extraída del dispositivo con programa “Autodesk Civil 3D” vista de model con la superficie recortada



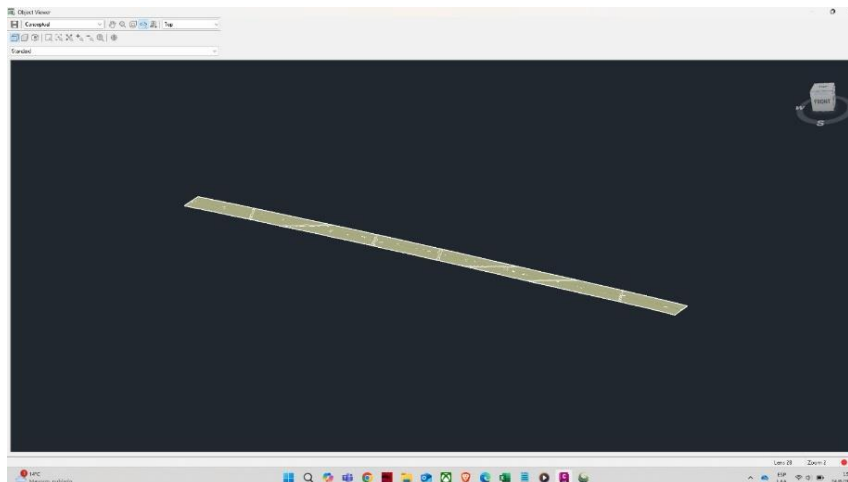
Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” Ventana de Model. Elaborado por: Los autores.

24) Vista en 3D de la superficie de la vía

En el menú del programa seleccionamos la opción “Object Viewer”, mencionada herramienta nos permite visualizar la superficie del corredor en el entorno tridimensional.

Figura 94.

Imagen del programa “Autodesk Civil 3D” vista desde object viewer



Nota. Vista del software “Autodesk Civil 3D” Object viewer. Elaborado por: Los autores.

CONCLUSIONES

La utilización del Dron “M350 RTK” de la marca “DJI” equipado con un sensor “LiDAR”, permitió registrar información de la superficie de estudio con un gran nivel de detalle y exactitud, de la nube de puntos, la cual posibilitó la operación en zonas de acceso limitado. Su limitante en el uso de esta tecnología en zonas de vegetación densa es que el haz del láser detecta el mínimo objeto que este en la superficie, por ello el grado de exactitud del terreno natural varía por la recopilación de datos de las cubiertas vegetales.

La utilización de este equipo en la configuración adecuada que incluye los parámetros como altitud, velocidad del dron, sistema de navegación inercial, modo de altitud y posicionamiento del “RTK”, por consecuencia se garantiza un despegue y aterrizaje seguros, sin comprometer la integridad del mismo. Esta metodología previa asegura una orientación posición correctas, disminuyendo vibraciones o desviaciones que afecte a la recopilación de datos.

Conjuntamente entre el sensor “LiDAR” y el dron recopilaron una nube de puntos densa y precisa, por consecuencia la importación de estos datos en los programas “DJI Terra” y “Global Mapper” fue procesado exitosamente. Así en presente documento de estudio se comprobó la fiabilidad del manejo de cada formato que exportaban los programas mencionados, obteniendo la información de las coordenadas georreferenciadas para la creación de un modelo digital de la ruta vial.

La importación de la información generada desde “Global Mapper” obteniendo un formato “RCS” que es compatible con los programas de “Autodesk”, en este caso el desarrollador “Autodesk civil 3D”. El último programa computacional en mención el cual es el más reciente sistema computacional que permite la exclusión de información que no estaba en el tramo de vía de análisis.

El proceso compartido que inicio desde la calibración del dron hasta el modelado digital en “Autodesk civil 3D” se completó de manera óptima. No únicamente se cumple con los objetivos planeados, además se establece un proceso replicable para proyecto de mayor magnitud, mejorando la precisión y optimización los tiempo de ejecución

RECOMENDACIONES

Se sugiere efectuar una verificación preliminar de la configuración de los parámetros de vuelo del dron, complementada con la realización de un vuelo de prueba para garantizar el correcto funcionamiento del sistema y la calidad de los datos recopilados. Con el propósito de ejecutar el vuelo bajo condiciones seguras y controladas. Se recomienda la utilización de dron con la tecnología “LiDAR” en zonas donde no exista una densa cobertura vegetal ni interferencias provocadas por cableado eléctrico, con el fin de optimizar la calidad de la información obtenida.

Es necesario comprobar que el equipo de dron con el sensor “LiDAR” se encuentre en óptimas condiciones, incluyendo la revisión del estado y nivel de carga de las baterías, con el fin de evitar fallos en el transcurso de la operación aérea.

