



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**APLICACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA DE
NAVEGACIÓN DRONELINK EN VEHÍCULOS AÉREO NO
TRIPULADOS PARA LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
(FOTOGRAMETRÍA) CON EL MÉTODO TRADICIONAL
(PLANIMÉTRICO), EN EL SECTOR CISNEROS DE TAPI,
RIOBAMBA**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero en Electrónica y
telecomunicaciones**

Autores:

Padilla Bastidas Wilson Javier
Sotamba Bermejo Cristian Luis

Tutor:

Mgs. José Luis Jinez Tapia

Riobamba, Ecuador. 2024

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, Wilson Javier Padilla Bastidas, con cédula de ciudadanía 060444116-2 y Cristian Luis Sotamba Bermejo, con cédula de ciudadanía 030280820-9, autores del trabajo de investigación titulado: **Aplicación y análisis comparativo del sistema de navegación Dronelink en vehículos aéreo no tripulados para levantamiento topográfico (fotogrametría) con el método tradicional (Planimétrico), en el sector Cisneros de Tapi, Riobamba.**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 10 de abril del 2024.



Wilson Javier Padilla Bastidas
C.I: 060444116-2



Cristian Luis Sotamba Bermejo
C.I:030280820-9

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Aplicación y análisis comparativo del sistema de navegación Dronelink en vehículos aéreo no tripulados para levantamiento topográfico (fotogrametría) con el método tradicional (planimétrico), en el sector Cisneros de tapi, Riobamba**, por Wilson Javier Padilla Bastidas, con cédula de ciudadanía 060444116-2, emitimos el DICTAMEN FAVORABLE, conducente a la APROBACIÓN de la titulación. Certificamos haber revisado y evaluado el trabajo de investigación y cumplida la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de abril del 2024

Marlon Basantes, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Daniel Santillán, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

José Jinez, Mgs.
TUTOR

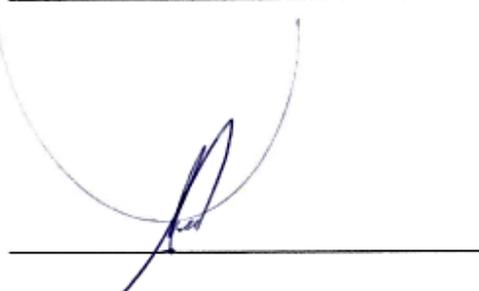
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Aplicación y análisis comparativo del sistema de navegación Dronelink en vehículos aéreo no tripulados para levantamiento topográfico (fotogrametría) con el método tradicional (planimétrico), en el sector Cisneros de tapi, Riobamba**, por Cristian Luis Sotamba Bermejo, con cédula de ciudadanía 030280820-9, emitimos el DICTAMEN FAVORABLE, conducente a la APROBACIÓN de la titulación. Certificamos haber revisado y evaluado el trabajo de investigación y cumplida la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de abril del 2024

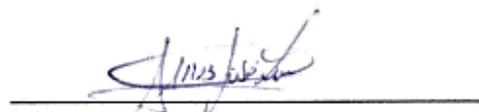
Marlon Basantes, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Daniel Santillán, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

José Jinez, Mgs.
TUTOR



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

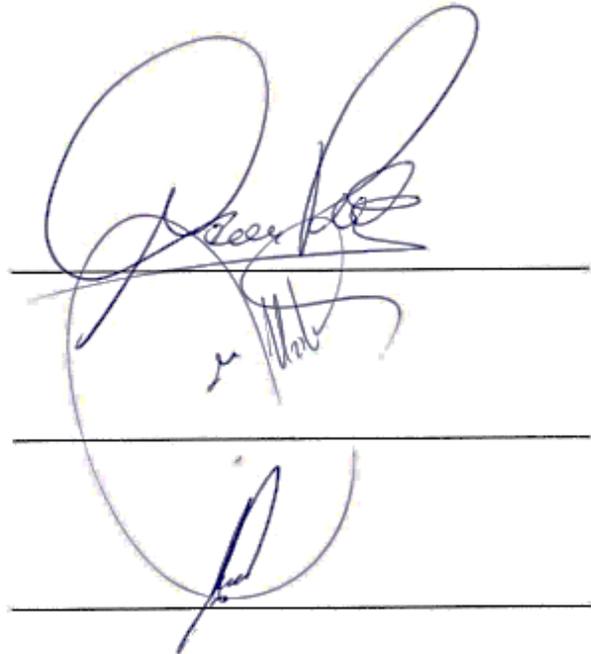
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Aplicación y análisis comparativo del sistema de navegación Dronelink en vehículos aéreo no tripulados para levantamiento topográfico (fotogrametría) con el método tradicional (planimétrico), en el sector Cisneros de tapi, Riobamba**, presentado por Wilson Javier Padilla Bastidas, con cédula de ciudadanía 060444116-2, bajo la tutoría de Mgs. José Luis Jinez Tapia; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor, no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de abril del 2024

Presidente del Tribunal de Grado
PhD. Carlos Peñafiel Ojeda

Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Marlon Basantes Valverde

Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Daniel Santillán Haro



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

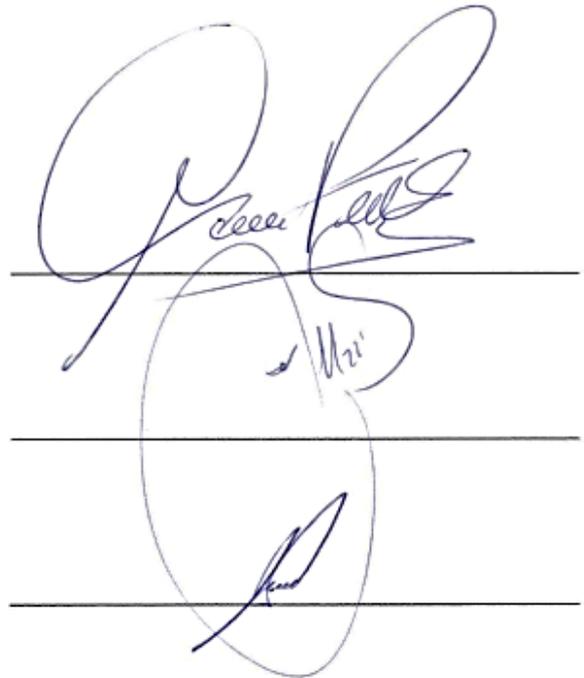
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Aplicación y análisis comparativo del sistema de navegación Dronelink en vehículos aéreo no tripulados para levantamiento topográfico (fotogrametría) con el método tradicional (planimétrico), en el sector Cisneros de tapi, Riobamba**, presentado por Cristian Luis Sotamba Bermejo, con cédula de ciudadanía 030280820-9, bajo la tutoría de Mgs. José Luis Jinez Tapia; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de abril del 2024

Presidente del Tribunal de Grado
PhD. Carlos Peñafiel Ojeda

Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Marlon Basantes Valverde

Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Daniel Santillán Haro



The image shows three handwritten signatures in blue ink, each placed over a horizontal line. The top signature is the most prominent and appears to be 'Carlos Peñafiel Ojeda'. The middle signature is smaller and appears to be 'Marlon Basantes Valverde'. The bottom signature is also smaller and appears to be 'Daniel Santillán Haro'. The signatures are written in a cursive, flowing style.



CERTIFICACIÓN

Que, **SOTAMBA BERMEJO CRISTIAN LUIS** con CC: **0302808209**, estudiante de la Carrera **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“APLICACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA DE NAVEGACIÓN DRONELINK EN VEHÍCULOS AÉREO NO TRIPULADOS PARA LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO (FOTOGRAMETRÍA) CON EL MÉTODO TRADICIONAL (PLANIMÉTRICO), EN EL SECTOR CISNEROS DE TAPI, RIOBAMBA”**, cumple con el **2 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 8 de marzo de 2024



Mgs. José Luis Jinez Tapia
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICACIÓN

Que, **PADILLA BASTIDAS WILSON JAVIER** con CC: **0604441162**, estudiante de la Carrera **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“APLICACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA DE NAVEGACIÓN DRONELINK EN VEHÍCULOS AÉREO NO TRIPULADOS PARA LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO (FOTOGRAMETRÍA) CON EL MÉTODO TRADICIONAL (PLANIMÉTRICO), EN EL SECTOR CISNEROS DE TAPI, RIOBAMBA”**, cumple con el **2 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 8 de marzo de 2024



Mgs. José Luis Jinez Tapia
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Este trabajo de fin de grado va dedicado a Mis Padres, por su amor incondicional, apoyo y sacrificios que han hecho posible cada paso de este proyecto. A mis hermanos, por su constante inspiración y motivación. A mis amigos, por su aliento y por estar siempre a mi lado. Y a todos aquellos que, de alguna manera, han contribuido a que este proyecto sea una realidad, les dedico este trabajo con todo mi cariño y gratitud.

Wilson J. Padilla

Agradezco de corazón a mis queridos padres y abuelos, cuya constante dedicación y apoyo han sido el pilar fundamental de mi travesía académica. Sus sacrificios y palabras alentadoras han sido mi impulso inagotable. A mis abuelos, fuente de sabiduría y ejemplo, y a mis padres, cuyo amor incondicional y esfuerzo incansable han hecho.

Cristian L. Sotamba

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, *Wilson y Evita*, por su incansable apoyo, amor incondicional y por ser mi fuente constante de inspiración. Su respaldo emocional y sus sacrificios han sido la fuerza motriz detrás de cada logro alcanzado en este proyecto. A mis hermanos, cuyo aliento y motivación han sido fundamentales en cada etapa de este viaje. Su confianza en mí me ha impulsado a superar cualquier obstáculo y a alcanzar nuevas metas.

Wilson J. Padilla

Esta tesis está dedicada con amor y admiración a mis padres, esposa y amigos, cuya presencia ha marcado cada página de este viaje académico. En sus valores, enseñanzas y afecto he encontrado la inspiración necesaria para alcanzar este sueño. A mis padres, portadores de una sabiduría invaluable, a mi esposa y amigos les dedico este logro como un gesto cariño y agradecimiento por todo su apoyo brindado.

Cristian L. Sotamba

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICACIÓN	
CERTIFICACIÓN	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	

CAPÍTULO I.....	20
1.1 INTRODUCCION.....	20
1.2 Planteamiento del problema	21
1.3 Justificación.....	21
1.4 Objetivos.....	22
1.4.1 General.....	22
1.4.2 Específicos.....	22
CAPÍTULO II.....	23
2. MARCO TEÓRICO	23
2.1 UAV, UAS o Drones	23
2.1.1 Tipos de drones.....	23
2.1.1.1 Dron de ala fija	24
2.1.1.2 Dron de ala rotatoria (multirroto)	24
2.2 Dron Cuadricóptero y partes.....	25
2.3 Levantamiento Topográficos.....	26
2.4 Tipos de levantamientos topográficos	27
2.4.1 Levantamiento topográfico tradicional.....	27
2.4.2 Levantamiento topográfico con drones	27
2.4.3 Levantamiento topográfico láser (LiDAR).....	27
2.5 Fotogrametría en Levantamiento topográfico	27
2.5.1 Cámara Digital.....	28

2.5.1.1	Sensor CMOS y CCD	28
2.5.1.2	GSD	29
2.5.2	Sistema de navegación.....	30
2.5.2.1	Dronelink	30
2.5.3	Softwares de procesamiento	31
CAPÍTULO III		33
3.	METODOLOGIA.....	33
3.1	Tipo de investigación	33
3.2	Método de investigación.....	33
3.3	Población y muestra	33
3.4	Operacionalización de Variables	34
3.5	Diseño de investigación.....	35
3.6	Procedimiento.....	37
3.6.1	Recursos utilizados Hardware y Software.....	37
3.6.2	Ensamblaje del Dron Cuadricóptero.....	38
3.6.3	Calibración y configuración de Controladora de vuelo A2.....	43
3.6.4	Prueba de vuelo	48
3.6.5	Sistema de comunicación Lightbridge	50
3.6.6	Plan de vuelo	52
3.6.6.1	Cálculos de escala	52
3.6.6.2	Cálculo del GSD	53
3.6.6.3	Cálculo del ancho y alto de la huella en el terreno	53
3.6.6.4	Cálculos de distancia entre líneas de vuelo (Lateral).....	54
3.6.6.5	Cálculos de distancia entre fotografías (Longitudinal).....	55
3.6.6.6	Cálculo de velocidad de vuelo	56
3.6.7	Interfaz en MATLAB/AppDesigner.....	57
3.6.8	Plan de vuelo con Dronelink	59
3.6.8.1	Ejecución del plan de vuelo en campo.....	61

3.6.8.2	Verificación del plan de vuelo y Fotografías.....	62
3.6.9	Procesamiento de imágenes.....	63
3.6.9.1	Agisoft Metashape	65
3.6.9.1.1	Nube de puntos	71
3.6.9.1.2	Mallado y texturizado	72
3.6.9.1.3	Modelo Digital de elevaciones (MDE).....	73
3.6.9.1.4	Ortomosaico.....	74
3.6.9.2	Procesamiento en Global Mapper.....	75
3.6.9.2.1	Curvas de nivel en 2D y 3D.....	76
3.6.9.2.2	Perfiles del terreno	77
3.6.10	Levantamiento topográfico en ArcGis.....	78
3.6.10.1	Plano planimétrico	79
CAPÍTULO IV	82
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
4.1	Adquisición de datos por fotogrametría	82
4.2	Análisis Estadístico	83
4.3	Discusión	97
CAPÍTULO V	98
5.	CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....	98
5.1	Conclusiones.....	98
5.2	Recomendaciones	99
BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	103

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Variable Independiente.....	34
Tabla 2. Variable Dependiente	35
Tabla 3. Parámetros iniciales	52
Tabla 4. Puntos de control (coordenadas UTM).....	68
Tabla 5. Datos de referencia del terreno	83
Tabla 6. Análisis descriptivo de las Áreas.....	84
Tabla 7. Prueba de normalidad a la altura de 40m, 60m y 80m con la variable áreas sin atípicos.....	86
Tabla 8. ANOVA a la altura de 40m, 60m y 80m con la variable áreas sin atípicos.....	87
Tabla 9. Comparaciones Múltiples entre media de errores de la variable Área.....	88
Tabla 10. Errores a la altura de 40m, 60m y 80m con la variable áreas sin datos atípicos .	88
Tabla 11. Análisis descriptivo de los perímetros.....	90
Tabla 12. Prueba de normalidad a la altura de 40m, 60m y 80m con la variable perímetros sin atípicos	92
Tabla 13. ANOVA a la altura de 40m, 60m y 80m con la variable perímetros sin atípicos	93
Tabla 14. Comparaciones Múltiples entre media de errores de la variable perímetro	94
Tabla 15. Errores a la altura de 40m, 60m y 80m con la variable perímetro sin valores atípicos.....	94
Tabla 16. Correlación entre variable perímetro y área	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. UAV, UAS o Dron.....	23
Figura 2. Dron de ala fija.....	24
Figura 3. Drones de ala Multirroto.....	24
Figura 4. Tipos de dron según el número de hélices	25
Figura 5 . Levantamiento topográfico	27
Figura 6. Fotogrametría	28
Figura 7. Esquema del GSD (cm/Pixel)	29
Figura 8. Diagrama de Desarrollo del proyecto	36
Figura 9. Esquemático del Ensamblaje y Sistema de navegación.....	37
Figura 10. Componentes del dron.....	39
Figura 11. A) Código en Arduino y B) Armado de Circuito para prueba de motores	40
Figura 12. Frame S500	40
Figura 13. ESC y Motores	41
Figura 14. Instalación de los ESC y Motores en el Frame S500.....	41
Figura 15. Colocación del Gimbal y Cámara en el Frame S500	41
Figura 16. Controlador A2 en el Frame S500	42
Figura 17. Conexión del GPS	42
Figura 18. Instalación de Batería y Hélices en el Frame S500.....	43
Figura 19. Pantalla principal del Asistente.....	43
Figura 20. Configuración del Multirroto del Dron.....	44
Figura 21. Localización y Orientación	44
Figura 22. Tipo de receptor y modo de control	45
Figura 23. Ajuste de Ganancias	45
Figura 24. Velocidad del motor	46
Figura 25. Modo de perdida de configuración	46
Figura 26. Configuración del Gimbal.....	47
Figura 27. Alerta en “low Voltage”	47
Figura 28. Límites de vuelo Altura y radio	48
Figura 29. Conexión de la batería.....	48
Figura 30. A)Calibración del GPS eje vertical del Dron y B) Calibración del GPS eje Horizontal del Dron	49
Figura 31. Calibración exitosa del GPS	49

Figura 32. Prueba de vuelo exitoso	49
Figura 33. Esquema de conexión Lightbridge	50
Figura 34. Comunicación entre el control remoto Rc-N1 y Dron cuadricóptero	50
Figura 35. Sistema de navegación, Control remoto y Dron acoplados	51
Figura 36. Diagrama de conexión dispositivo móvil y control remoto	51
Figura 37. Alto y Ancho de la huella en el terreno	54
Figura 38. Distancia entre líneas de vuelo.....	55
Figura 39. Distancia entre fotos.....	56
Figura 40. Interfaz inicial	57
Figura 41. Cálculos del plan de vuelo	58
Figura 42. Interfaz para Visualización de resultados planimétricos.....	58
Figura 43. Ubicación de la misión de vuelo y límite del área	59
Figura 44. A) Selección del A2 (Aire 2) y B) Ingreso de datos	59
Figura 45. Plan de vuelo creado en Dronelink	60
Figura 46. Plan de vuelo y Puntos de control	60
Figura 47. Puntos de control en el área de trabajo.....	61
Figura 48. Selección del plan de vuelo.....	61
Figura 49. Ejecución del plan de vuelo autónomo	62
Figura 50. A) Misión de vuelo completa y B) Verificación de imágenes en la cámara en el dispositivo móvil	62
Figura 51. Envío fotografías a la PC	63
Figura 52. Esquemático del Procesamiento de imágenes.....	63
Figura 53. Diagrama de la transformada de Fourier en el procesamiento de imágenes.....	64
Figura 54. Diagrama del flujo de trabajo en Agisoft Metashape.....	65
Figura 55. Añadir carpeta de fotos en Agisoft Metashape	66
Figura 56. Estimar calidad de imagen	66
Figura 57. Calidad de imagen.....	67
Figura 58. Selección de orientar fotos	67
Figura 59. Características generales de la precisión de la orientación de fotos	68
Figura 60. Sistema de coordenadas	68
Figura 61. Importar archivo de texto (Puntos de control)	69
Figura 62. Filtrado del punto de control en las imágenes.....	69
Figura 63. Imagen referenciada y no referenciada al punto de control	70
Figura 64. Optimización de cámaras	70

Figura 65. Creación de nube de puntos	71
Figura 66. Selección de calidad y filtrado en la creación de nube de puntos densa.....	71
Figura 67. Vista total de la nube de puntos	72
Figura 68. Malla creada	72
Figura 69. Resultado del Texturizado.....	73
Figura 70. MDE.....	73
Figura 71. Resultado final Ortomosaico.....	74
Figura 72. Resultados exportados (MDE y Ortomosaico)	74
Figura 73. Flujo de trabajo en Global Mapper	75
Figura 74. A) Pantalla de inicio de Global Mapper y B) Importar MDE “T_40m”.....	75
Figura 75. Creación de curvas de nivel	76
Figura 76. A) Curvas de nivel 2D, Global Mapper y B) Curvas de nivel 3D, Agisoft Metashape.....	76
Figura 77. A) Creación del Perfil del Terreno y B) Perfil del Terreno	77
Figura 78. Verificación de archivos exportados Curvas de nivel y Perfil del terreno.....	78
Figura 79. Ubicación de la herramienta “Add Data”.....	78
Figura 80. Espacio de trabajo en ArcGis.....	79
Figura 81. Trazado de polígono del terreno	79
Figura 82. Polígono a líneas (Perímetro).....	80
Figura 83. Campos creados	80
Figura 84. Tabla de resultados del Terreno 40m.....	81
Figura 85. Resultados Planimetría utilizando Fotogrametría con Drones.....	81
Figura 86. Mapa del Levantamiento topográfico	82
Figura 87. Visualización de resultados planimétricos	83
Figura 88. Diagrama de cajas de la variable áreas a la altura de 40m, 60m y 80m.....	84
Figura 89. Histograma de la variable área.....	85
Figura 90. Diagrama de cajas de la variable áreas a la altura de 40m, 60m y 80m.....	86
Figura 91. Media de Errores	89
Figura 92. Diagrama de cajas de la variable perímetros a la altura de 40m, 60m y 80m....	90
Figura 93. Histograma de la variable perímetro	91
Figura 94. Diagrama de cajas de la variable Perímetros sin Valores atípicos.....	92
Figura 95. Media de errores.....	95
Figura 96. Correlación entre Área y Perímetro en las alturas de 40m, 60m y 80m.	96

RESUMEN

Los levantamientos topográficos realizados por métodos tradicionales son muy laboriosos al momento de manejar grandes extensiones de terreno, lo que implica a que sea una actividad lenta y costosa en términos de mano de obra. Por lo que, al investigar alternativas que mejoren estos aspectos utilizando tecnología actual se encuentra con el método de fotogrametría utilizando drones, debido a esto se genera la idea de desarrollar el presente proyecto de investigación.

En este proyecto denominado “Aplicación y Análisis comparativo del sistema de navegación Dronelink en vehículos aéreos no tripulados para levantamiento topográfico (fotogrametría) con el método tradicional”, tiene como objetivo el ensamblaje de un dron cuadricóptero, que contenga las características esenciales para ser utilizado en levantamientos topográficos por fotogrametría de forma autónoma utilizando el sistema de navegación Dronelink. Para comprobar si el dron logra generar información rápida y precisa con respecto al método tradicional, se procede a realizar 30 levantamientos topográficos a diferentes alturas: 40m, 60m, y 80m.

Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos se puede establecer que el dron a la altura de 40 metros realiza fotografías aéreas precisas que generan información al momento de procesarlas y de esta manera obtener levantamientos por fotogrametría que sean adecuados y de mejor calidad.

Palabras claves: Dron, Dronelink, sistema de comunicación, sistema autónomo, fotogrametría, precisión, análisis.

ABSTRACT

The present research work is about topographic surveys performed by traditional methods are very laborious when handling large areas of soil, which implies that it is a labor- slow and costly activity in terms of labor. Therefore, when investigating alternatives to improve these aspects using current technology, the photogrammetry method using drones is found.

this project has been untitled "**APPLICATION AND COMPARATIVE ANALYSIS OF THE (PHOTOGRAMMETRY) WITH THE TRADITIONAL METHOD**" aims to assemble a quadcopter drone, that contains the essential characteristics to be used in topographic surveys by photogrammetry autonomously using the Dronelink navigation system, in order to check if the drone is enable to generate fast and accurate information in relation with the traditional method, 30 topographic surveys were carried out at different heights: 40m, 60m, and 80m.

Finally, according to the results obtained, it can be established that the drone at the height of 40 meters takes accurate aerial photographs that generate information at the time of processing and thus obtain photogrammetric surveys that are adequate for a better quality of product.

Keywords: Drone, Dronelink, communication system, autonomous system, photogrammetry, precision, analysis.



Reviewed by:

Mgs. Doris Valle V. ENGLISH PROFESSOR

c.c 0602019697

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCION

Actualmente, el uso de los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs) se ha incrementado significativamente en diversos campos de la ingeniería, debido principalmente al desarrollo tecnológico por el que están atravesando las civilizaciones actuales [1]. Los UAVs ganan cada vez más espacio en los nuevos campos por su versatilidad, pero sobre todo por su fácil conexión con las nuevas tecnologías para apoyar y mejorar los diversos campos, como: Agricultura [2], Periodismo [3], Mapeo y topografía [4], Vigilancia y Seguridad [5] y Militar [6].

Al enfocar en el campo de Mapeo y topografía, los UAVs se usa para levantamientos topográficos que implementa una técnica llamada fotogrametría aérea que permite realizar mediciones en base a imágenes [7]. La fotogrametría aérea incluye la toma de fotografías desde diferentes ángulos para identificar diferentes puntos en común lo cual se crea una nube de puntos con información en tres dimensiones [8]. Usado como base a esta información, se logra realizar modelos digitales del terreno, modelos de superficies digitales, cuadrículas 3D, líneas de contorno, medidas de distancia y áreas[9].

Por lo tanto, los levantamientos topográficos realizados con UAVs permiten una muy buena precisión horizontal y vertical. Esto se logra mediante los llamados puntos de control terrestre (GCP), que se miden mediante programas de sistema de posicionamiento global (GPS) [10]. Por lo general, los levantamientos topográficos con UAVs requieren un programa de vuelo y una cámara para poder capturar imágenes a una altitud específica, controlado mediante un radio control, lo cual es más práctico [11].

Los UAVs pueden ser controlados remotamente a través de un control remoto o una aplicación en un dispositivo móvil. El piloto envía comandos al UAVs a través de la comunicación inalámbrica, como señales de radio o de transmisión de datos, para controlar su vuelo, dirección y altitud. Algunos UAVs también tienen capacidad de auto pilotada, lo que significa que pueden volar de forma autónoma siguiendo un plan de vuelo preprogramado o utilizando sistemas de navegación [12]. Es decir, los UAVs se pueden operar automáticamente o por control remoto dependiendo del entorno.

El presente trabajo tiene como objetivo el ensamblaje de un dron cuadricóptero que sea compatible con el sistema de navegación Dronelink que ayude a obtener información de un área específica para disminuir el tiempo de trabajo al momento de realizar el levantamiento

topográfico. Por otro lado, se realiza una interfaz de usuario intuitivo para visualizar el levantamiento topográfico tradicional (planimétrico) con respecto al método de levantamiento topográfico utilizando Fotogrametría con tecnología de drones, en colaboración con el despacho de arquitectura “Hábitat Construcciones” el cual brinda los estudios de planimetría realizada con GPS de manera tradicional del terreno ubicado en Riobamba, sector “Cisneros de Tapi”, calles Benjamín Carrión y Río Muisne.

1.2 Planteamiento del problema

La toma de datos en la medición topográfica utilizando métodos tradicionales (planimétrico) es muy laboriosa y crea dificultades en el manejo de grandes áreas o extensiones de trabajo [13]. En consecuencia, el equipo técnico debe movilizarse al sitio donde se va a desarrollar el estudio y realizar la investigación con su equipo personalmente y en varios casos en zonas de difícil acceso (terreno montañoso, terreno arenoso), y esto conlleva a que estén expuestos a peligros relacionados al trabajo.

Además, normalmente los datos de campo obtenidos de forma tradicional con el método planimétrico contienen un importante margen de error, así como criterios técnicos a la hora de medir, registrar o transmitir datos [13]. Por lo tanto, se debería agregar recursos y tiempo, lo que incrementa el costo del trabajo. De esta forma, estos aspectos deben mejorarse con nuevas técnicas. Como puede ser, aplicando un sistema de navegación para el UAV que sea apto para fotogrametría, de esta manera se pretende obtener datos de campo que sean fiables y de una manera rápida. Para ello, se procede al ensamblaje de un Dron Cuadricóptero, el cual sea compacto y capaz de capturar imágenes de alta resolución.

1.3 Justificación

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad implementar el método de fotogrametría en levantamientos topográficos, este método es poco conocido en Latinoamérica y muy costoso, y solo pocas empresas y profesionales ofrecen este servicio, por lo cual, la mayoría de los trabajos utilizan métodos más económicos y tradicionales.

La idea de ensamblar un dron cuadricóptero y aplicar el sistema de navegación Dronelink la cual ayuda a crear un plan de vuelo capaz de realizar fotografía aérea, se da para disminuir el tiempo de trabajo, costos y riesgos laborales. Y así, obtener resultados de forma rápida, segura y fiable. De manera que, se realiza el análisis comparativo entre los datos obtenidos del levantamiento topográfico tradicional (Planimétrico) con respecto al método de

fotogrametría para dicho análisis. Estos datos son entregados por el despacho de arquitectura “**Hábitat Construcciones**”, los cuales brindaran guía y soporte en el desarrollo del proyecto.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Aplicar y analizar el sistema de navegación Dronelink en vehículos aéreos no tripulados para levantamiento topográfico (fotogrametría) con el método tradicional (planimétrico), en el sector Cisneros de Tapi, Riobamba.

1.4.2 Específicos

- Investigar sobre las características claves de un sistema de navegación y componentes necesarios para el ensamblaje de un dron cuadricóptero que sea compatible con el sistema de navegación Dronelink y apto para levantamiento topográfico con el método de fotogrametría utilizando drones.
- Aplicar el sistema de navegación Dronelink para la planeación de vuelo, área determinada y el número de fotos aéreas, con la finalidad de mejorar la eficiencia y rapidez de los levantamientos topográficos utilizando fotogrametría.
- Realizar el procesamiento de datos utilizando los softwares: Agisoft Metashape, Global Mapper y ArcGIS, para realizar nube de puntos, mallado, modelado 3D, modelo de elevación, curvas de nivel y orto-mosaicos.
- Desarrollar e Implementar una interfaz para visualizar los datos obtenidos por fotogrametría con respecto al método tradicional dados por el estudio de arquitectura “Hábitat Construcciones”.

CAPÍTULO II.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 UAV, UAS o Drones

Una aeronave no tripulada (UA) o vehículo aéreo no tripulado (UAV) son aeronaves que tienen la capacidad de volar sin un piloto a bordo, ya que el componente principal es un sistema aéreo no tripulado (UAS), que incluye la aeronave, las estaciones terrestres y los enlaces de comunicación [14], como indica la Figura 1.

Las aeronaves pueden ser autónomas, programas que sigan patrones de vuelo y seguir pautas predeterminadas, o pueden ser controlada de forma remota por un piloto. A estos últimos se denominan aeronaves pilotadas por control remoto (RPA) o sistema de aeronave pilotas por control remoto (RPAS), por lo que son un subconjunto de los UAS [14]

Finalmente, se tiene la forma plural del término vehículo aéreo no tripulado ("drones"), que es utilizada ampliamente para abarcar una amplia gama de vehículos aéreos no tripulados en el mercado, y proviene del área militar, donde entra en uso en los años 40 del siglo XX.

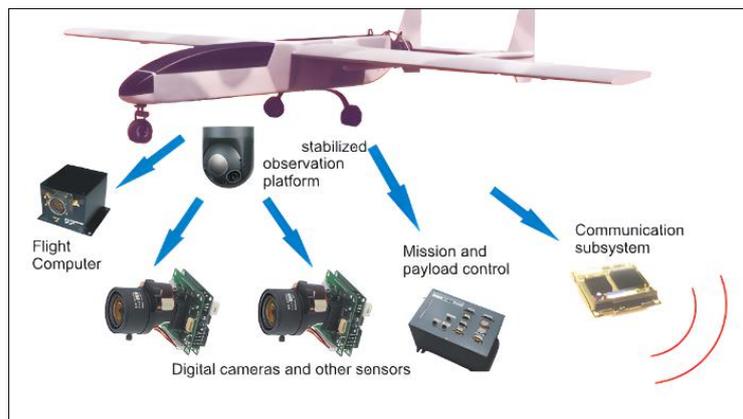


Figura 1. UAV, UAS o Dron

Fuente: [14]

2.1.1 Tipos de drones

Los tipos de drones se clasifican dependiendo de la forma de sustentarse en el aire. En la actualidad existen dos tipos: Drones de ala Fija como se visualiza en la Figura 2 y Drones de ala rotatoria como indica en la Figura 3.

2.1.1.1 Dron de ala fija

Estas aeronaves necesitan una velocidad aerodinámica inicial para permanecer en el aire. No pueden despegar por sí solos, estos necesitan de un mecanismo o una persona para ser impulsados. Estéticamente, son los más cercanos a un plano normal, como se presenta en la Figura 2. Las características aerodinámicas de este tipo de drones les confieren una gran autonomía durante el vuelo; pueden volar durante horas, lo que los hace ideales para la cobertura terrestre y el mapeo de grandes áreas [15].



Figura 2. Dron de ala fija.

Fuente: [15]

2.1.1.2 Dron de ala rotatoria (multirrotor)

Estos drones son los más conocidos y vendidos dentro del mundo tecnológico actual. Ya que, pueden elevarse gracias a las hélices al final de cada brazo. Cada hélice cuenta con un motor que ayuda a impulsar y ganar estabilidad en el vuelo, como indica en la Figura 3. Al contrario de los drones de ala fija, los drones multirrotor pueden flotar en el mismo lugar. Para los drones de alas giratorias, se subcategoriza según la cantidad de brazos o motores que posee [15].



Figura 3. Drones de ala Multirrotor

Fuente: [15]

Su característica principal es la cantidad de brazos que posee y por consiguiente la cantidad de hélices. Siendo esta una manera óptima de diferenciar los tipos de drones [15]. Estos se pueden apreciar en la Figura 4:



Figura 4. Tipos de dron según el número de hélices

Fuente: <https://novodrone.com/tipos-de-drones/>

2.2 Dron Cuadricóptero y partes

El dron cuadricóptero es el más común hoy en día, debido a que cuenta con cuatro hélices, dos de ellas giran en sentido antihorario y las dos restantes en sentido horario para generar la fuerza de impulso que sea mayor a la fuerza de sustentación [16]. Este dron permite tener estabilidad al volar y mayor maniobrabilidad ya que sus cuatro motores se encuentran equidistantes.

Chasis

Es la estructura básica o fundamental en el ensamblaje del dron, debido a que sujeta todas las piezas que conforma un dron dependiendo de una configuración pre establecida para que logre un buen vuelo aerodinámico. El chasis también define el tamaño del dron [17].

Motores y Hélices

Los motores y hélices son fundamentales en el ensamblaje de un dron, debido que permiten generar la sustentación y el impulso necesario para volar. Los motores se instalan en los cuatro extremos del chasis, pero por si solas no pueden elevar al dron, por ello cada motor cuenta con su respectiva hélice [17].

Controlador electrónico de velocidad (ESC)

Son los encargados de controlar la velocidad de giro de los motores. Esto se consigue pasando la corriente continua a una señal de corriente alterna, ajustando la potencia entregada a cada motor para mantener el equilibrio y permitir maniobras precisas [16].

Controlador de vuelo

Este es el cerebro del dron, debido a que procesa los datos receptados por el GPS, giroscopio, brújula y acelerómetro para medir la orientación y aceleración del dron [16]. De esta manera enviando señales necesarias que controlan al dron en el aire.

Radio Control

Es el sistema de transmisión y recepción del dron que envía datos desde tierra al controlador de vuelo para lograr la maniobrabilidad del dron. Se puede enviar indicaciones para que el dron siga un plan de vuelo o tareas a realizar por parte de otros accesorios [18].

Batería

Las baterías más utilizadas comúnmente son de polímetro de litio (LiPo), debido a que son de tamaño reducido y cuenta con menor peso [17]. Estos son las encargadas de energizar al dron para su correcto funcionamiento.

Gimbal

Este dispositivo no forma parte de todos los tipos de drones, su utilidad se basa en el uso que se quiere dar, el gimbal ayuda a la estabilidad de la cámara para obtener captación de imágenes o videos de forma estable [18].

2.3 Levantamiento Topográficos

El levantamiento topográfico es un proceso mediante el cual se mide y se representa en un plano o modelo 3D la configuración del terreno y las características de la superficie de un área determinada, como se visualiza en la Figura 5. El objetivo principal de un levantamiento topográfico es obtener información precisa y detallada sobre la elevación, la forma y las características del terreno, que puede ser utilizada en diversas aplicaciones, como la planificación urbana, el diseño de carreteras y edificios, la gestión de recursos naturales y la investigación científica [19].



Figura 5 . Levantamiento topográfico

Fuente: [19]

2.4 Tipos de levantamientos topográficos

2.4.1 Levantamiento topográfico tradicional

Este tipo de levantamiento se realiza con instrumentos de medición, como teodolitos y niveles, y consiste en medir la elevación y las coordenadas de diferentes puntos del terreno para generar un plano topográfico. Aunque es una técnica precisa, es costosa y requiere mucho tiempo y personal capacitado para llevarla a cabo[20].

2.4.2 Levantamiento topográfico con drones

Este tipo de levantamiento utiliza drones equipados con cámaras y sensores para capturar imágenes y datos de la superficie del terreno desde el aire. Es una técnica más rápida y eficiente que el levantamiento topográfico tradicional, ya que permite cubrir grandes áreas en poco tiempo y con un menor costo. Además, los drones pueden acceder a áreas de difícil acceso o peligrosas para los trabajadores [7].

2.4.3 Levantamiento topográfico láser (LiDAR)

Este tipo de levantamiento utiliza un sistema de sensores láser para medir la distancia entre el sensor y la superficie del terreno. Esta técnica es muy precisa y permite la generación de modelos 3D muy detallados, pero también es más costosa que el levantamiento topográfico con drones [21].

2.5 Fotogrametría en Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico con drones, se encuentran equipados con sensores y cámaras para capturar imágenes y datos de la superficie de la tierra desde el aire.

La fotogrametría es una técnica utilizada en el levantamiento topográfico con drones que permite crear modelos 3D precisos y detallados del terreno a partir de imágenes aéreas capturadas por el dron como se presenta en la Figura 6. Los drones equipados con cámaras fotogramétricas pueden capturar imágenes de alta resolución de una zona determinada desde diferentes ángulos y altitudes, y el software de procesamiento fotogramétrico puede utilizar estas imágenes para crear modelos 3D, incluyendo la elevación, la forma y las características de la superficie [22].



Figura 6. Fotogrametría

Fuente: [22]

Por lo tanto, ha mejorado significativamente la eficiencia y la precisión de los levantamientos topográficos, permitiendo a los profesionales obtener información detallada del terreno y de las características de la superficie de forma más rápida y precisa. Además, la fotogrametría permite la creación de modelos digitales del terreno en 3D que pueden ser utilizados para diversas aplicaciones, como la planificación y el diseño de infraestructuras, la gestión de recursos naturales y la evaluación de riesgos naturales.

2.5.1 Cámara Digital

El tipo de cámara puede variar dependiendo de la necesidad del usuario, debido a que los drones son utilizados en diferentes áreas de estudio [17]. Las cámaras se utilizan para capturar imágenes o video. Pueden ser cámaras RGB (para capturar imágenes en color) o cámaras multispectrales (para capturar imágenes en diferentes bandas espectrales).

2.5.1.1 Sensor CMOS y CCD

Estos tipos de sensores son los más comerciales en el mundo. El sensor es el elemento más importante de la cámara, ya que este es el encargado de transformar la luz natural recibida por señales eléctricas, y la calidad de la imagen depende de este proceso.

CMOS

Semiconductor complementario de oxido metálico (CMOS), en la actualidad este sensor se ha expandido en todo el mundo al ser su fabricación más sencilla, por lo tanto, más económica. Este sensor es de menor consumo de energía, muestra una previsualización más rápida, tiene una alta frecuencia de imagen. Por el contrario, tiene mayor ruido en comparación del CCD y a su vez puede presentar distorsión de imagen por el movimiento a falta de obturador global.

CCD

Dispositivo de carga acoplada (CCD), pese a su mayor complejidad en su funcionamiento y fabricación tiene las siguientes características: posee una gran calidad de imagen, presenta un mayor rango dinámico, poco ruido y captura completa de imagen debido a que cuenta con un obturador global.

2.5.1.2 GSD

Ground Samplog Distance (GSD) o distancia de muestreo en el suelo, es la resolución espacial de la imagen, la cual se relaciona con la longitud del terreno por la anchura de un pixel sensor. Su valor viene relacionado directamente por la altura del RPAS, resolución de la cámara y en menor medida de la distancia focal, como se ve en la Figura 7.

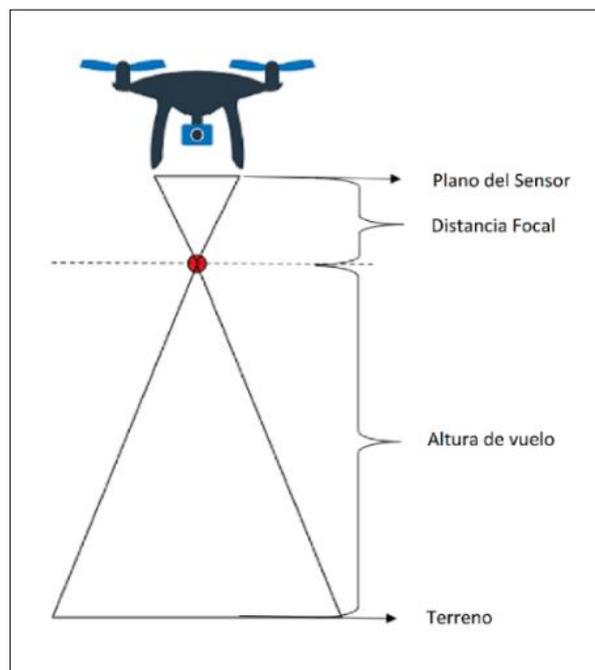


Figura 7. Esquema del GSD (cm/Pixel)

Fuente: Autores

Fórmula del GSD

Para calcular el valor del GSD en función de los parámetros de la cámara y de la altura de vuelo, se utiliza la ecuación (1):

$$GSD = \frac{H * Sw * 100}{R * f} \quad (1)$$

Donde:

H = Altura de vuelo (m)

Sw = Ancho del sensor (mm)

R = Resolución del sensor (pixel)

f = Distancia focal (mm)

2.5.2 Sistema de navegación

Para el control y planeamiento de vuelo del dron, se requiere aplicaciones que cuenten con funciones avanzadas como; planificación de vuelo, configuración de parámetros y control en tiempo real. Algunas aplicaciones se pueden descargar desde la Play Store o de sus páginas oficiales en el navegador, dependiendo del sistema operativo del dispositivo a utilizar.

2.5.2.1 Dronelink

Es una plataforma de automatización de vuelo que permite crear y ejecutar misiones de vuelo avanzadas y personalizadas para drones. Ofrece una interfaz visual basada en bloques que permite crear flujos de trabajo complejos y automatizados. Dronelink se distingue por su enfoque en la automatización y la personalización, lo que permite a los usuarios crear misiones de vuelo altamente personalizadas y controlar de manera flexible sus drones. También cuenta con funciones avanzadas como integración con API y soporte para dispositivos externos como sensores y cámaras [23].

Plan de vuelo: misión de mapa o plan de vuelo se utiliza para la creación de modelos 3d, ortomosaico u Ortofotos. En Dronelink se crea un plan de vuelo mediante patrones de mapeo que tiene la capacidad de capturar fotos automáticamente dando puntos establecidos como inicio y final del recorrido dentro del área determinada [24]. Se puede configurar parámetros como la altura, velocidad de vuelo, traslapes longitudinal y transversal, ángulo y posición del gimbal para el correcto uso de la cámara.

Puntos de control

Ground Control Point (GCP) o puntos de control terrestre, ayuda a definir la zona o área de trabajo para modificar la escala ajustando la superficie de terreno conocido. Los puntos son de gran importancia en fotogrametría debido a que ayuda a crear de forma más precisa posible el mapa aéreo del terreno [25]. Son puntos físicos que se deben de señalar que su principal objetivo es georreferenciar todo el levantamiento fotogramétrico realizado por el dron, al final los puntos de control terrestre permiten trasladar el levantamiento a su verdadera posición en el espacio respecto a un sistema de coordenadas conocido (UTM).

2.5.3 Softwares de procesamiento

Agisoft Metashape: Es un software que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes que generan datos espaciales en 3D. Metashape genera ortomosaico de alta calidad, también modelos digitales de elevaciones (DEM), curvas de nivel, nube de puntos y modelado 3D [26]. Estos resultados se pueden utilizar en sistemas de información geográfica (SIG), aportando así en el desarrollo de planimetrías o cartografías dependiendo su uso.

Global Mapper: Es un software utilizado en trabajos de mapeo, tiene la capacidad de combinar herramientas de procesamiento de imágenes, engloba lo necesario para los profesionales en SIG, su instalación y manejo es sencillo, capaz de realizar datos geoespaciales en 2D y 3D a partir de información ráster o vectoriales [27]. Este software permite crear curvas de nivel, comparación entre mapas existentes y perfiles de elevación del terreno.

ArcGIS: Es una aplicación la cual tiene la capacidad de obtener, analizar y procesar cualquier tipo de dato que esté relacionado con información geográfica, debido a su gran versatilidad y demanda altamente calificada, la mayoría de los profesionales relacionados con estudios geográficos o cartográficos optan por trabajar con este software [28]. Esta herramienta contiene múltiples características, pero lo que destaca es la toma de datos geoespaciales mediante imágenes satelitales o GPS y se puede visualizar de manera gráfica los datos y de esta manera poder editar, procesar y analizar los resultados. Además, existen muchas versiones de ArcGIS, pero con la que se trabaja en este proyecto es la versión ArcMap 10.8 porque tiene un rendimiento óptimo y cuenta con actualizaciones más recientes.

MATLAB: (Laboratorio de matrices) es un potente compilador capaz de ejecutar múltiples algoritmos como cálculos vectoriales y matrices. Es utilizado en diferentes campos de estudio como en Medicina, Ingeniería, Química entre otros. Gracias a las librerías o bibliotecas que posee se puede desarrollar con facilidad simulaciones científicas, dependiendo de su uso se puede ir instalando nuevas librerías ampliando su alta eficiencia y productividad de codificación. Al ser un software de plataforma independiente no exige de un compilador para ser ejecutado. Además, posee un desarrollador de aplicaciones como puede ser GUIDE o APP Designer [29]. El objetivo de utilizar Matlab/APP Designer se debe a que tiene un entorno visual moderno y es amigable con el usuario a diferencia de GUIDE, permite crear multi ventanas con facilidad, compartir datos, administrar código, permite migrar aplicaciones creadas en GUIDE al nuevo entorno y está en constante actualización.

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGIA.