La planificación de la misión debe realizar una revisión del entorno para no atravesarse en zonas restricción aérea como: recintos educativos, zonas militares, centros de detención, entre otras. Se aconseja una inspección previa del área a levantar, así como diseñar una estrategia de vuelo anticipada que permita verificar las condiciones climáticas, evitando la ejecución durante eventos de precipitación o altas velocidades de viento.

Es importante verificar que el índice “Kp”, la cual representa la actividad geomagnética provocada por el viento solar, se mantenga debajo de 4, con el fin de garantizar la óptima funcionalidad del dron y la estabilidad de sistema “RTK” de posicionamiento satelital.

Se recomienda realizar la extracción de los datos inmediatamente después del vuelo, con el fin de verificar que todos los archivos generados se encuentren en orden y completamente. Garantizando que la información obtenida sea fiable y sin anomalías en los datos.

REFERENCIAS

- American Society for Photogrammetry & Remote Sensing. (2019). *LAS specification 1.4 – R15*. https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/07/LAS_1_4_r15.pdf
- AUGI. (2024). *The evolution of land surveying*. <https://www.augi.com/articles/detail/the-evolution-of-land-surveying>
- Blue Marble Geographics. Global Mapper Suite. (2025). *Global mapper*. <https://www.blumarblegeo.com/global-mapper/>
- Blue Marble Geographics. Video collection. (2025). *How to Create a Topographic Map from Lidar*. <https://www.blumarblegeo.com/video-collection/how-to-create-a-topographic-map-from-lidar/>
- Diaria, F., Roggero, M., *Quality Assessment of DJI Zenmuse L1 and P1 LiDAR AND Photogrammetric Systems: Metric and Statistics Analysis with the Integration of Trimble SX10 Data*. <https://www.mdpi.com/2673-7418/2/3/15>
- DJI. (2023). *Matrice 350 RTK user manual v1.0*. DJI. https://dl.djicdn.com/downloads/matrice_350_rtk/Matrice_350_RTK_User_Manual_en.pdf
- DJI. (2023). *Zenmuse L2 user manual v1.0*. DJI. https://dl.djicdn.com/downloads/Zenmuse_L2/Zenmuse_L2_User_Manual_v1.0_EN.pdf
- Era of Invention. (2024). *Exploring the history of ancient land measurement in Egypt*. <https://eraofinvention.com/ancient-land-measurement-in-egypt/>
- Fenner-Esler. (2025). *Surveying during ancient times: Egyptians and Greeks*. <https://fenner-esler.com/blog/surveying-during-ancient-times-egyptians-and-greeks/>
- Ferrecio, N (2006). *Análisis de la técnica RTK*. Editorial de la Universidad Nacional de la Plata (REUN). <https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/30728/Documentocompleto%2520Soto%2520TesisRTK%2520digital%2520OK%252005%2520nov%25202013.pdf%3Fsequence%3D1>
- Instituto Geográfico Militar – Ecuador. (2020). *Análisis de la Red Nacional GPS pasiva enlazada al sistema de referencia SIRGAS95 y su evolución hacia la nueva infraestructura soportada por la Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador*.

[Documento técnico]. <https://www.geoportaligm.gob.ec/geodesia/wp-content/uploads/2020/04/An%C3%A1lisis-Red-Nacional.pdf>

McKeown, D., Aardt, J., Mabel, M., Foster-Moore, E., Simpson, A., Rao, N., Forni, M., Baca, A., Burzykowska, A., Bonte, M., Brecht, H., Madrid, M., Balog, S., & Moller, D., *Digital Elevation Model: A Guidance Note on how Digital Elevation Models are created and used*. Editorial International Bank for Reconstruction and Development 1818 H Street, NW, Washington, DC, 20433.

Moralejo, R. A., Gobbo, D., Del Cogliano, D., & Pinto, L. (2018). *Aplicación de tecnología LIDAR en El Shincal de Quimivil*, Londres, Catamarca. *Arqueología*, 24(3), 165-184.

Salamanca Céspedes, Jorge Enrique, Pérez Castillo, José Nelson. (2028). *LIDAR, una tecnología de última generación, para planeación y desarrollo urbano*. <https://www.redalyc.org/pdf/4988/498850166010.pdf>

Souza, Q., Rodrigues, N., Pinheiro. R., & Linhares, E. (2023). *Potencial da tecnologia LiDAR terrestre na área florestal*. <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/6447>

ANEXOS

Anexo 1

Fotogrametría del tramo de vía de la superficie de estudio con Matrice 350 RTK



Anexo 2

Fotografía del dron ya ubicado en la zona de vuelo, la cual se encuentra configurada.



Anexo 3

Fotografía la medición desde el piso hasta la antena del equipo RTK.



Anexo 4

Fotografía del dron se encuentra listo y plenamente operativo para iniciar la misión de vuelo.