3.1 Tipo de investigación

Para el desarrollo de este proyecto, se efectúa la investigación tipo descriptiva y experimental. Se utiliza la investigación descriptiva debido a que implementa técnicas de fotogrametría para obtener una visión general de un terreno o área determinada, y generar modelos a partir de las imágenes obtenidas, a su vez se desarrolla una interfaz de usuario que permita comparar y evaluar entre fotogrametría y planimetría tradicional, y la investigación experimental es planteada debido a que se pretende utilizar el sistema de navegación Dronelink, y además implementar una interfaz para visualizar los resultados del levantamiento planimétrico tradicional y fotogrametría.

3.2 Método de investigación

Investigación descriptiva

En la investigación descriptiva, se puede utilizar técnicas de fotogrametría para obtener una visión general de un terreno o área determinada, y generar modelos a partir de las imágenes obtenidas. Además, el diseño y desarrollo de una interfaz de usuario que permita comparar y evaluar datos obtenidos mediante diferentes técnicas de levantamiento, específicamente fotogrametría y planimetría tradicional.

Investigación experimental

La investigación experimental, se puede utilizar técnicas de fotogrametría para evaluar el efecto de diferentes variables (área y perímetro) en los resultados del levantamiento topográfico. Adicionalmente, con los resultados obtenidos se procede a visualizar en una interfaz de usuario los diferentes levantamientos utilizando fotogrametría.

3.3 Población y muestra

Población

El presente proyecto es implementado en el sector de Cisneros de Tapi ubicado en la ciudad de Riobamba en las calles Benjamín Carrión y Río Muisne.

La población está constituida por los resultados planimétricos obtenidos por fotogrametría con drones, teniendo en cuenta que estos resultados planimétricos contienen los datos a analizar, los cuales son: Área y perímetro del terreno.

Los resultados planimétricos se obtienen en el transcurso de tres meses, se realiza 30 tomas aéreas por cada altura asignada que son; 40 metros, 60 metros y 80 metros, logrando así una cantidad de 90 resultados planimétricos.

Muestra

Al ser una población cuantitativa y pequeña (90 resultados), se procede a analizar en su totalidad sin problemas en términos de costo y tiempo y sobre todo no hay limitaciones significativas para acceder a todos los datos de cada levantamiento planimétrico realizado con fotogrametría.

3.4 Operacionalización de Variables

Variables Independiente

Variable a utilizar	Concepto	Indicadores	Técnicas e Instrumentación
Altura para Fotografía aérea	la altura al momento de realizar la fotogrametría se considera la variable independiente porque es una condición que se controla o se toma en cuenta para analizar cómo afecta o influye en el resultado planimétrico obtenido.	Es la medida de la altura en la ubicación o posición desde donde se lleva a cabo la fotogrametría. Por ejemplo, la altura puede medirse en metros sobre el nivel del mar o respecto a un punto de referencia específico.	Para medir la altura se puede utilizar diferentes técnicas e instrumentos, en este caso GPS del dron, la elección del instrumento dependerá de la precisión requerida y las condiciones específicas del terreno.

Tabla 1. Variable Independiente

Fuente: Autores

Variables Dependiente

Variable a utilizar	Concepto	Indicadores	Técnicas e Instrumentación
Resultados Planimétricos: Área y perímetro.	El resultado planimétrico obtenido mediante la fotogrametría se considera la variable dependiente, ya que tiene los valores que queremos analizar y evaluar en función de la altura.	Está representado por Área y perímetro, lo que proporciona la posición plana. Se puede analizar el margen de error entre las medidas estimadas en el resultado planimétrico y las medidas reales del área y perímetro.	Se realiza la fotogrametría utilizando un dron equipado con cámara. Además, se utiliza software de procesamiento de imágenes para generar mapas planimétricos.

Tabla 2. Variable Dependiente

Fuente: Autores

3.5 Diseño de investigación

Para el desarrollo del proyecto se realiza en tres fases.

Primera fase:

- a) Se realiza una investigación previa a los trabajos con el mismo tópico, y así recopilar información que ayude al aporte del proyecto de investigación. Para ello, se investiga en: libros, manuales técnicos, repositorios de universidades nacionales e internacionales, entre otros.
- b) Se determina los objetivos específicos del proyecto y a su vez se analiza las técnicas e instrumentos eléctricos orientados a levantamientos topográficos con Fotogrametría, incluyendo el funcionamiento de equipos y softwares.

Segunda fase:

- a) Planificación del levantamiento topográfico donde se analiza: el área de trabajo, misión de vuelo y adquisición de imágenes con el dron.

- a) Adquisición de datos y el procesamiento de imágenes donde se utiliza un software de fotogrametría para procesar las imágenes capturadas y generar productos como nubes de puntos, modelos digitales del terreno en 3D y ortofotos.
- b) Se implementa una interfaz de usuario que visualice los datos obtenidos por fotogrametría y planimetría tradicional con la finalidad de proporcionar a los usuarios una forma eficiente y agradable al momento de interactuar con la misma.

Tercera fase:

- a) Analizar los resultados obtenidos mediante análisis experimental. Aquí, se compara los resultados obtenidos mediante la fotogrametría y la técnica tradicional de planimetría aplicada en levantamientos topográficos.

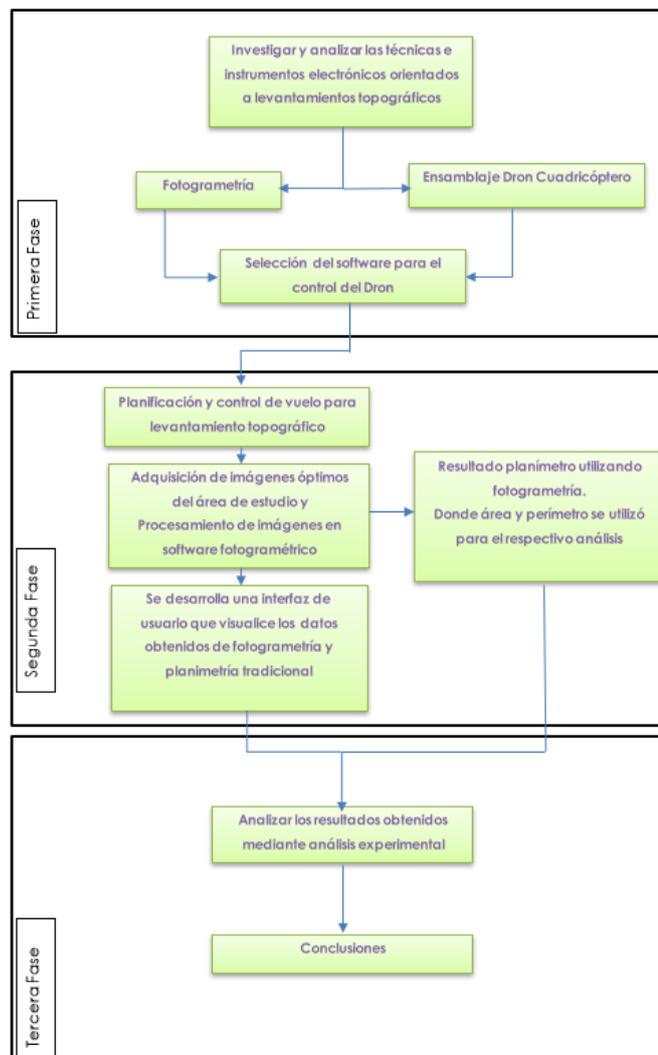


Figura 8. Diagrama de Desarrollo del proyecto

Fuente: Autores

3.6 Procedimiento

En la Figura 9, se presenta el esquemático a seguir, donde se realiza el ensamblaje de un dron cuadricóptero y el acople de un sistema de navegación capaz de capturar imágenes georreferenciadas de forma autónoma, que se utiliza para el método de fotogrametría.

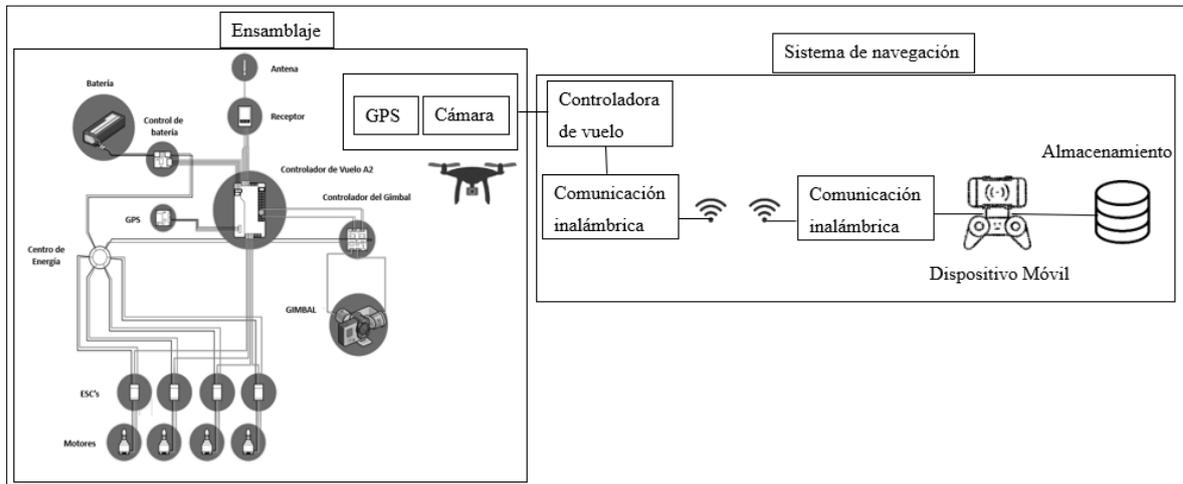


Figura 9. Esquemático del Ensamblaje y Sistema de navegación

Fuente: Autores

3.6.1 Recursos utilizados Hardware y Software

Hardware

Para el proyecto, se ocupa dos ordenadores con las siguientes especificaciones:

Ordenador 1

- CPU: 11th Gen Intel(R) Core (TM) i5-11260H @ 2.60GHz-2.61 GHz
- Memoria: 16,0 GB RAM
- Disco Duro: 1TB SSD
- Tipo de Sistema: x64 bit
- Tarjeta gráfica: NVIDIA GeForce RTX 3050

Ordenador 2

- CPU: Intel(R) Core (TM) i7-8750H @ 2.20GHz-2.20 GHz
- Memoria: 16,0 GB RAM
- Disco Duro: 1TB SSD
- Tipo de Sistema: x64 bit
- Tarjeta gráfica: NVIDIA GeForce GTX 1060

Software

En este proyecto se maneja cinco softwares que ayudan a realizar los cálculos del plan de vuelo y procesamiento de imágenes para crear mapas de levantamiento topográfico con fotogrametría:

- **Matlab:** Se diseña una interfaz para facilitar los cálculos relacionados al plan de vuelo y a su vez una interfaz para visualizar los levantamientos topográficos realizados.
- **Dronelink:** con los cálculos realizados anteriormente en la interfaz, se procede a ingresar a este software para el trazo de ruta con el dron y que lo realice de forma autónoma.
- **Agisoft Metashape:** Se procesa las imágenes tomadas por el dron, obteniendo como resultados: Nube de puntos, malla y texturizado, MDE y Ortomosaico.
- **Global Mapper:** Con el MDE creado anteriormente se procede a realizar las curvas de nivel, perfil del terreno, modelo de elevación en 3D y modelado 3D con la nube de puntos.
- **ArcGIS ArcMap:** Se crea el mapa de levantamiento topográfico con los resultados ya creados, y se procede a calcular la planimetría del terreno obteniendo las variables de área y perímetro para el respectivo análisis.
- **SPSS:** Este software ayuda en el análisis de datos para crear tablas y graficas con los resultados de las variables entregadas.

3.6.2 Ensamblaje del Dron Cuadricóptero

En el siguiente proyecto se desarrolla el ensamblaje de un dron cuadricóptero con los siguientes componentes como se muestra en la Figura 10.

Componentes

- **Frame S500:** Es la estructura de dron de tamaño mediano de fibra de carbono, con una capacidad de carga de 2.5 a 3 kg, esto lo hace adecuado para llevar una cámara para fotografías aéreas.
- **Motores Brushles:** Se utiliza 4 motores (Readytosky 2212 920KV) sin escobillas siendo ligeros, eficientes y compatibles con baterías de 2 a 4 celdas.
- **Variadores de velocidad:** Se usa 4 ESC de 40A siendo compatibles con baterías de 2 a 6 celdas.
- **Hélices:** Dos pares de hélices de 10 pulgadas compatibles con el tipo de motor y variadores.

- **Controladora de vuelo:** La Controladora A2 es compatible con el control remoto y el sistema de comunicación. Así, logrando acoplar el sistema de navegación (Dronelink) para el funcionamiento autónomo del dron.
- **Control:** Control RC-N1 este tipo de control es compatible con el sistema de comunicación (Lightbridge) y controladora de vuelo.
- **Batería:** Batería LiPo 4 celdas de 14.8V a 5000mAh, esta batería ofrece una potencia adecuada para los motores eléctricos y su tasa de descarga es considerable para drones de tamaño mediano.
- **Gimbal:** Se emplea un gimbal de 3 ejes sin escobillas para: Controlador Ligeró FPV, cámaras Go-Pro Hero 6,7, 10 u 11, y frames F450, F550 y S500 para Fotografía aérea.
- **Cámara:** la cámara Go-pro Hero 11 de 27Mp, dando una resolución de imagen de 4032x3024 pixeles con una distancia focal de 6.72mm.

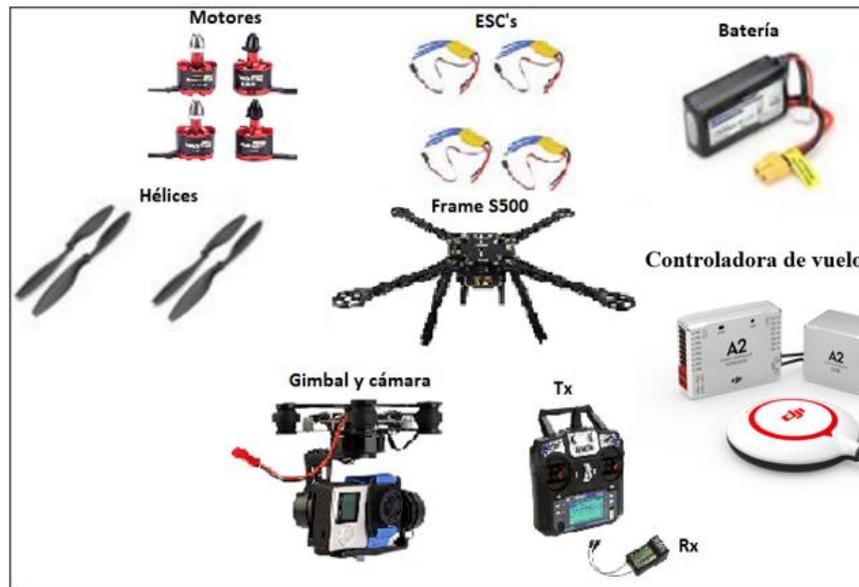


Figura 10. Componentes del dron

Fuente: Autores

Paso 1. Prueba de motores

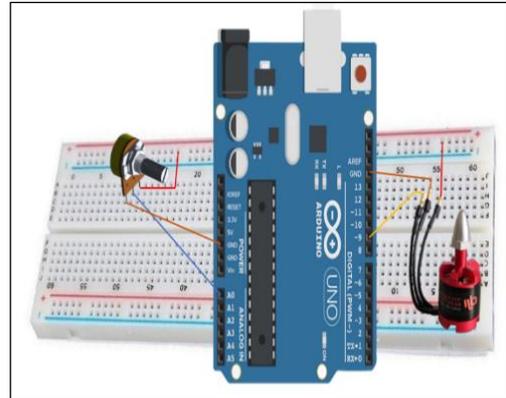
En la Figura 11 A) se expresa el código utilizado en Arduino Uno para verificar el funcionamiento de los motores y en la Figura 11 B) se indica el circuito armado con la placa Arduino Uno.

```

1 #include <Servo.h>
2 Servo ml;
3 void setup() {
4   ml.attach(9);
5   Serial.begin(9600);
6
7 }
8 void loop() {
9   int a = analogRead(0);
10  int angulo = map(a, 0, 1023, 0, 180);
11  ml.write(angulo);
12  Serial.println(angulo);
13  delay(100);
14 }

```

A)



B)

Figura 11. A) Código en Arduino y B) Armado de Circuito para prueba de motores

Fuente: Autores

Paso 2. Armado de la estructura Frame S500.

Como se observa en la Figura 12, cada componente de la estructura está conectada a la placa superior e inferior del Frame de manera adecuada.



Figura 12. Frame S500

Fuente: Autores

Paso 3. Conectar los ESC con los motores.

Se puede apreciar en la Figura 13 las respectivas conexiones de los ESC y los motores, donde los motores 1 y 3 se conectan de forma normal ya que deben girar en sentido horario y los motores 2 y 4 deben girar en sentido antihorario. Tener en cuenta el color de los cables.

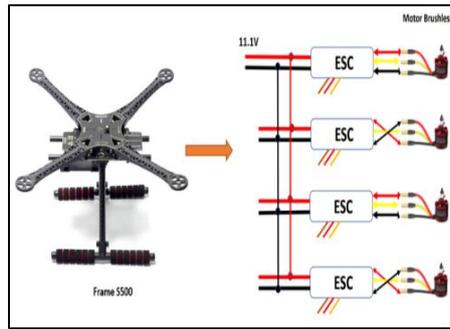


Figura 13. ESC y Motores

Fuente: Autores

Paso 4. Colocación de los motores en el Frame.

La colocación de los motores en el Frame se evidencia en la Figura 14, donde cada motor está sujeto por pernos y los ESC con agarraderas de plásticos.

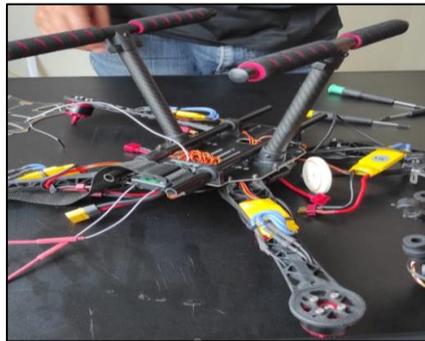


Figura 14. Instalación de los ESC y Motores en el Frame S500

Fuente: Autores

Paso 6. Instalación del Gimbal y cámara.

El Frame seleccionado cuenta con un espacio específico para la colocación del Gimbal con la cámara, como se enseña en la Figura 15.



Figura 15. Colocación del Gimbal y Cámara en el Frame S500

Fuente: Autores

Paso 7. Instalación de la controladora de vuelo A2 en el Frame.

En la placa inferior del Frame se coloca la tarjeta controladora de vuelo y sus diversos componentes que están conectados internamente, como se indica en la Figura 16.

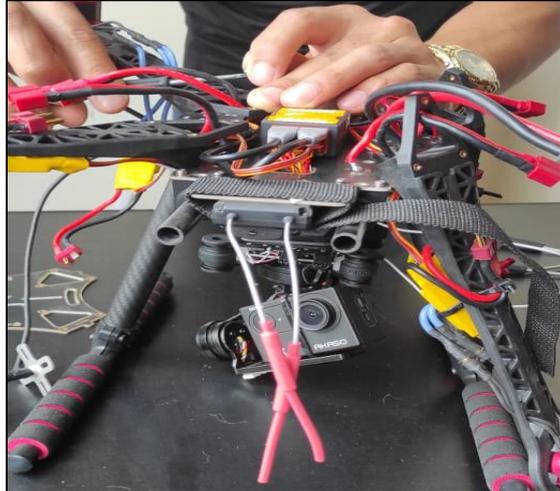


Figura 16. Controlador A2 en el Frame S500

Fuente: Autores

Paso 8. Conexión del GPS.

En la Figura 17 se presenta la colocación del GPS sujetado con pernos a la placa superior del Frame para que no se pueda caer. A demás, se debe tener en cuenta la ubicación y la orientación del GPS con respecto a la controladora de vuelo.

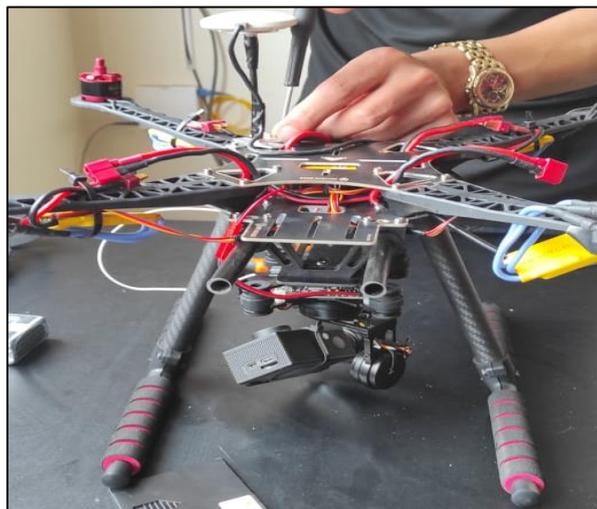


Figura 17. Conexión del GPS

Fuente: Autores

Paso 9. Instalación de Batería y Hélices.

La batería se acopla en la placa superior debido a que no cuenta con un lugar específico en el Frame, para ello se usa correas de sujeción, y las hélices se ubican en cada motor dependiendo la configuración del dron, teniendo como resultado la Figura 18.

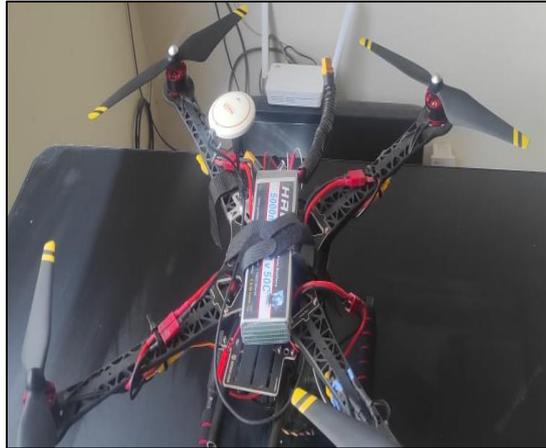


Figura 18. Instalación de Batería y Hélices en el Frame S500

Fuente: Autores

Para la configuración y calibración de la tarjeta controladora de vuelo es recomendable retirar las hélices para prevenir accidentes dentro de espacios reducidos.

3.6.3 Calibración y configuración de Controladora de vuelo A2

Paso 1. Ejecución del Asistente de controlador A2.

Como se presenta en la Figura 19, es la interfaz inicial del asistente del controlador A2, aquí se visualiza las configuraciones que se puede realizar.

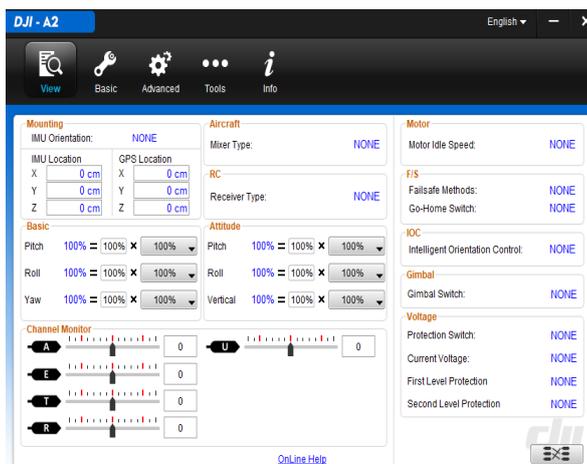


Figura 19. Pantalla principal del Asistente

Fuente: A2 Assistant/View

Paso 2. Seleccionar la configuración del tipo multirroto del dron (Cuadricóptero).

En este apartado se selecciona el tipo de dron que se emplea en el proyecto, en este caso el dron cuadricóptero como se indica en la Figura 20, y de esta manera indicar a la controladora de vuelo que se ocupan cuatro motores.

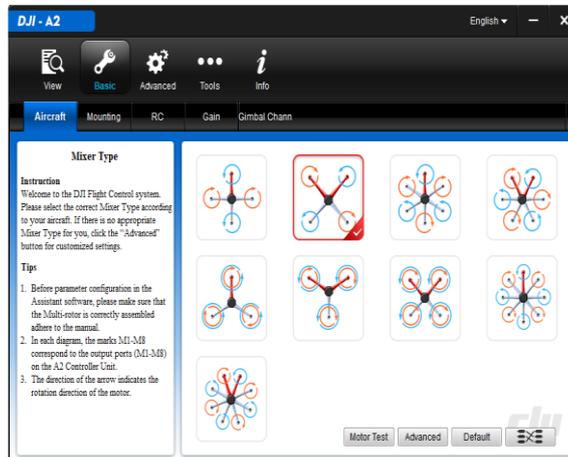


Figura 20. Configuración del Multirroto del Dron

Fuente: A2 Assistant/Aircraft

Paso 3. Localización y Orientación del Controladora de vuelo y GPS.

En la Figura 21 se logra evidenciar que la controladora de vuelo debe estar ubicado en el centro de gravedad del Frame S500 y la ubicación del GPS se orienta con respecto al controlador, trazando un plano de coordenadas para su perfecta localización.

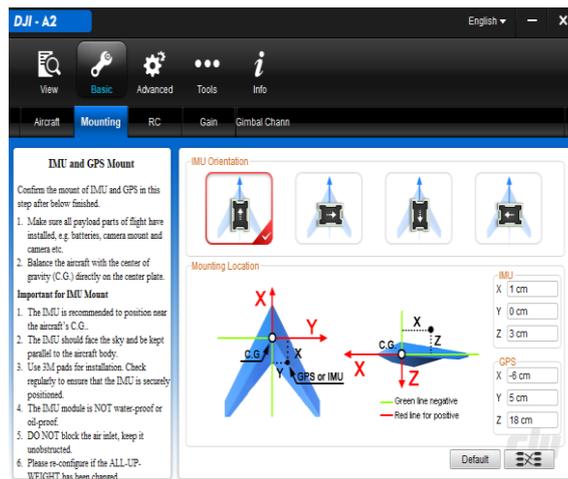


Figura 21. Localización y Orientación

Fuente: A2 Assistant/Basic/Mounting

Paso 4. Tipo de receptor y modo de control.

En esta sección se configura el tipo de comunicación y el modo de control que puede tener el dron, como se ve en la Figura 22.

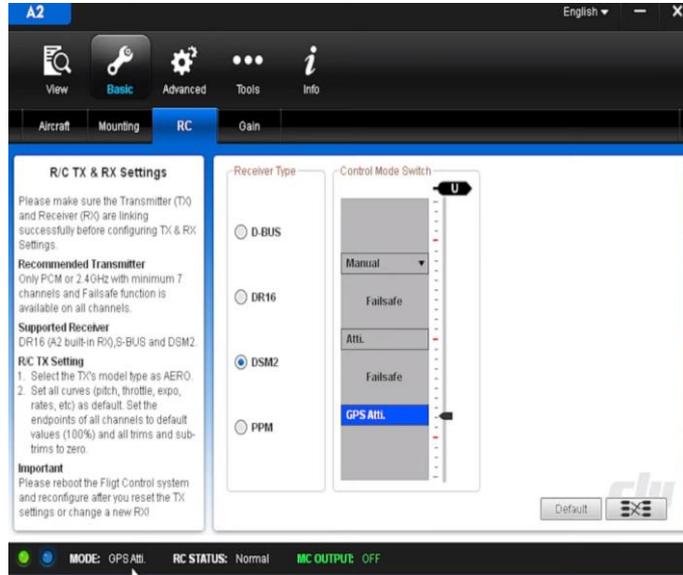


Figura 22. Tipo de receptor y modo de control

Fuente: A2 Assistant/Basic/RC

Paso 5. Ajuste de Ganancias.

En la Figura 23, se visualiza el “Basic Gain” que ayuda en la estabilización del dron, dependiendo del valor asignado este se estabiliza de forma rápida o lenta, esto depende de la inercia y de velocidad del viento, y el “Attitude Gain” ayuda en la respuesta de nuestros movimientos de los sticks del radio control con respecto al dron.

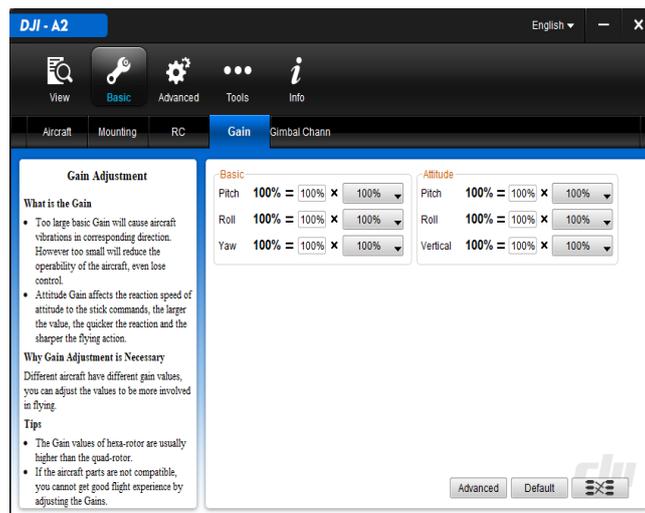


Figura 23. Ajuste de Ganancias

Fuente: A2 Assistant/Basic/Gain

Paso 6. Configuración la velocidad motores

En este apartado, se selecciona la velocidad de arranque del motor, para que inicie de manera adecuada, es preferible dejar en “RECOMMENDED” como se aprecia en la Figura 24.



Figura 24. Velocidad del motor

Fuente: A2 Assistant/Advanced/Motor

Paso 7. Configuración en la pérdida de comunicación

Como se presenta en la Figura 25, cuenta con tres configuraciones: Hover, es cuando el dron pierde señal de comunicación con respecto al control y empieza a descender en el punto donde se encuentre. Go-Home, es el más recomendado ya que cuando pierde la señal de comunicación el dron retorna al punto inicial y desciende en el punto de origen. Por último, Alt Go-Home es la altura máxima que toma el dron para el regreso al punto de partida.

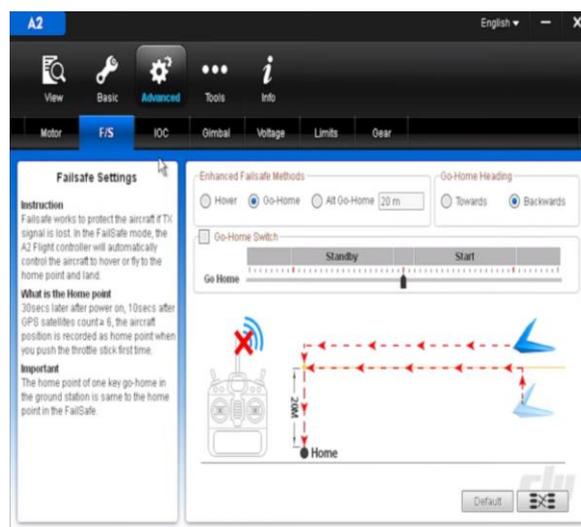


Figura 25. Modo de pérdida de configuración

Fuente: A2 Assistant/Advanced/F-s

Paso 8. Configuración de Gimbal.

Como se observa en la Figura 26, se activa la función del Gimbal en la controladora. Y a subes se configura las ganancias de velocidad y comportamiento que va a tener el gimbal con respecto a la controladora.

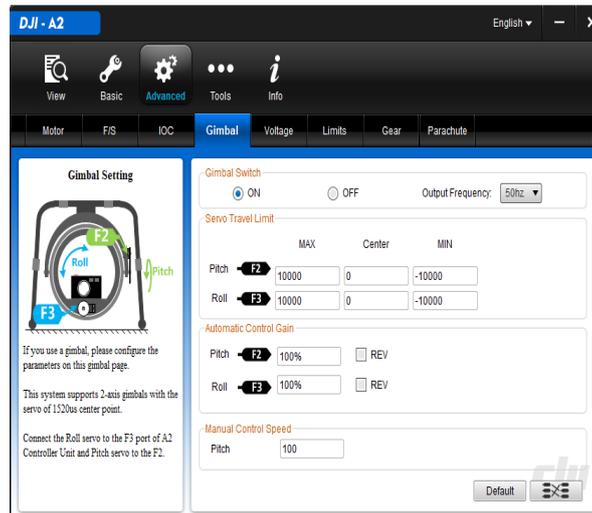


Figura 26. Configuración del Gimbal

Fuente: A2 Assistant/Advanced/Gimbal

Paso 9. Alerta de Voltaje

En este apartado, la Figura 27 muestra las alertas de la batería, donde existen dos tipos; la primera alerta, da señales de aviso encendiendo un led de la controladora indicando el nivel de batería, y la segunda alerta, el dron desciende automáticamente al ser un nivel de seguridad del dron y así salvaguarda la estructura del dron.

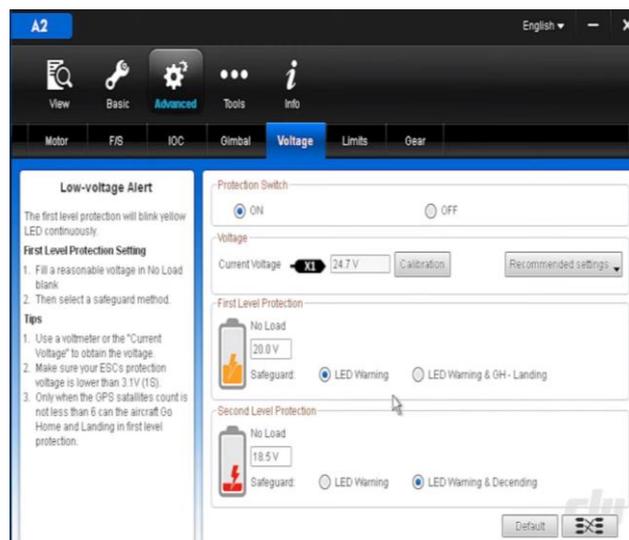


Figura 27. Alerta en “low Voltage”

Fuente: A2 Assistant/Advanced/Voltage

Paso 10. Límites de vuelo

En la Figura 28, se observa los límites el radio y la altura que puede volar el dron. En caso de salir de los límites, el dron entra en la fase de pérdida de comunicación y dependiendo de su configuración, el dron empieza a descender o retorna al punto de partida.

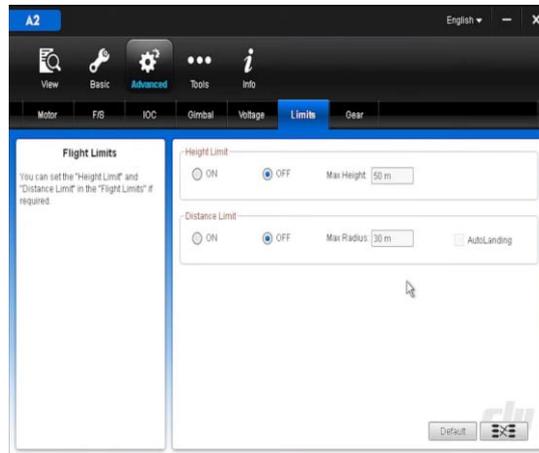


Figura 28. Límites de vuelo Altura y radio

Fuente: A2 Assistant/Advanced/Limits

3.6.4 Prueba de vuelo

Para realizar la prueba de vuelo, se procede a conectar la batería tal como se visualiza en la Figura 29.



Figura 29. Conexión de la batería

Fuente: Autores

Seguidamente se procede a calibrar el GPS. En la Figura 30 A) se calibra el eje vertical y en la Figura 30 B) el eje horizontal.



A)



B)

Figura 30. A)Calibración del GPS eje vertical del Dron y B) Calibración del GPS eje Horizontal del Dron

Fuente: Autores

Si la calibración del dron se realiza correctamente, el led del dron empieza a parpadear de color verde como se aprecia en la Figura 31, en caso contrario si el led parpadea de color naranja quiere decir que no está bien calibrado y si parpadea de color rojo nos indica que el nivel de batería es bajo.



Figura 31. Calibración exitosa del GPS

Fuente: Autores

Si los pasos anteriores se aplicaron correctamente, el dron puede volar sin ningún problema, esto se puede evidenciar en la Figura 32.



Figura 32. Prueba de vuelo exitoso

Fuente: Autores

3.6.5 Sistema de comunicación Lightbridge

En la Figura 33 se presenta el esquemático del sistema de comunicación Lightbridge, para lograr la transmisión de video y datos en tiempo real entre la controladora de vuelo (A2) y el control remoto (RC-N1).

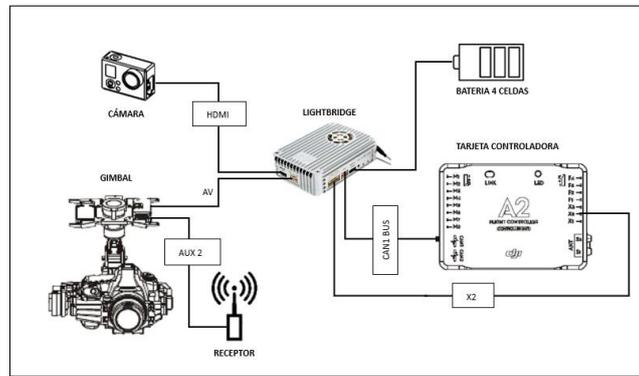


Figura 33. Esquema de conexión Lightbridge

Fuente: Autores

Este sistema cuenta con un equipo de transmisión y recepción de vídeo, permitiendo visualizar las imágenes capturadas por el dron en tiempo real. Además, cuenta con antenas que envían y reciben señales emitidas entre el control remoto y el dron, como se implementa en la Figura 34.

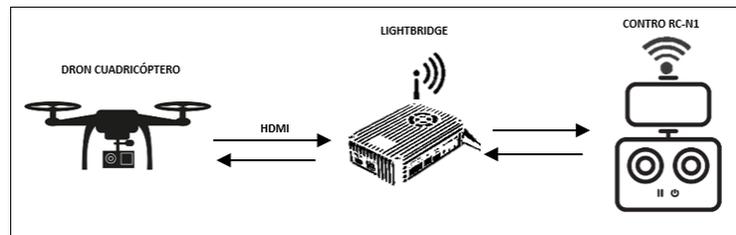


Figura 34. Comunicación entre el control remoto Rc-N1 y Dron cuadracóptero

Fuente: Autores

Se emplea el sistema de comunicación Lightbridge del fabricante DJI porque es compatible con la controladora de vuelo A2 y a subes al control remoto. El control remoto RC-N1, se utiliza debido a que permite conectar dispositivos móviles para visualizar el video e imágenes capturadas por el Dron en tiempo real. Además, el sistema de navegación Dronelink es compatible con la controladora de vuelo A2 (marca DJI), esta funciona a través de una aplicación móvil para dispositivos Android.

En la Figura 35, se visualiza el correcto funcionamiento del sistema de comunicación vinculado al dron y al control remoto.



Figura 35. Sistema de navegación, Control remoto y Dron acoplados

Fuente: Autores

En el proyecto se aplica el sistema de navegación “Dronelink” debido a que cuenta con un SDK compatible con el modelo del Dron cuadricóptero, permitiendo controlar los actuadores del dron de forma autónoma.

En la Figura 36 se observa como el SDK se adapta a una aplicación móvil y a su vez la conexión a una plataforma física (Dron). El cable USB es conecta al control remoto y un dispositivo móvil, y este último vincula al Dron de forma inalámbrica a través del sistema de comunicación (Lightbridge).

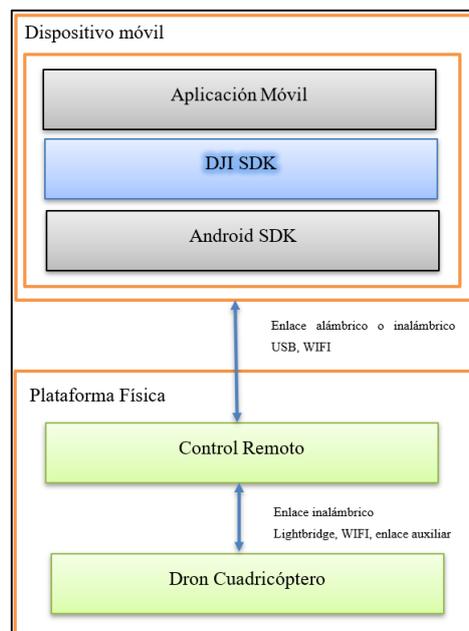


Figura 36. Diagrama de conexión dispositivo móvil y control remoto

Fuente: Autores

3.6.6 Plan de vuelo

Para los cálculos pertinentes del plan de vuelo, se utiliza los datos de la Tabla 3 que contiene: Datos iniciales, la altura cambia de acuerdo al estudio que se va a realizar, los tres datos en rojo son parámetros que no cambian en todo el proyecto, el recubrimiento longitudinal hace referencia a superposición entre imágenes que garantice una cobertura adecuada del área de estudio, el 75% significa que la imagen se superpone con la anterior imagen de la misma dirección de vuelo. De forma similar, el recubrimiento lateral se refiere a la superposición entre imágenes adyacentes en la dirección perpendicular al plan de vuelo. Por último, el intervalo de tiempo hace mención al tiempo transcurrido entre captura de dos imágenes consecutivas en el plan de vuelo.

Las características de la cámara, depende del modelo que se elija, para el estudio se utiliza la cámara go-pro Hero 11, la distancia focal determina el comportamiento del lente en términos de zoom, mientras más pequeña sea la distancia focal se obtiene un campo de visión más amplio. El ancho de sensor de la cámara es la dimensión física en dirección horizontal de la imagen. Por último, el ancho y alto de la imagen es la resolución en pixeles que contiene cada fotografía tomada.

Datos iniciales	
Altura de vuelo(m)	40
Recubrimiento longitudinal deseado:	75%
Recubrimiento lateral deseado:	75%
Intervalo de tiempo (s)	2
Características de la cámara	
Distancia focal de la cámara FR (mm):	6,72
Ancho del sensor de la cámara Sw (mm):	9,677
Altura de la imagen en Píxeles imH (píxel):	3024
Ancho de la imagen en Píxeles imW (píxel):	4032

Tabla 3. Parámetros iniciales

Fuente: Autores

3.6.6.1 Cálculos de escala

Para el cálculo de la escala se ocupa la ecuación (2), la cual indica la relación entre la altura de vuelo con respecto la distancia focal.

$$Escala = \frac{Altura\ de\ vuelo\ (mm)}{Distancia\ focal\ (mm)} \quad (2)$$

Al remplazar los valores en la ecuación (2) con una altura de 40m y una distancia focal de 6.72 mm, se obtiene una escala:

$$Escala = \frac{40000}{6.72} = 5952 \approx 6000 \rightarrow \mathbf{1: 6000}$$

3.6.6.2 Cálculo del GSD

Empleando la ecuación (3) se procede a calcular el GSD, la misma que está dada por la anchura del sensor, altura de vuelo con respecto a la distancia focal y la anchura de la imagen.

$$GSD = \frac{\text{Ancho del sensor (mm)} * \text{Altura de vuelo (m)} * 100}{\text{Distancia focal (mm)} * \text{ancho imagen en pixeles}} \quad (3)$$

Sustituyendo los valores de la Tabla 3 en la ecuación (3), se calcula el valor de GSD:

$$GSD = \frac{9.67 \text{ (mm)} * 4000 \text{ (cm)}}{6.67 \text{ (mm)} * 4032 \text{ (pixel)}} = \mathbf{1.43 \text{ cm/pixel}}$$

3.6.6.3 Cálculo del ancho y alto de la huella en el terreno

Para calcular el ancho de la huella se usa la ecuación (4) y el alto de la huella del terreno se ocupa la ecuación (5), donde se utiliza el valor el GSD calculado anteriormente y las dimensiones de la imagen en pixeles que tiene la imagen.

$$\text{Ancho de la huella} = \frac{GSD \text{ (cm/pixel)} * \text{Ancho de la imagen (pixel)}}{100} \quad (4)$$

$$\text{Alto de la huella} = \frac{GSD \text{ (cm/pixel)} * \text{Altura de la imagen (pixel)}}{100} \quad (5)$$

Con un GSD de 1.43 cm/pixel calculado a 40m, obtenemos los siguientes resultados:

$$\text{Ancho de la huella} = \frac{1.43 \text{ (cm/pixel)} * 4032 \text{ (pixel)}}{100} = \mathbf{57,6 \text{ m}}$$

$$\text{Alto de la huella} = \frac{1.43 \text{ (cm/pixel)} * 3024 \text{ (pixel)}}{100} = \mathbf{43.2 \text{ m}}$$

En la Figura 37, el alto y ancho de la huella del terreno expresa la resolución espacial del área cubierta por las imágenes capturadas. Se debe de tener en cuenta que la huella está relacionada con la altura, mientras más altura tenga el dron, el ancho y alto de la huella del terreno cubre más área, pero se pierde detalles importantes para la interpretación de las imágenes.

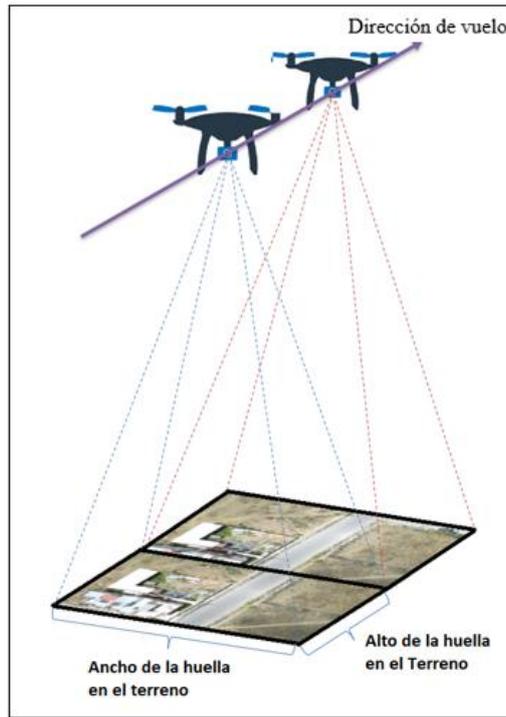


Figura 37. Alto y Ancho de la huella en el terreno

Fuente: Autores

3.6.6.4 Cálculos de distancia entre líneas de vuelo (Lateral)

Para calcular la distancia que tienen entre las líneas de vuelo (traslape lateral) se emplea la ecuación (6), donde se utiliza el recubrimiento lateral ya establecido y el ancho de huella calculado anterior mente.

$$distancia\ l.v. = ancho\ de\ la\ huella\ (m) * \left(1 - \left(\frac{Recubrimiento\ lateral\ (\%)}{100} \right) \right) \quad (6)$$

Al sustituir los valores, se tiene como resultado:

$$distancia\ l.v. = 57.6\ (m) * \left(1 - \left(\frac{75\ (\%)}{100} \right) \right) = 14.4\ m$$

El valor obtenido (14.4 metros) hace referencia a la separación de las trayectorias del dron durante el vuelo como se representa en la Figura 38.

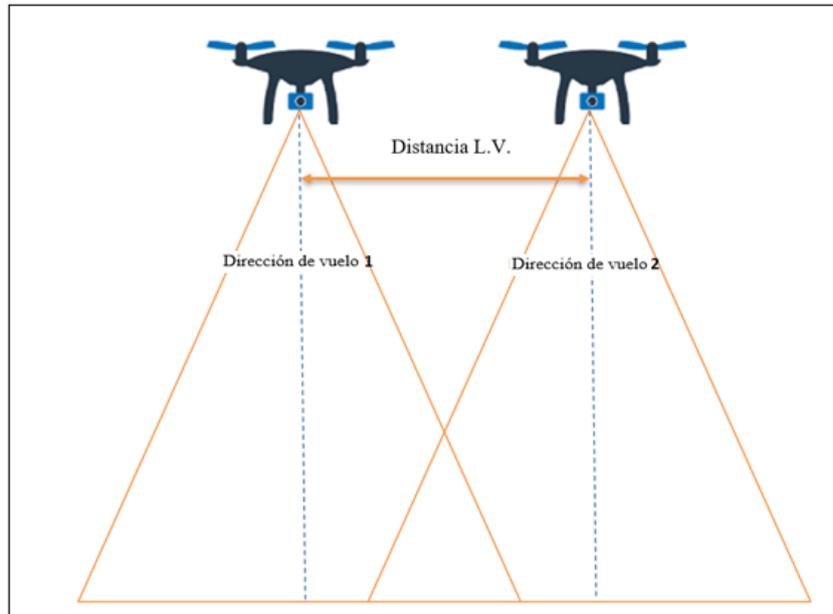


Figura 38. Distancia entre líneas de vuelo

Fuente: Autores

3.6.6.5 Cálculos de distancia entre fotografías (Longitudinal)

Para determinar la distancia entre fotos se utiliza la ecuación (7), en donde se presenta el alto de la huella y el recubrimiento longitudinal.

$$distancia\ fotos = Alto\ de\ la\ huella\ (m) * \left(1 - \left(\frac{Rec.\ longitudinal\ (\%)}{100} \right) \right) \quad (7)$$

Remplazando los valores en la ecuación (7) se obtiene el siguiente resultado:

$$Distancia\ fotos = 43.2\ (m) * \left(1 - \left(\frac{75\ (\%)}{100} \right) \right) = 10.8\ m$$

Para indicar el valor obtenido de la separación entre las imágenes tomadas durante el vuelo se tiene la Figura 39, donde se observa una zona de traslape que expresa el área común entre dos imágenes adyacentes capturadas durante el vuelo.

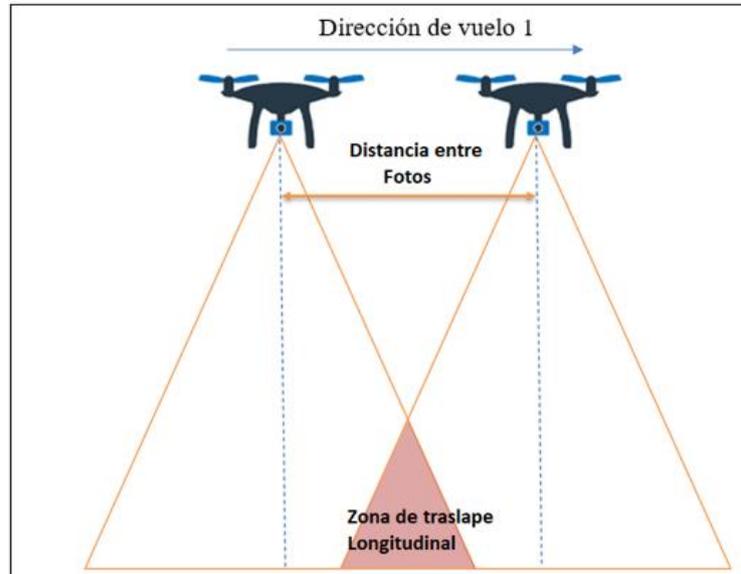


Figura 39. Distancia entre fotos

Fuente: Autores

3.6.6.6 Cálculo de velocidad de vuelo

La ecuación (8) expresa, la velocidad de vuelo que está relacionada con la distancia entre fotografías y el intervalo de tiempo de obturación por cada foto.

$$Velocidad \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{Distancia \text{ entre } fotografia \text{ (m)}}{Intervalo \text{ de } tiempo \text{ (s)}} \quad (8)$$

Para calcular la velocidad de vuelo que se da al dron, se procede a remplazar los valores en la ecuación (8):

$$Velocidad \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{10.8 \text{ (m)}}{2 \text{ (s)}} = 5.4 \left(\frac{m}{s} \right) \Rightarrow \mathbf{19.44(Km/h)} \approx \mathbf{20(Km/h)}$$

3.6.7 Interfaz en MATLAB/AppDesigner

Para facilitar el trabajo al momento de realizar los cálculos necesarios para la creación del plan de vuelo y la visualización de datos, se realiza una interfaz gráfica utilizando MATLAB/AppDesigner.

Para hacer uso de esta herramienta se debe de ingresar “appdesigner” en la consola de MATLAB y automáticamente se ejecuta la herramienta. Una vez ejecutado comenzamos con la edición de la interfaz y sus respectivos elementos que lo conforman.

Como interfaz inicial o pantalla de inicio como se muestra en la Figura 40, cuenta con dos botones, el primero ayuda en los cálculos del plan de vuelo y el siguiente ayuda en la visualización de los resultados planimétricos por fotogrametría.



Figura 40. Interfaz inicial

Fuente: Autores

Interfaz para realizar cálculos del Plan de vuelo

En esta interfaz se inserta los datos iniciales y las características de la cámara que se utiliza, estos datos se encuentran en la Tabla 3, y al ocupar los valores se obtiene los siguientes resultados, como se puede observar en la Figura 41.



Figura 41. Cálculos del plan de vuelo

Fuente: Autores

Con los resultados obtenidos mediante la interfaz se procede a ingresar en la aplicación del sistema de navegación “Dronelink”, la cual ayuda a realizar el plan de vuelo y que el dron realice la ruta trazada de manera autónoma.

Interfaz para la visualización de resultados planimétricos

Como se evidencia en la Figura 42, en esta interfaz se visualiza los resultados planimétricos de forma gráfica: 2D y 3D, donde se puede seleccionar cada levantamiento realizado a diferente altura.

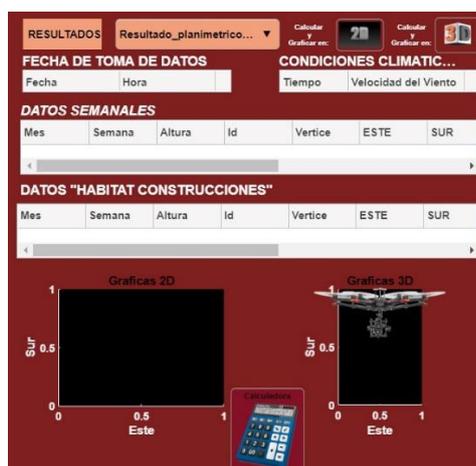


Figura 42. Interfaz para Visualización de resultados planimétricos

Fuente: Autores

3.6.8 Plan de vuelo con Dronelink

Para realizar el plan de vuelo en Dronelink, primero se crea un nuevo mapa en la opción de “crear mapa”, y después se ubica el área en donde se va a volar el dron, esto se evidencia en la Figura 43.



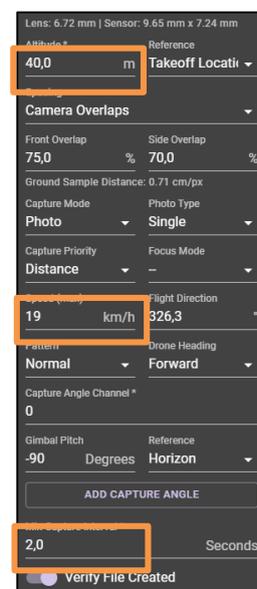
Figura 43. Ubicación de la misión de vuelo y límite del área

Fuente: Dronelink-localización

Una vez establecido el área, se selecciona la cámara como indica en la Figura 44 A). A su vez, ingresamos los datos obtenidos en la sección de plan de vuelo y la altura de 40m, como se muestra en la Figura 44 B).



A)



B)

Figura 44. A) Selección del A2 (Aire 2) y B) Ingreso de datos

Fuente: Autores

En la Figura 45 expresa el trazado que va a seguir el dron de forma autónoma. El icono azul oscuro indica el punto de despegue del dron antes de volar, el icono azul claro señala el punto de inicio del plan de vuelo con la altura correspondiente (40 metros) y el punto rojo muestra el final del recorrido y culminación del plan de vuelo, una vez que termine todo el trazado, el dron regresa al punto de partida.



Figura 45. Plan de vuelo creado en Dronelink

Fuente: Autores

Puntos de control

Para tener una precisión de geolocalización en fotogrametría es necesario colocar puntos de control de una forma uniforme en toda la zona de interés como se manifiesta en la Figura 46, de esta manera facilita la medición y orientación de las imágenes.



Figura 46. Puntos de control

Fuente: Google Earth

3.6.8.1 Ejecución del plan de vuelo en campo

Para ejecutar el plan de vuelo, se procede a trasladar al área de estudio. Ahí, se ubica los puntos de control como se visualiza en la Figura 47.



Figura 47. Puntos de control en el área de trabajo

Fuente: Autores

Cargar el plan de vuelo al Dron Cuadricóptero desde Dronelink.

Se conecta la batería para encender al dron, se espera un corto tiempo hasta que el sistema de navegación sincronice la señal del dron, una vez detectado se debe seleccionar el plan de vuelo a ejecutar, como se muestra en la Figura 48.

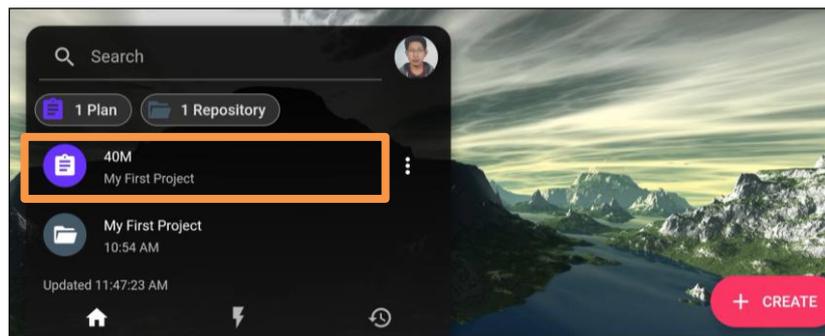


Figura 48. Selección del plan de vuelo

Fuente: Autores

Inicio del Plan de vuelo

Ya seleccionado el plan de vuelo y que el dron esté totalmente sincronizado a la aplicación, se procede a dar inicio al vuelo autónomo, como se aprecia en la Figura 49.

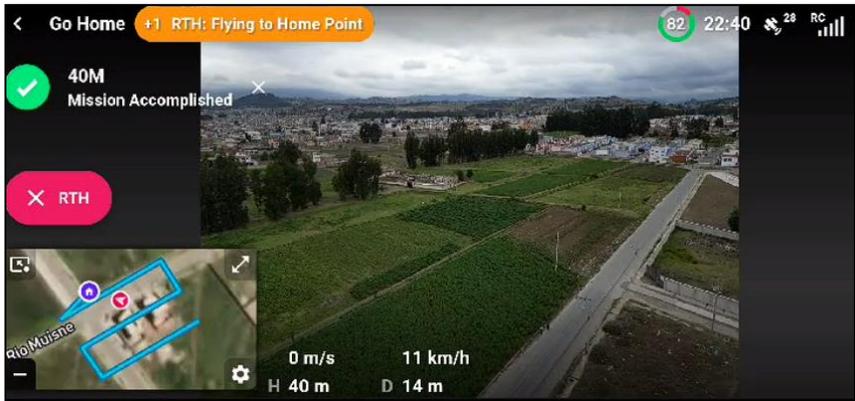


Figura 49. Ejecución del plan de vuelo autónomo

Fuente: Autores

3.6.8.2 Verificación del plan de vuelo y Fotografías.

En la Figura 50 A) se puede evidenciar que el vuelo se completó con éxito, y en la Figura 50 B) se comprueba que las fotografías tomadas del dron estén almacenadas en la memoria de la cámara.



A)



B)

Figura 50. A) Misión de vuelo completa y B) Verificación de imágenes en la cámara en el dispositivo móvil

Fuente: Autores

Una vez realizada las tomas aéreas con el dron y verificado que todo salió exitosamente, se procede a enviar las fotografías al ordenador, como se ve en la Figura 51.

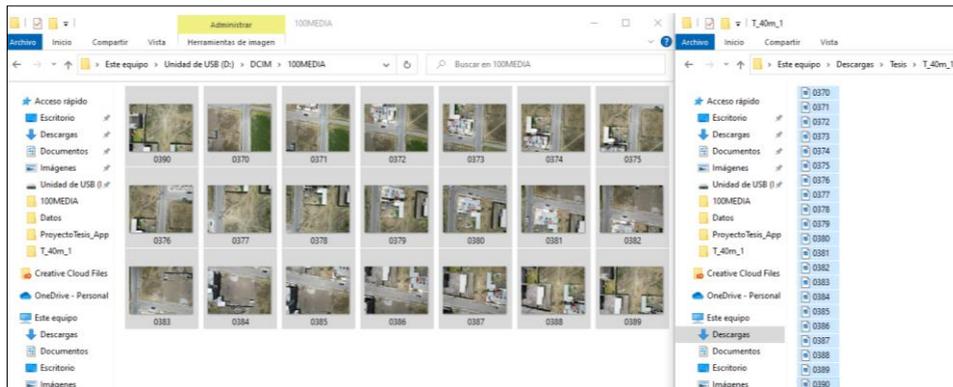


Figura 51. Envió fotografías a la PC

Fuente: Autores

En la primera prueba de vuelo se tomó una cantidad de 21 imágenes aéreas con formato JPG, cada imagen tiene una resolución de 4032 pixeles de ancho y 3024 pixeles de alto, tener en cuenta que mientras más pixeles tenga una imagen mejor será la calidad. Al ver cada imagen, la mayoría son nítidas y no cuentan con partes borrosas ni desenfocadas.

3.6.9 Procesamiento de imágenes

En la Figura 52, se presenta el esquemático de lo que se realiza en todo el apartado de procesamiento de imágenes para la obtención de las variables área y perímetro necesarias para el análisis de resultados.

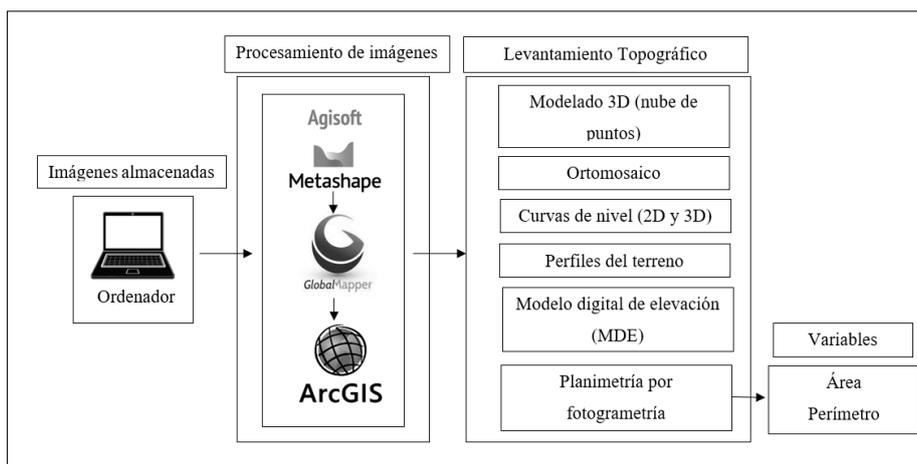


Figura 52. Esquemático del Procesamiento de imágenes

Fuente: Autores

Transformada que ocupa Agisoft Metashape en procesamiento de imágenes

El software principal que se ocupa en el proyecto para el procesamiento de imágenes es Agisoft Metashape, este software manipula las imágenes digitales con la finalidad de extraer información tridimensional del mundo real a partir de ellas. Agisoft Metashape ocupa la transformada de Fourier para realizar el diseño de algoritmos de filtrado, en conjunto con la transformada inversa, estas son las encargadas de manejar las frecuencias espaciales, de manera que si es aplicada en imágenes se expresan figuras geométricas las cuales son las que ayudan al proceso de segmentación.

Se debe tener en cuenta que una imagen se puede filtrar en dominio de frecuencia y tiempo. Cuando se trabaja en dominio de la frecuencia es para tratar de eliminar las bajas o alta frecuencias y así logrando suavizar las imágenes de manera óptima.

En el diagrama de la Figura 53, muestra los pasos que realiza Agisoft para el procesamiento de imágenes. Primero, se ingresa las imágenes $f(x, y)$ y se multiplica por $(-1)^{x+y}$. Luego, utilizando la transformada de Fourier, este transforma la imagen en dominio de la frecuencia $F(u, v)$. Después, se multiplica por un filtro $H(u, v)$ para garantizar precisión y calidad en los resultados. Posteriormente, se realiza la transformada inversa de Fourier, volviendo así, al dominio del espacio. Y al final, se obtiene imágenes con mejor calidad, mayor detalles y buena orientación con respecto al área de estudio.

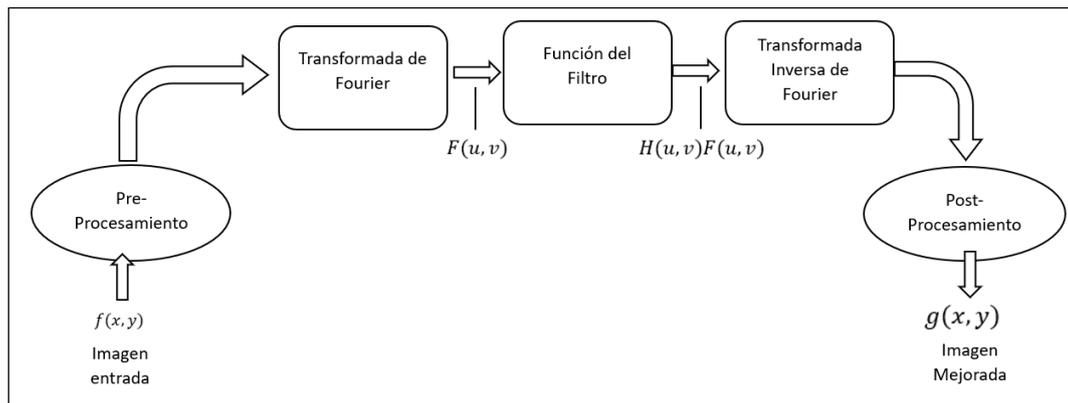


Figura 53. Diagrama de la transformada de Fourier en el procesamiento de imágenes

Fuente: Autores

3.6.9.1 Agisoft Metashape

El diagrama de la Figura 54, muestra la estructura que se realiza en el software Agisoft Metashape en la parte de procesamiento de imágenes, la cual realiza una calibración, emparejamiento de características, estimación geométrica, filtrado y suavizado, obteniendo imágenes múltiples superpuestas que ayudan a determinar la posición tridimensional en el espacio, dando paso a la obtención de nube de puntos, modelo de elevación, orto-mosaicos, curvas de nivel y modelos en 3D. Donde, el orto-mosaico se utiliza para el estudio de planimetría.

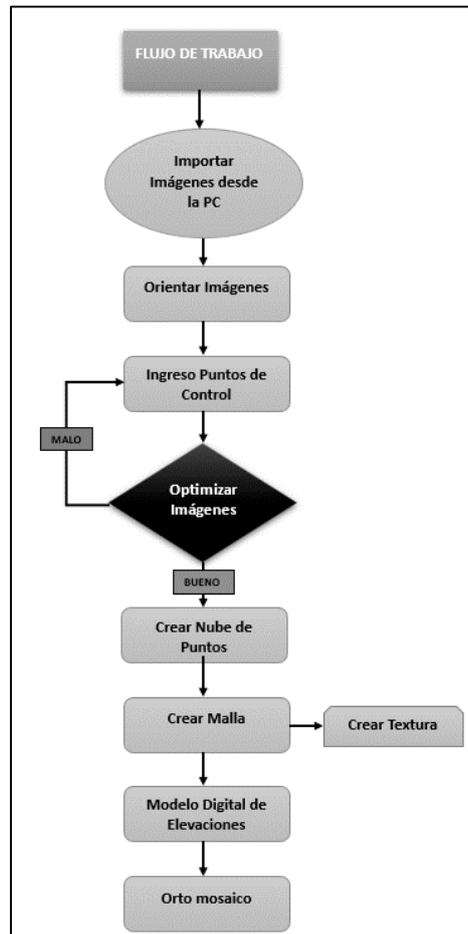


Figura 54. Diagrama del flujo de trabajo en Agisoft Metashape

Fuente: Autores

Paso 1. Importar imágenes desde la Pc

Seleccionar la carpeta que contiene todas las fotografías, como se ve en la Figura 55.

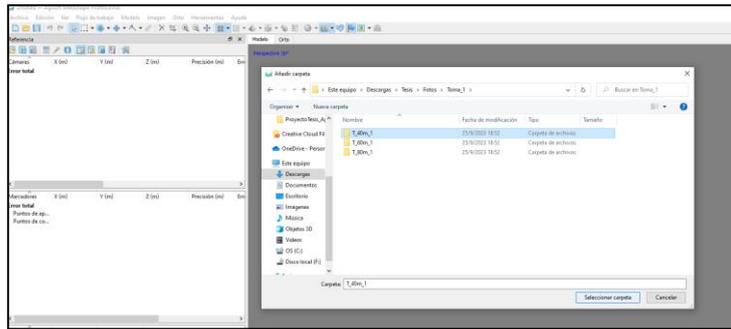


Figura 55. Añadir carpeta de fotos en Agisoft Metashape

Fuente: Agisoft Metashape/Añadir carpeta

Cuando se muestra las fotografías cargadas en el apartado de “cuadro de imágenes”, se selecciona una de ellas y se da en estimar calidad de imagen, como se muestra en la Figura 56.

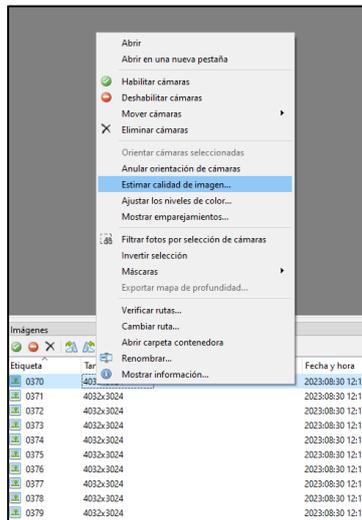


Figura 56. Estimar calidad de imagen

Fuente: Agisoft Metashape

Para verificar la calidad de imagen, se tiene en cuenta que su valor numérico no sea menor que el 0.7, este valor se observa en la Figura 57. Si el valor es mayor o igual al 0.7 se indica que la imagen esta con buena calidad, en caso contrario, la imagen será eliminada y se tendrá que realizar nuevas tomas.

Etiqueta	Tamaño	Orientada	Calidad
0370	4032x3024		0.84284
0371	4032x3024		0.863292
0372	4032x3024		0.962103
0373	4032x3024		0.9307
0374	4032x3024		0.949787
0375	4032x3024		0.890175
0376	4032x3024		0.84932
0377	4032x3024		0.827265
0378	4032x3024		0.886979
0379	4032x3024		0.938382

Figura 57. Calidad de imagen

Fuente: Agisoft Metashape

Paso 2. Orientar Imágenes

Para la orientación de las imágenes se dirige a la parte superior izquierda de la pantalla y se pulsa en el apartado de flujo de trabajo, como se expresa en la Figura 58.

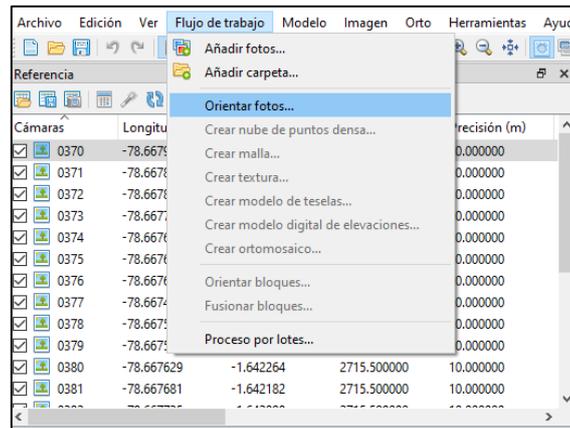


Figura 58. Selección de orientar fotos

Fuente: Autores

Dependiendo del ordenador que se utiliza, puede escoger entre las diferentes opciones de precisión, para trabajos sencillos y con un ordenador de gama baja se recomienda usar la precisión Media. Para el proyecto se implementa la precisión máxima. Los parámetros seleccionados se muestran en la Figura 59.

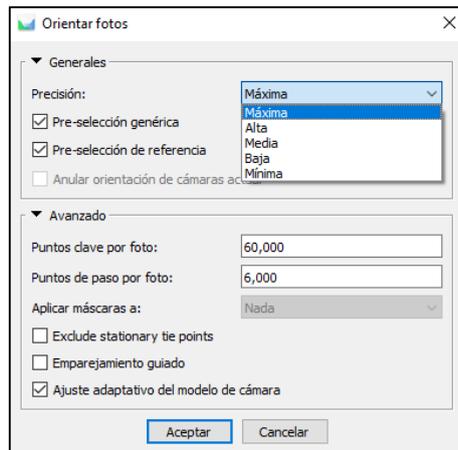


Figura 59. Características generales de la precisión de la orientación de fotos

Fuente: Autores

Paso 3. Ingreso de Puntos de control

Como se aprecia en la Tabla 4, se encuentran los 4 puntos de control en coordenadas UTM y altura al nivel del mar.

Etiqueta	Este	Sur	Altura
Pt1	759501.74	9818354.37	2833
Pt2	759530.77	9818315.93	2830
Pt3	759497.65	9818291.69	2829
Pt4	759465.85	9818332.90	2830

Tabla 4. Puntos de control (coordenadas UTM)

Fuente: Autores

Primero, Cambiar el sistema de coordenadas dependiendo la zona en la cual se trabaja el proyecto como se observa en la Figura 60, Al estar ubicados en “Ecuador/Centro sur” el sistema de coordenadas para esta zona es “WGS 84/UTM zona 17S”.

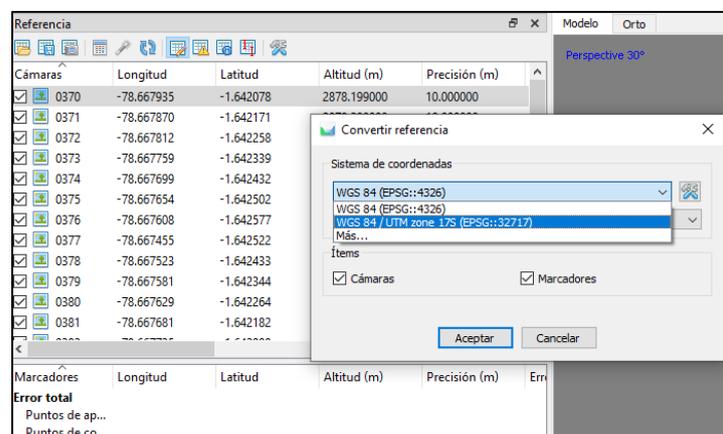


Figura 60. Sistema de coordenadas

Fuente: Autores

Segundo, se importa los puntos de control, teniendo en cuenta el sistema de coordenadas en la que se trabaja, se modifica los parámetros necesarios que este acorde a la Tabla 4. Como se presenta en la Figura 61,

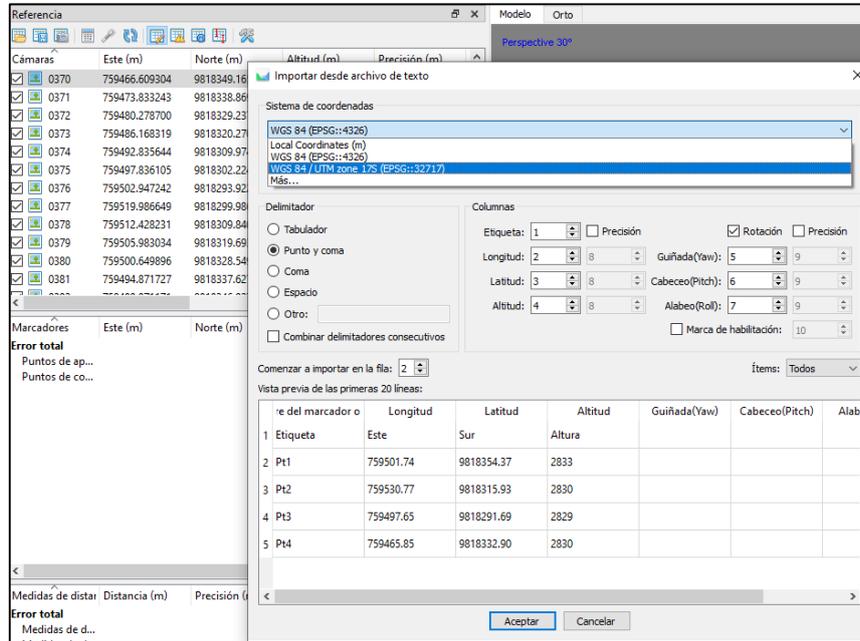


Figura 61. Importar archivo de texto (Puntos de control)

Fuente: Autores

Tercero, Se procede a relacionar los puntos de control con las imágenes tomadas, seleccionar el punto de referencia y filtrar las fotos en la que aparece el punto de control, como se expresa en la Figura 62.

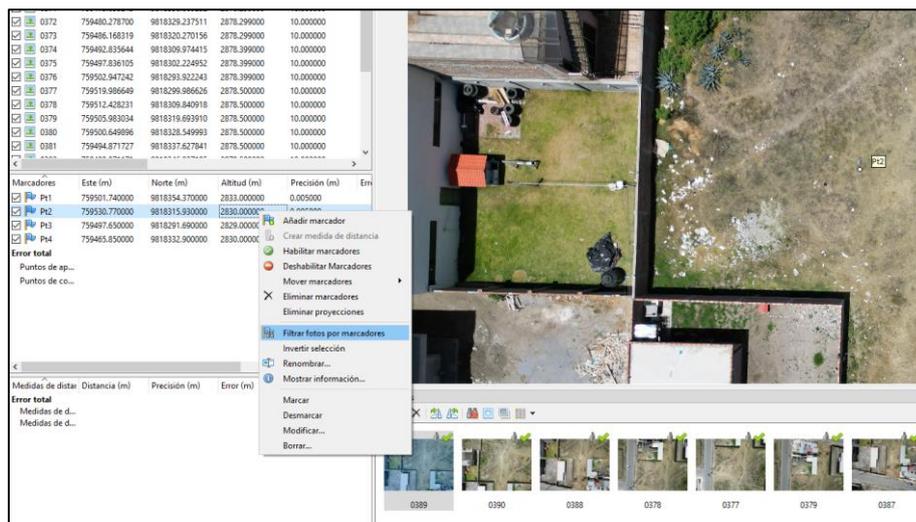


Figura 62. Filtrado del punto de control en las imágenes

Fuente: Autores

Cuarto, una vez posicionado el punto de control en la imagen, en la parte inferior cambia el icono a una bandera de color verde y mientras tanto las demás imágenes que no están posicionadas correctamente se muestran con un icono de color gris, como se ve en la Figura 63.

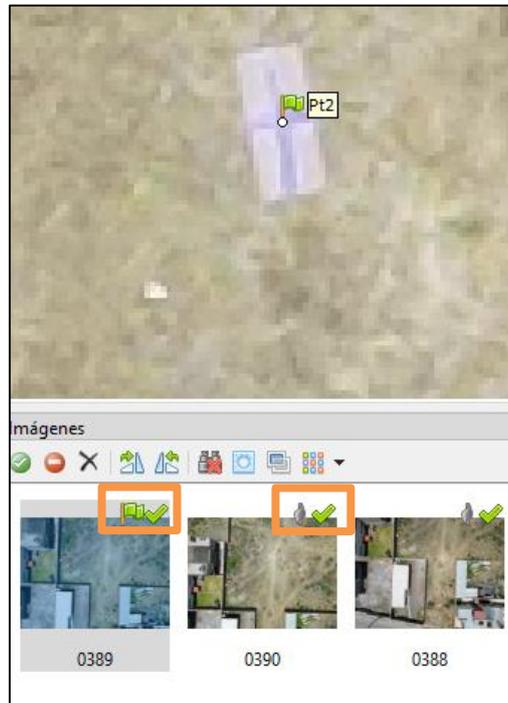


Figura 63. Imagen referenciada y no referenciada al punto de control

Fuente: Autores

Por último, al tener posicionado los puntos de control con respecto a las imágenes, hay que ir hacia el apartado de “referencia” y seleccionar “optimizar cámaras”, como se indica en la Figura 64. esto ayuda a que las posiciones de las imágenes se acoplen al plano real.

Cámaras	Optimizar cámaras	te (m)	Altitud (m)	Precisión (m)	
<input type="checkbox"/>	0370	759466.609304	9818349.165640	2878.199000	10.000000
<input type="checkbox"/>	0371	759473.833243	9818338.869252	2878.299000	10.000000
<input type="checkbox"/>	0372	759480.278700	9818329.237511	2878.299000	10.000000
<input type="checkbox"/>	0373	759486.168319	9818320.270156	2878.299000	10.000000
<input type="checkbox"/>	0374	759492.835644	9818309.974415	2878.399000	10.000000
<input type="checkbox"/>	0375	759497.836105	9818302.224952	2878.399000	10.000000
<input type="checkbox"/>	0376	759502.947242	9818293.922243	2878.399000	10.000000
<input type="checkbox"/>	0377	759519.986649	9818299.986626	2878.500000	10.000000
<input type="checkbox"/>	0378	759512.428231	9818309.840918	2878.500000	10.000000
<input type="checkbox"/>	0379	759505.983034	9818319.693910	2878.500000	10.000000
<input type="checkbox"/>	0380	759500.649896	9818328.549993	2878.500000	10.000000
<input type="checkbox"/>	0381	759494.871727	9818337.627841	2878.500000	10.000000

Figura 64. Optimización de cámaras

Fuente: Autores

3.6.9.1.1 Nube de puntos

Ya optimizada las imágenes y colocado correctamente los puntos de control, se procede a la creación de la nube de puntos densa. Se debe desplazar al flujo de trabajo en la parte superior y seleccionar “Crear nube de puntos densa”, como se presenta en la Figura 65.

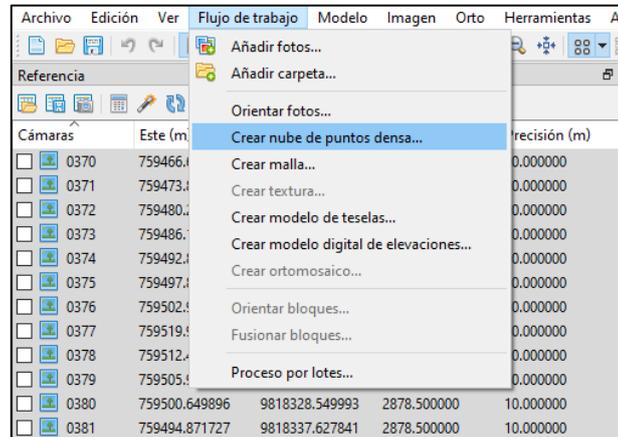


Figura 65. Creación de nube de puntos

Fuente: Autores

Para tener una calidad optima del proyecto, se recomienda seleccionar en calidad “alta” o “Extra alta” si el computador es de gama alta con un buen procesador. En el apartado de filtrado de profundidad seleccionar “agresivo”, esta opción ayuda a generar un trabajo con mayores detalles de visualización, como se expresa en la Figura 66.

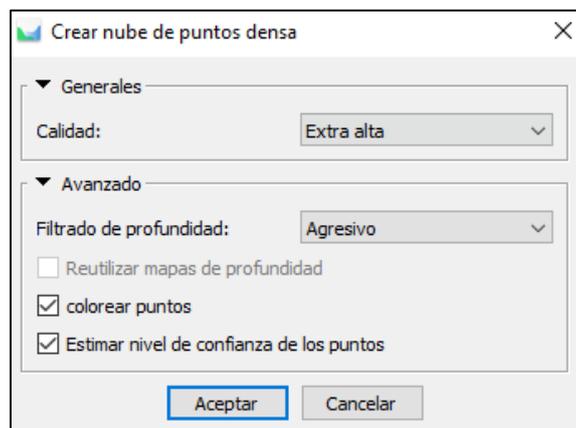


Figura 66. Selección de calidad y filtrado en la creación de nube de puntos densa

Fuente: Autores

Al seleccionar en calidad “extra alta” y en filtrado de profundidad “agresivo”, el programa genera 37.785 puntos, estos representan las posiciones espaciales de las imágenes, como resultado se obtiene una nube de puntos la cual cuenta con muchos detalles para lograr crear modelados 3D como se observa en la Figura 67.



Figura 67. Vista total de la nube de puntos

Fuente: Autores

3.6.9.1.2 Mallado y texturizado

Para la creación de la malla se realiza un proceso similar a la creación de la nube de puntos, hay que dirigirse al “flujo de trabajo” y seleccionar “Crear malla”, teniendo el siguiente mallado expresado en la Figura 68, esto sirve como base para crear una textura del modelo 3D.



Figura 68. Malla creada

Fuente: Autores

Para crear el texturizado es necesario tener el mallado. La textura muestra de forma más realista el modelo 3D que añade detalles visuales más atractivos, como se presenta en la Figura 69.



Figura 69. Resultado del Texturizado

Fuente: Autores

3.6.9.1.3 Modelo Digital de elevaciones (MDE)

Es parte fundamental para generar información importante en levantamientos topográficos para el análisis de elevación y pendientes que tiene el terreno. Similar a los demás procesos, dirigirse al “Flujo de trabajo” y después en “crear MDE”, y como resultado de este proceso se puede observar en la Figura 70.

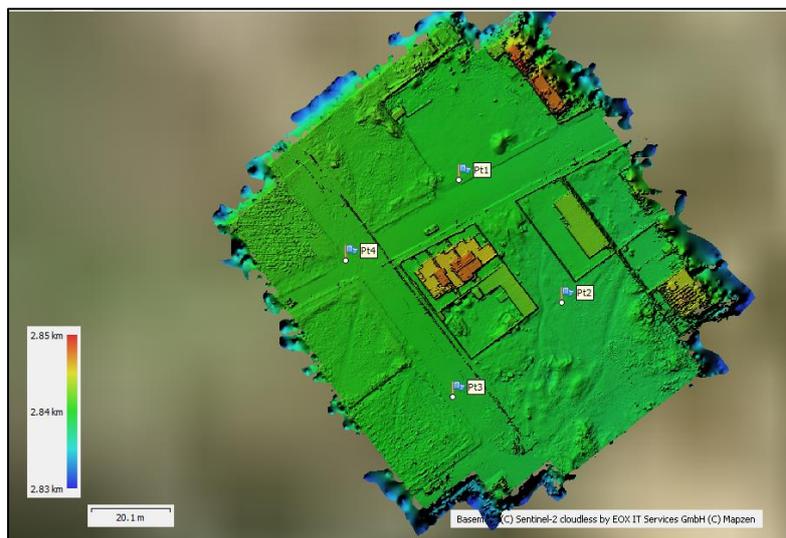


Figura 70. MDE

Fuente: Autores

3.6.9.1.4 Ortomosaico

La creación de un ortomosaico consiste en georreferenciar una imagen y orto rectificarla gracias a la agrupación de imágenes aéreas, además ayuda a corregir las distorsiones y fallos georreferenciales, de esta manera crea mapas actualizados del área de estudio, como se proyecta en la Figura 71.



Figura 71. Resultado final Ortomosaico

Fuente: Autores

Exportación de MDE y Ortomosaico

Para exportar el respectivo MDE, dirigirse al espacio de trabajo, pulsar en resultado de “MDE” y seleccionar en exportar, además considerar el formato de exportación “TIFF”, el mismo proceso se realiza en el ortomosaico.

En la Figura 72, se observa las exportaciones almacenadas en el directorio correspondiente.



Figura 72. Resultados exportados (MDE y Ortomosaico)

Fuente: Autores

3.6.9.2 Procesamiento en Global Mapper

El flujo de trabajo que se realiza en esta sección se presenta en la Figura 73.

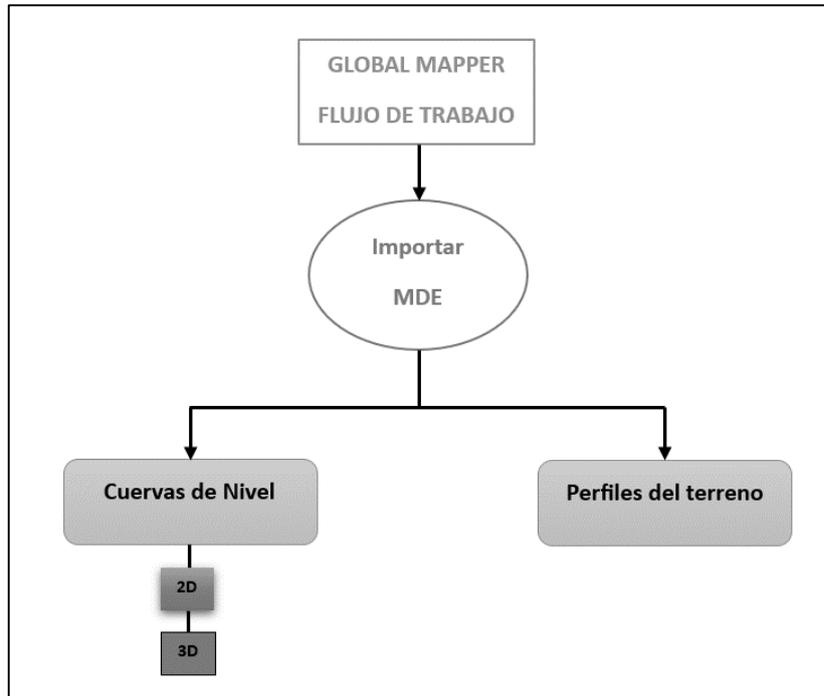
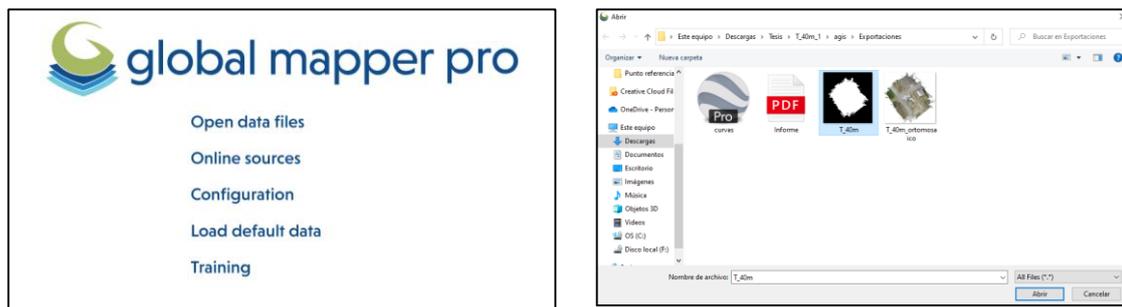


Figura 73. Flujo de trabajo en Global Mapper

Fuente: Autores

Para importar el MDE, previamente exportado en la sección 3.6.9.1.4, y crear las respectivas curvas de nivel y perfiles del terreno, abrir global Mapper y en la pantalla principal seleccionar “Open data file”, como se muestra en la Figura 74 A). Después, seleccionar el MDE en este caso con el nombre “T_40m”, como indica en la Figura 74 B).



A)

B)

Figura 74. A) Pantalla de inicio de Global Mapper y B) Importar MDE “T_40m”

Fuente: Autores

3.6.9.2.1 Curvas de nivel en 2D y 3D

Una vez importado el MDE como se visualiza en la Figura 75, buscar la opción de “Create Countours” en el menú de opciones.

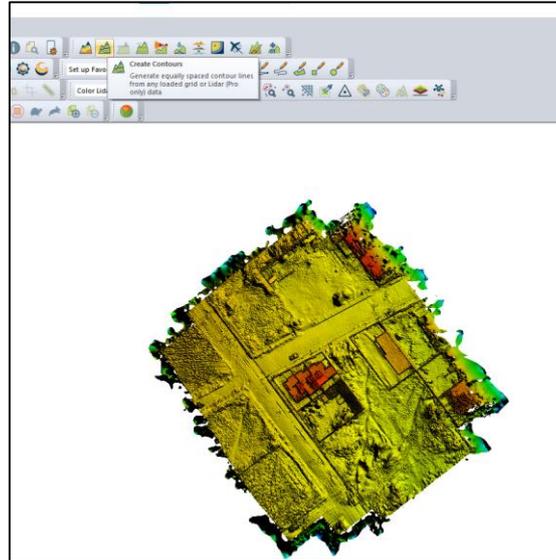


Figura 75. Creación de curvas de nivel

Fuente: Autores

En la Figura 76 A) se aprecia las curvas de nivel en 2D creadas en el software Global Mapper y en la Figura 76 B) se indica las curvas de nivel en 3D creadas en Agisoft Metashape.



A)



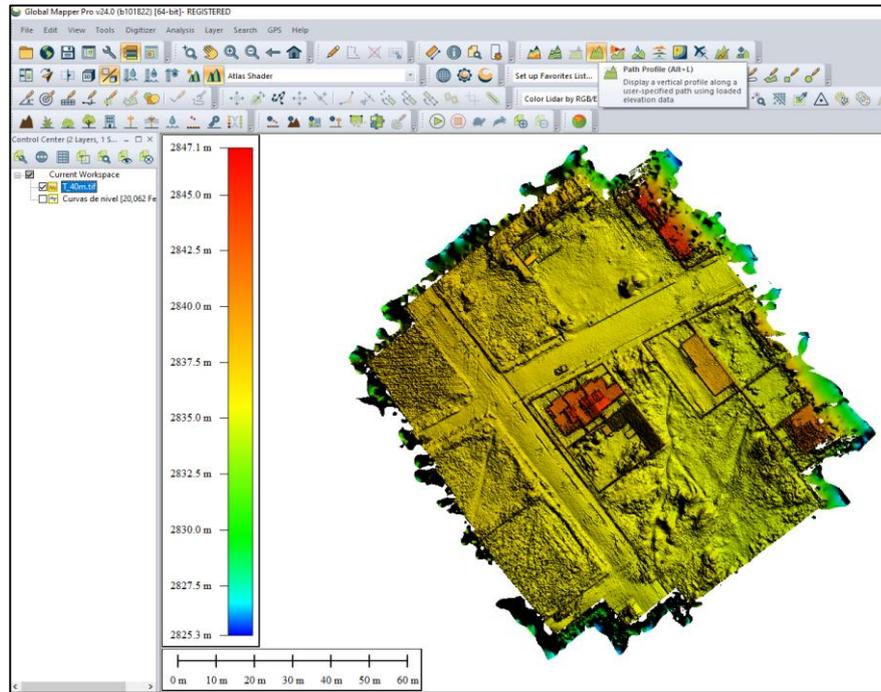
B)

Figura 76. A) Curvas de nivel 2D, Global Mapper y B) Curvas de nivel 3D, Agisoft Metashape

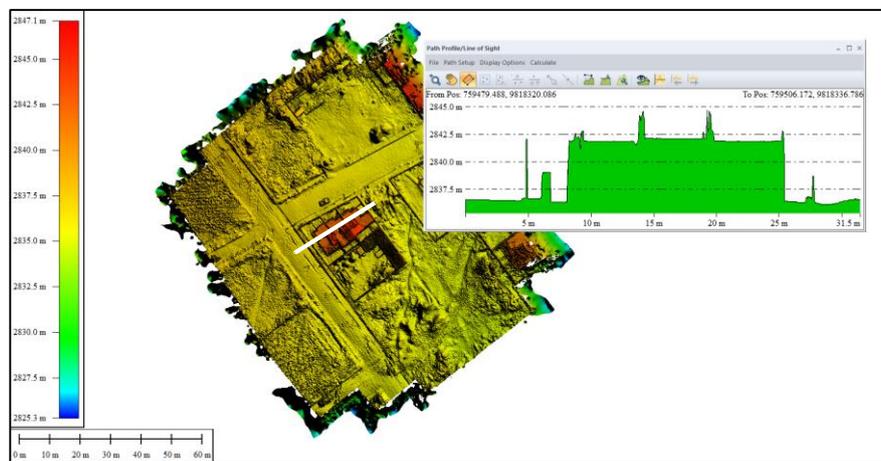
Fuente: Autores

3.6.9.2.2 Perfiles del terreno

Seleccionar el MDE y buscar la opción en herramientas “Path Profile”, como se enseña en la Figura 77 A). Utilizando el mouse, ubicar la posición inicial y final de donde queremos el perfil, como se visualiza en la Figura 77 B).



A)



B)

Figura 77. A) Creación del Perfil del Terreno y B) Perfil del Terreno

Fuente: Autores

Para exportar el perfil del terreno, seleccionar “File” y en “Save Profile”. Se añade un nombre y se guarda en el directorio con un formato “BMP”.

Para exportar las curvas de nivel, seleccionar las curvas creadas y dirigirse al apartado de “File/Export/Export Vector”. Seleccionar el formato “ShapeFile” ya que es recomendado para trabajar en ArcGIS.

En la Figura 78, se verifica los archivos exportados que estén ubicados correctamente en el directorio asignado.

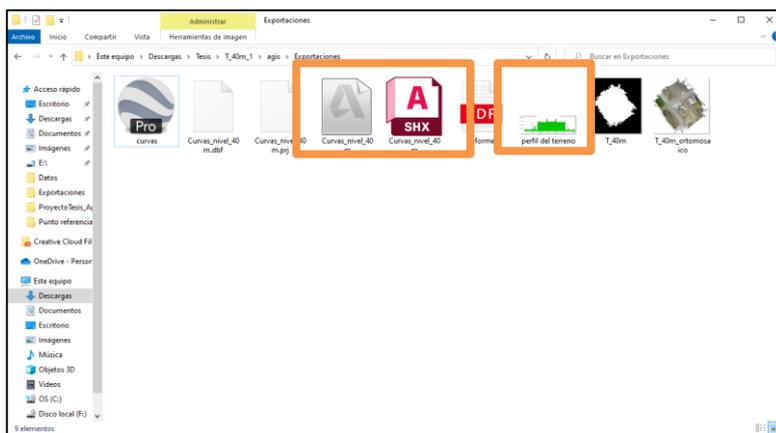


Figura 78. Verificación de archivos exportados Curvas de nivel y Perfil del terreno

Fuente: Autores

3.6.10 Levantamiento topográfico en ArcGis

Para realizar el procesamiento en ArcGis “ArcMap”, se importan los archivos de la sección 3.6.9.1.4 y 3.6.9.2.2 ubicados en el directorio “Exportaciones”. Una vez ejecutado el software, dirigirse al apartado de “Add Data”, como indica la Figura 79 de esta manera cargar los archivos correspondientes.

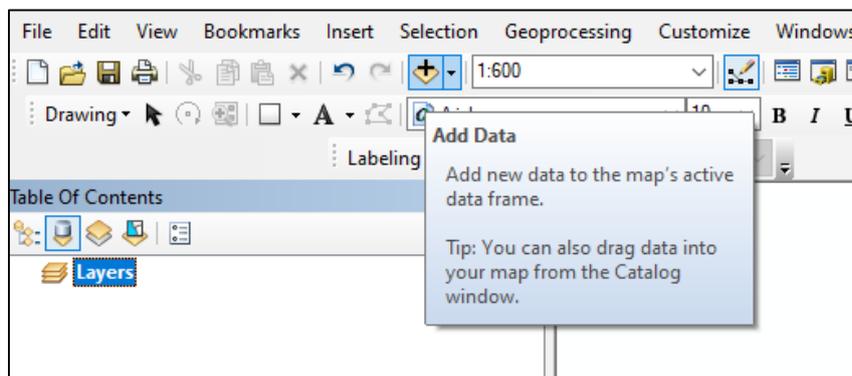


Figura 79. Ubicación de la herramienta “Add Data”

Fuente: Autores

Los archivos importados con los que se trabaja en ArGIS, son: Ortomosaico, MDE y curvas de nivel. Se obtiene un espacio de trabajo, como expresa la Figura 80.

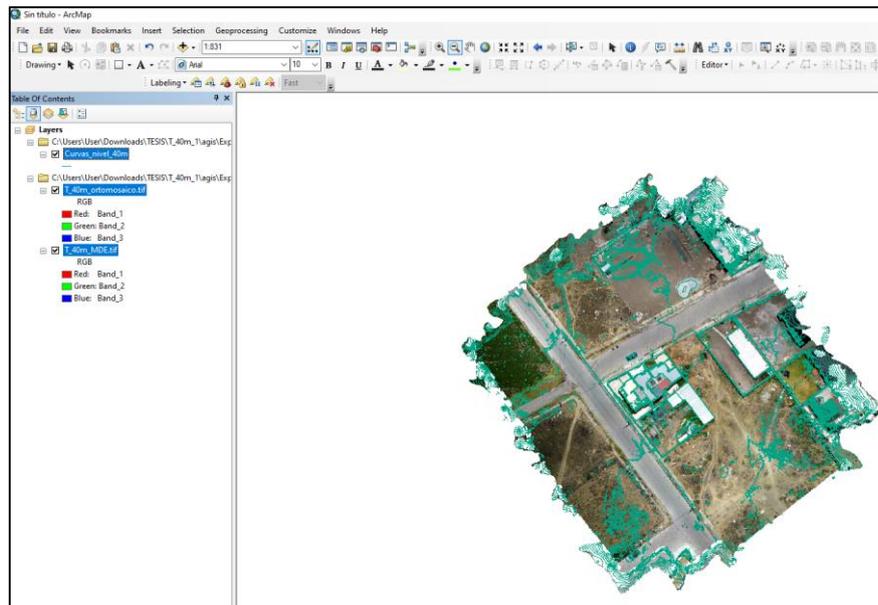


Figura 80. Espacio de trabajo en ArcGis

Fuente: Autores

3.6.10.1 Plano planimétrico

Para crear el plano planimétrico se utiliza la capa de ortomosaico la cual ayuda en la foto análisis en levantamientos topográficos con fotogrametría. Para ello, se procede a trazar un polígono por el área del terreno como se ve en la Figura 81.



Figura 81. Trazado de polígono del terreno

Fuente: Autores

Creado el polígono, se debe convertir a líneas para tener facilidad en la medición del perímetro como se indica en la Figura 82.

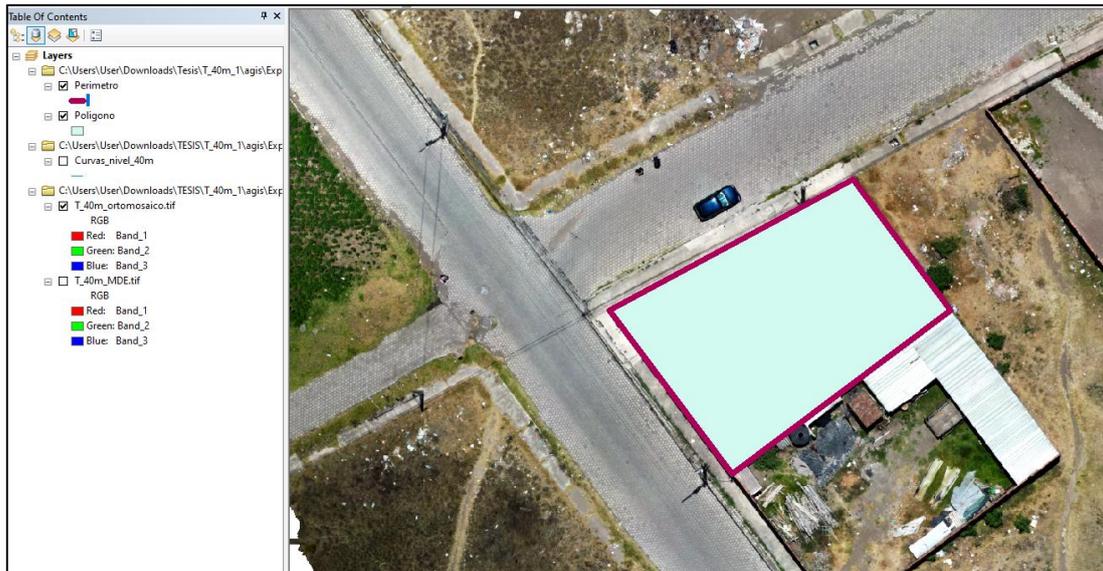


Figura 82. Polígono a líneas (Perímetro)

Fuente: Autores

Con la capa “perímetro”, se ingresa al apartado de “Open Attribute Table”, la cual se procede a crear los campos que contengan: Id, coordenadas de los puntos (X y Y o Este y Sur), Lado (Punto a punto), Vértice, Angulo y Distancia de los vértices detallado en la Figura 83.

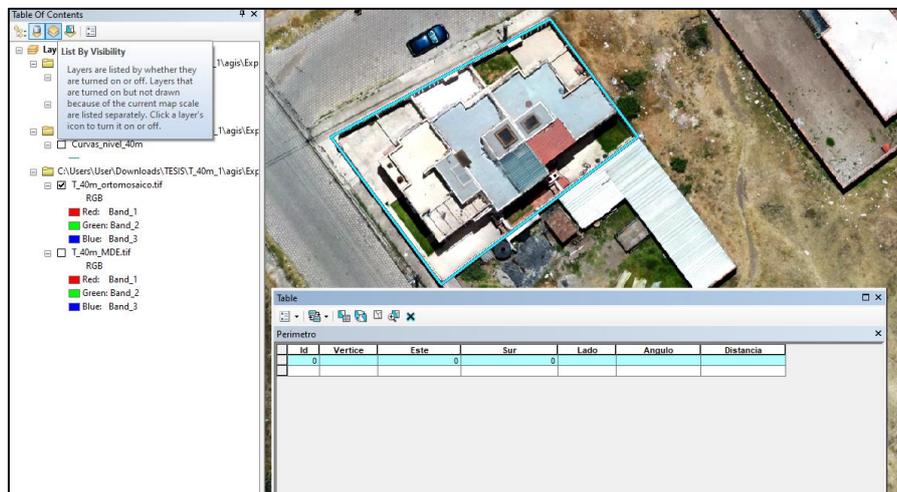


Figura 83. Campos creados

Fuentes: Autores

En la Figura 84, se presenta la herramienta “COGO” que calcula las distancias y los ángulos entre puntos, y con la opción “Calculate Geometry” se calcula los campos Este y Sur en coordenadas UTM, y así llenar toda la tabla de coordenadas.

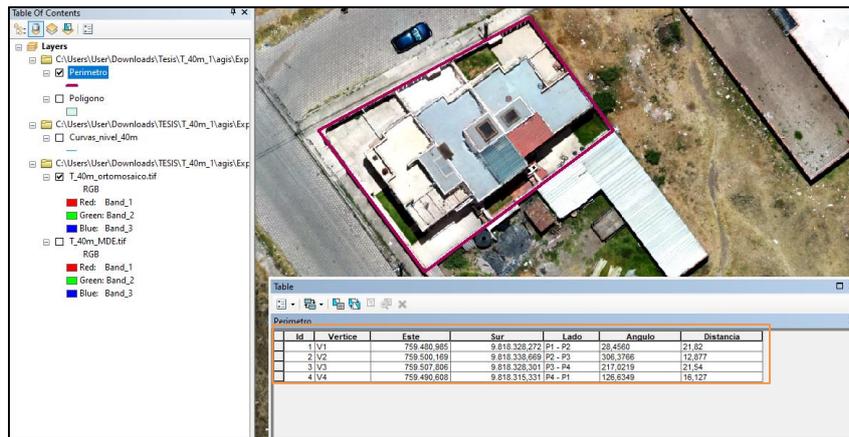


Figura 84. Tabla de resultados del Terreno 40m

Fuente: Autores

En la Figura 85, se visualiza el polígono del terreno, las líneas del perímetro y la tabla de coordenadas, que representa al plano planimétrico con las variables a analizar: Área y Perímetro. Asu vez, contiene los puntos georreferenciados, la distancia que tienen entre ellos y el ángulo con respecto al norte (azimut).

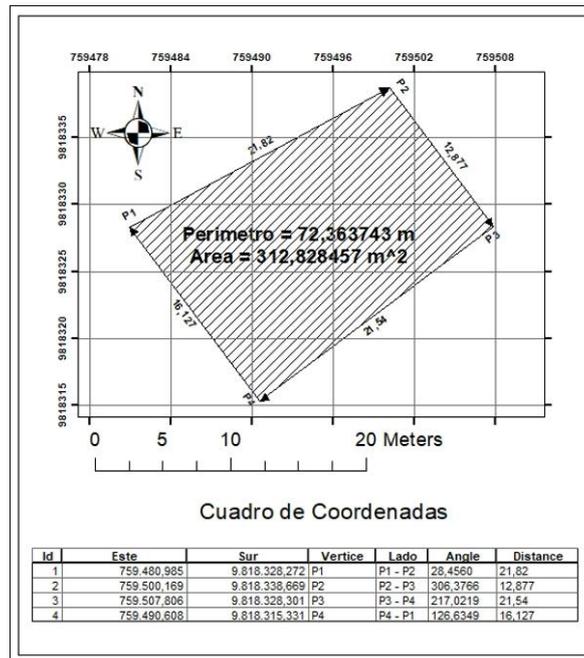


Figura 85. Resultados Planimetría utilizando Fotogrametría con Drones

Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se muestra los resultados obtenidos por el dron cuadricóptero acoplado el sistema de navegación. Para conocer si el dron cuenta con un buen funcionamiento hay que considerar las condiciones climáticas y la hora a lo que se va a volar el dron, ya que son factores que afectan la estabilidad del dron y la calidad de imagen. Además, para evaluar el método de fotogrametría por drones se realiza un análisis estadístico para verificar a que altura es más confiable la adquisición de datos.

4.1 Adquisición de datos por fotogrametría

Se realiza 30 levantamientos topográficos a diferentes alturas: 40 metros, 60 metros y 80 metros, teniendo un total de 90 resultados planimétricos. Se selecciona estas alturas con la finalidad de obtener perspectivas variadas del área de terreno de estudio.

En cada levantamiento topográfico se obtiene: ortomosaico, MDE, curvas de nivel, modelo 3D, perfil del terreno y plano planimétrico, como se presenta en la Figura 86. En el apartado de plano planimétrico se encuentra las variables área y perímetros que se utiliza para el análisis.

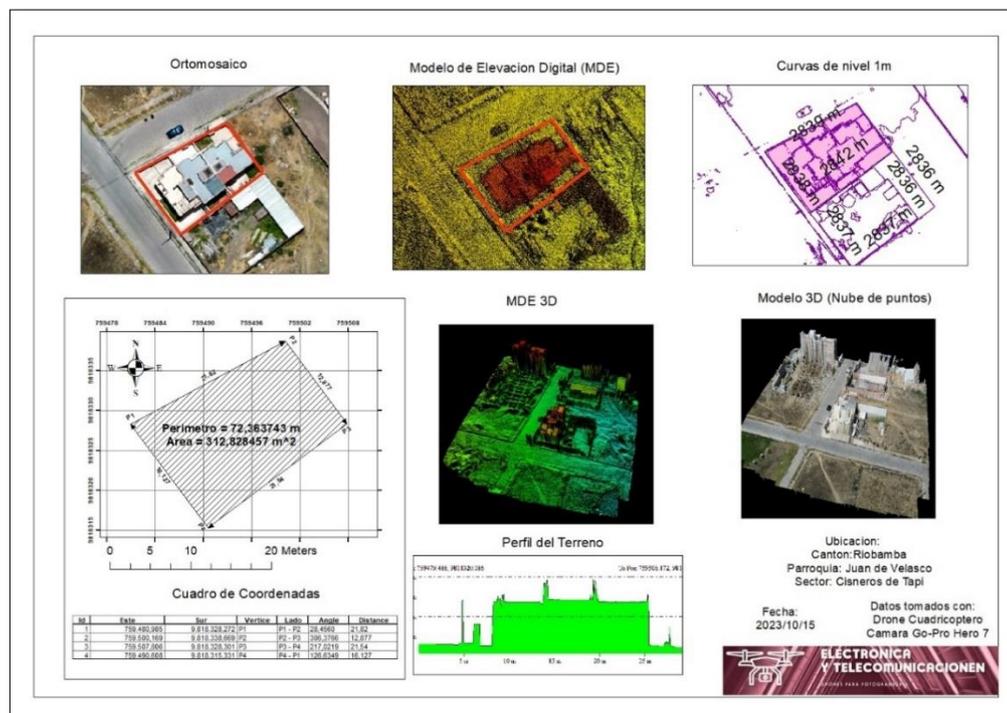


Figura 86. Mapa del Levantamiento topográfico

Fuente: Autores

El cuadro de coordenadas de la Figura 86, ayuda a visualizar el terreno de forma gráfica como está ubicado con respecto a la referencia del terreno de estudio. Para lograr esto, se utiliza la siguiente interfaz como muestra la Figura 87.

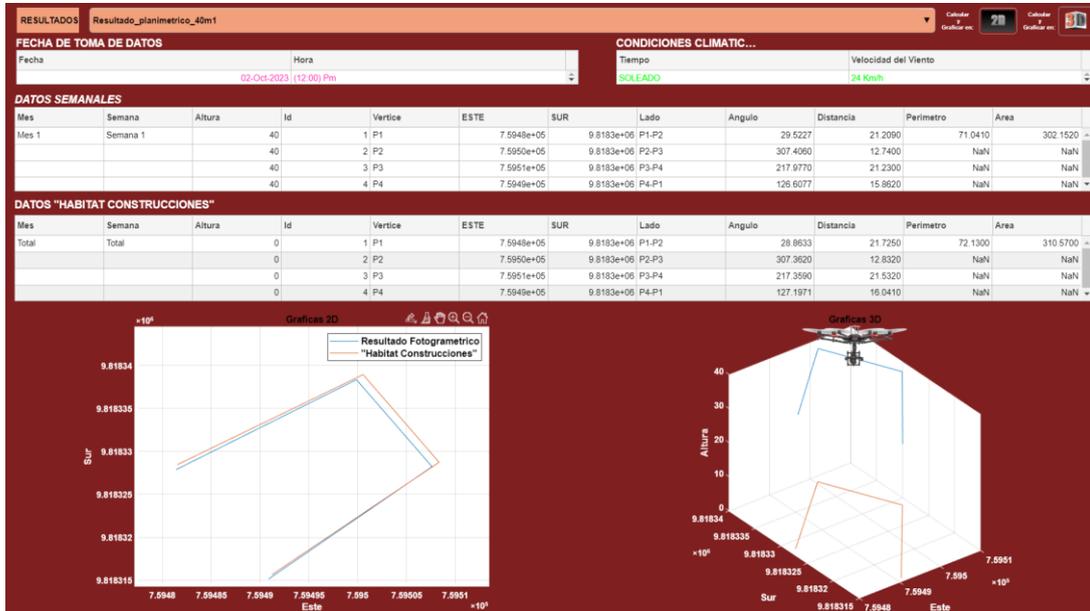


Figura 87. Visualización de resultados planimétricos

Fuente: Autores

4.2 Análisis Estadístico

Para realizar el análisis estadístico del proyecto y saber que tan eficiente es el dron con el sistema de navegación a diferentes alturas, se utiliza el software de “SPSS” con las variables área, perímetro y además se calcula el margen de error que tienen con respecto a los datos de referencia del terreno tomada por el método tradicional como se detalla en la Tabla 5.

Despacho de arquitectura “Hábitat Construcciones”	
Área	310.57 m^2
Perímetro	72.13 m

Tabla 5. Datos de referencia del terreno

Fuente: Hábitat Construcciones

Análisis de la variable área a las alturas de 40 metros, 60 metros y 80 metros.

En la Tabla 6 se puede observar que el promedio de las áreas a una altura de 40 metros es de $308,3646\text{m}^2$, con una desviación típica de $4,07710\text{m}^2$. El promedio de las áreas a una altura de 60 metros es de $314,0738\text{m}^2$, con una desviación típica de $8,81612\text{m}^2$. Y el promedio de las áreas a una altura de 80 metros es de $306,6357\text{m}^2$, con una desviación típica de $12,55005\text{m}^2$.

	Altura 40m (m^2)	Altura 60m (m^2)	Altura 80m (m^2)
Media	308,3646	314,0738	306,6357
D. típica	4,07710	8,81612	12,55005
Mínimo	301,97	291,19	278,03
Máximo	318,64	336,01	342,78

Tabla 6. Análisis descriptivo de las Áreas

Fuente: Autores

Diagrama de cajas

En el diagrama de cajas, al analizar la variable “Áreas” se observa que a la altura de 40 metros existen una mayor agrupación de datos cercanos a su valor promedio que es $308,56\text{m}^2$ con respecto a las demás alturas, además existen valores atípicos los cuales se retiran del análisis (39,40,46,65). Por lo tanto, en la muestra de 40 metros se queda 30 muestras, en la muestra de 60 metros quedan 27, y en la muestra 80 metros quedan 29, como se ve en la Figura 90.

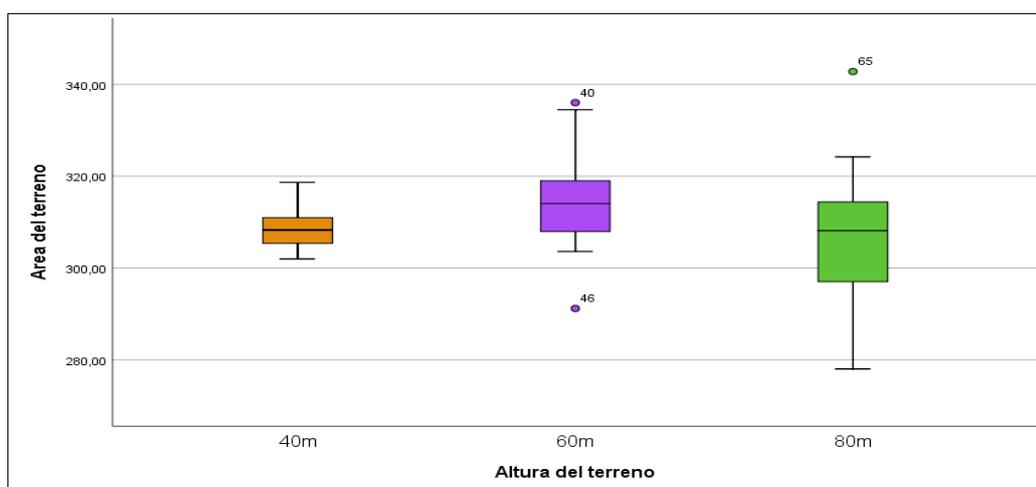


Figura 88. Diagrama de cajas de la variable áreas a la altura de 40m, 60m y 80m.

Fuente: Autores

Histogramas de la variable Área sin datos atípicos

En la Figura 89 se observa que, los datos agrupados a la altura de 40 metros se encuentran en un intervalo de 305m^2 a 310m^2 , en la altura de 60 metros se encuentran en un intervalo de 305m^2 a 320m^2 y, por último, en la altura de 80 metros están dentro del intervalo 290m^2 a 320m^2 .

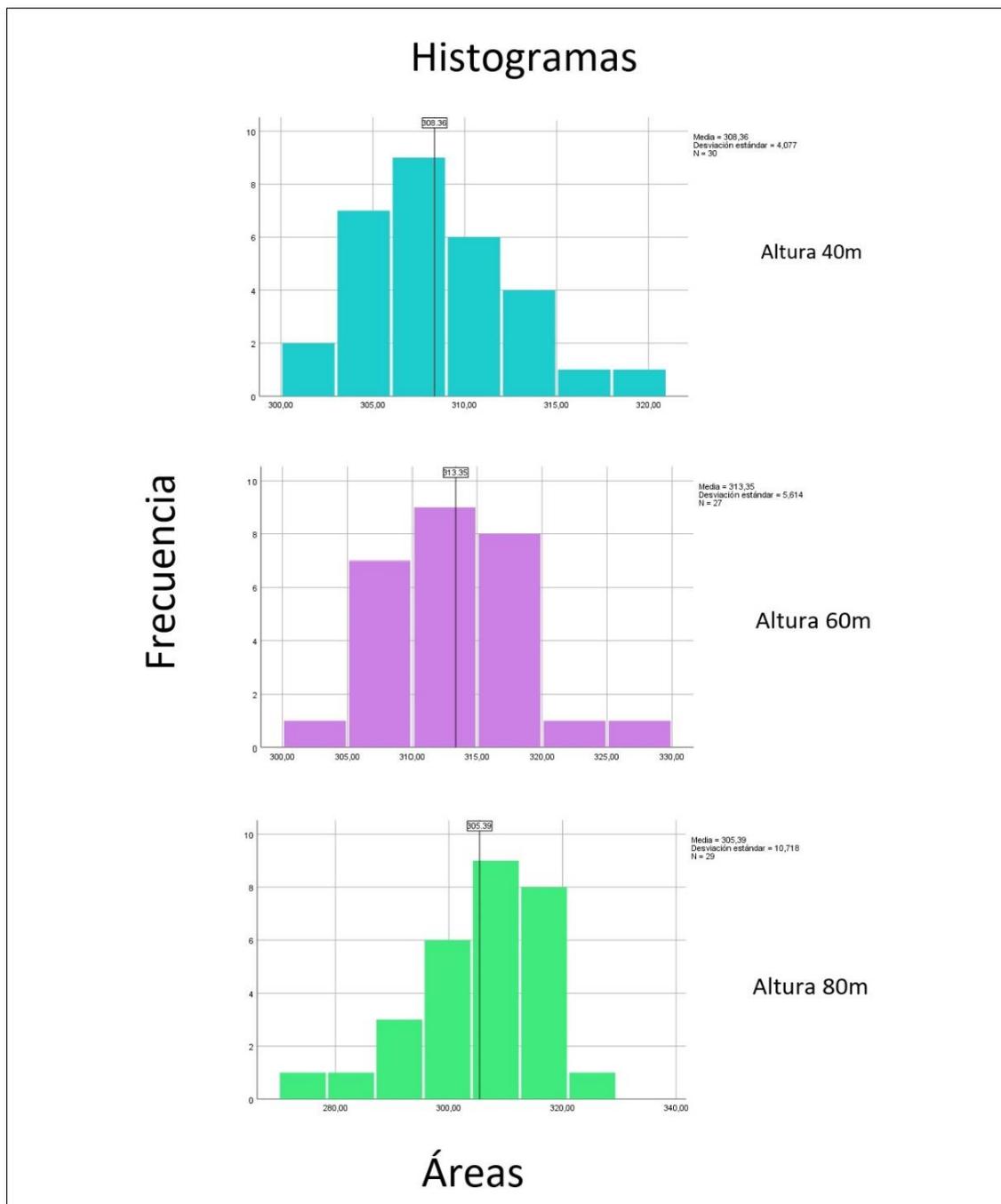


Figura 89. Histograma de la variable área

Fuente: Autores

Diagrama de cajas sin valores atípicos

En el diagrama de cajas de la Figura 90, Figura 90. Diagrama de cajas de la variable áreas a la altura de 40m, 60m y 80m. la variable “Áreas” sin valores atípicos se observa que de igual manera a la altura de 40 metros existen una mayor agrupación de datos cercanos al valor promedio que es 308,56 m² con respecto a las demás alturas.

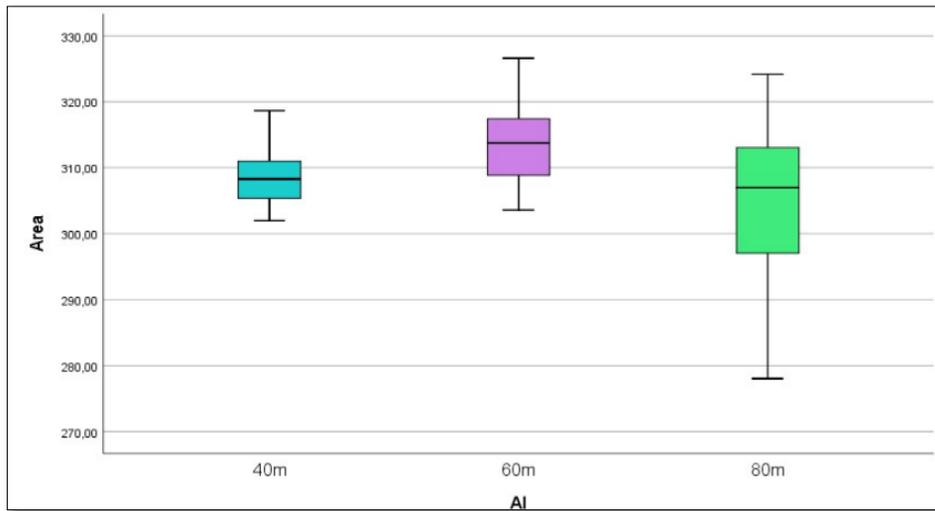


Figura 90. Diagrama de cajas de la variable áreas a la altura de 40m, 60m y 80m.

Fuente: Autores

Pruebas de normalidad de datos con Variable Área sin valores atípicos

Planteamiento de hipótesis

H_0 = El área a las alturas de 40m, 60m y 80m presentan una distribución normal

H_1 = El área a las alturas de 40m, 60m y 80m NO presentan una distribución normal

Al tener por cada altura datos inferiores a 50 muestras es recomendado utilizar la prueba de normalidad Shapiro-Wilk.

En la Tabla 7 se observa que cada una de las muestras presentan una distribución normal, por lo tanto, se aplica **pruebas paramétricas**.

Pruebas de normalidad				
Áreas	Altura	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
	40m	0,973	30	0,615
	60m	0,976	27	0,754
	80m	0,943	29	0,122

Tabla 7. Prueba de normalidad a la altura de 40m, 60m y 80m con la variable áreas sin atípicos

Fuente: Autores

Regla de decisión

Si $p - valor > \alpha$ H_0 No se rechaza

0,615 > 0,05 No se rechaza

0,754 > 0,05 No se rechaza

0,122 > 0,05 No se rechaza

A un nivel de confianza del 95% existe evidencia estadística que las muestras a diferentes alturas (40m, 60m y 80m), presentan una distribución normal, debido a que el p-valor de cada uno de ellos es mayor a 0,05. Por lo tanto, se procedió a aplicar una prueba paramétrica de análisis de varianza para la comparación de medias.

Análisis de varianza (ANOVA)

Para saber cuan eficiente es el valor del área calculado mediante el sistema de navegación Dronelink, respecto al método tradicional planimétrico del cálculo topográfico, se calcula los errores, los mismos que son generados mediante la diferencia del valor calculado del sistema de navegación y el valor de referencia obtenido mediante el método tradicional, dado por el despacho de arquitectura “Hábitat Construcciones”.

Planteamiento de hipótesis

$$H_0: \mu_{40m} = \mu_{60} = \mu_{80m}$$

H₁: Al menos dos son diferentes

H₀: Las medias de los errores de las áreas a diferentes alturas son iguales

H₁: Al menos dos de las medias de los errores de las áreas a diferentes alturas no son iguales

ANOVA					
Errores					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	384,789	2	192,395	6,771	,002
Dentro de grupos	2358,473	83	28,415		
Total	2743,262	85			

Tabla 8. ANOVA a la altura de 40m, 60m y 80m con la variable áreas sin atípicos

Fuente: Autores

Regla de decisión

Si $p - \text{valor} > \alpha$ H_0 No se rechaza
 $0,002 < 0,05$ SE rechaza

Existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, es decir, que al menos dos de las medias de los errores de las áreas a diferentes alturas no son iguales, debido a que el p-valor (0,002) no es mayor que 0,05 con un nivel de confianza del 95%. Se aplicó una prueba de Tukey de comparación de medias.

Comparación de Media de los errores

En la Tabla 9 y en la Tabla 10, se aprecia que la diferencia promedio de los errores entre las alturas de 40 metros y 60 metros son estadísticamente iguales, mientras que para la altura de 80 metros son diferentes.

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Errores						
HSD Tukey						
(I) Altura	(J) Altura	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
40m	60m	-1,24966	1,41407	,652	-4,6243	2,1250
	80m	-4,93530*	1,38817	,002	-8,2481	-1,6225
60m	40m	1,24966	1,41407	,652	-2,1250	4,6243
	80m	-3,68564*	1,42557	,031	-7,0877	-,2835
80m	40m	4,93530*	1,38817	,002	1,6225	8,2481
	60m	3,68564*	1,42557	,031	,2835	7,0877

Tabla 9. Comparaciones Múltiples entre media de errores de la variable Área

Fuente: Autores

Errores			
HSD Tukey ^{a,b}			
Altura	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
40m	30	3,7586	
60m	27	5,0082	
80m	29		8,6939
Sig.		,650	1,000

Tabla 10. Errores a la altura de 40m, 60m y 80m con la variable áreas sin datos atípicos

Fuente: Autores

Grafica de la media de errores de la variable área

En la Figura 91 se puede observar, que el menor promedio de error del valor área tomado con el sistema de navegación “DRONELINK” el cual es de $3,7586\text{m}^2$, lo que indica que a una altura de 40 metros el sistema tiene mayor precisión en la medición para el levantamiento topográfico. Además, a medida que aumenta la altura de medición incrementa el error al calcular el área del terreno.

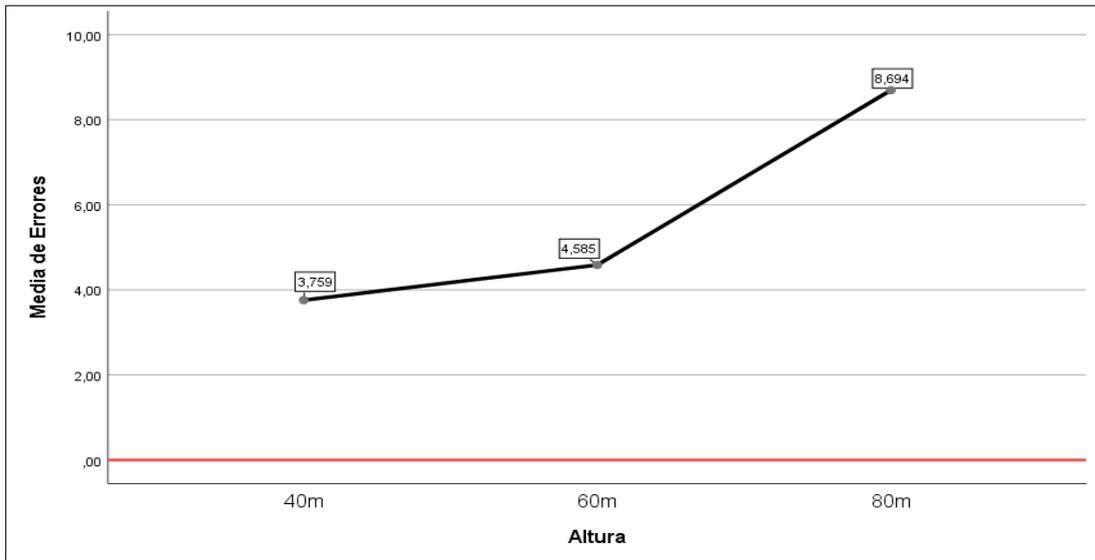


Figura 91. Media de Errores

Fuente: Autores

Análisis de la variable perímetro a las alturas de 40 metros, 60 metros y 80 metros.

En la Tabla 11, se observa que el promedio de los perímetros a una altura de 40m es de 71,9244 metros, con una desviación típica de 0,49238 metros. Además, el promedio a la altura de 60m es de 72,5777 metros, con una desviación típica de 0,95257 metros. Por último, el promedio a una altura de 80m es de 71,6195 metros, con una desviación típica de 1,47145 metros.

	Altura 40m (m)	Altura de 60m (m)	Altura de 80m (m)
Media	71,9244	72,5777	71,6195
D. típica	0,49238	0,95257	1,47145
Mínimo	70,97	69,86	68,23
Máximo	73,04	74,67	75,95

Tabla 11. Análisis descriptivo de los perímetros

Fuente: Autores

Diagrama de Cajas

En el diagrama de cajas la variable “Perímetros” se observa que a la altura de 40m existen una mayor agrupación de datos cercanos al valor promedio que es 71.92 metros con respecto a las demás alturas, además existen valores atípicos (46 y 65) los cuales se retiran del análisis. Por lo tanto, a la altura de 40m quedan 30 muestras, en la de 60m queda 29 muestras y en 80m queda 29 muestras.

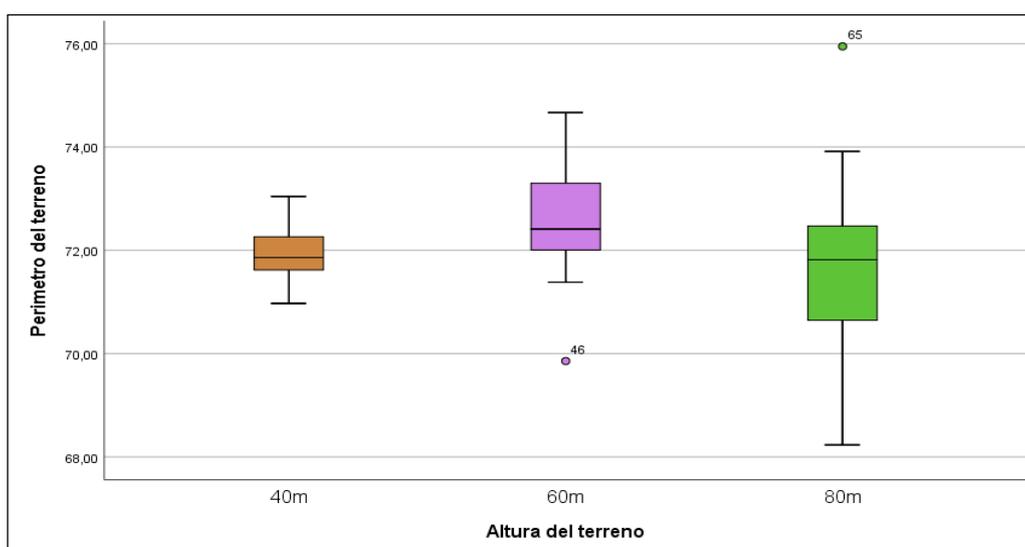


Figura 92. Diagrama de cajas de la variable perímetros a la altura de 40m, 60m y 80m.

Fuente: Autores

Histogramas de la variable perímetro sin valores atípicos

Se observa en la Figura 93, la mayoría de los datos agrupados a la altura de 40m están dentro del intervalo de 71,5 metros a 72,25 metros, a la altura de 60m se encuentran dentro de 71,5 metros a 73,0 metros y, por último, a la altura de 80m están dentro del intervalo 71 metros a 73 metros.

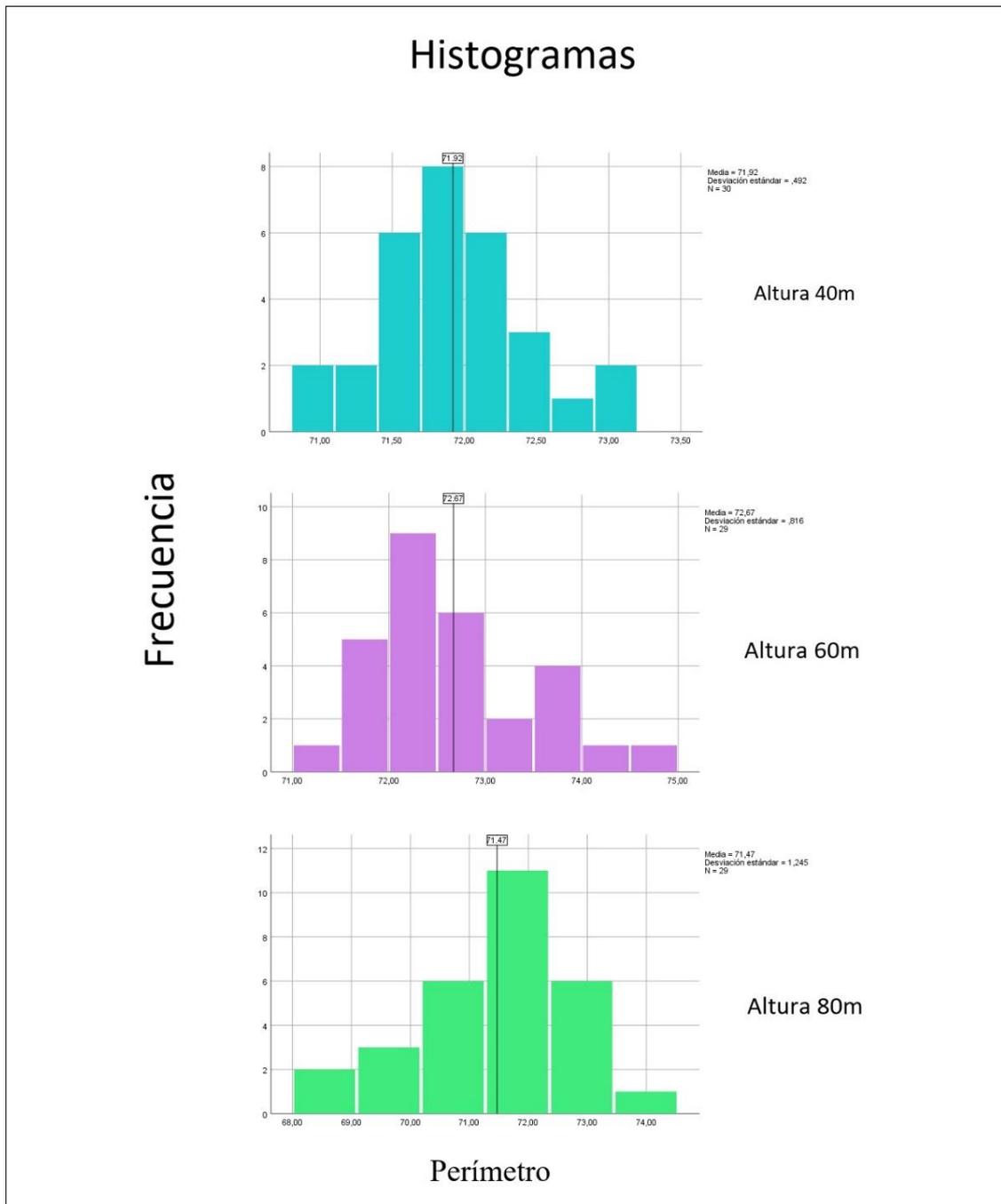


Figura 93. Histograma de la variable perímetro

Fuente: Autores

Diagrama de cajas sin valores atípicos

En la Figura 94, se visualiza el diagrama de cajas de la variable “Perímetros” sin valores atípicos, y de igual manera, indica que a la altura de 40m existen una mayor agrupación de datos cercanos al valor promedio (72.10 metros) con respecto a las demás alturas.

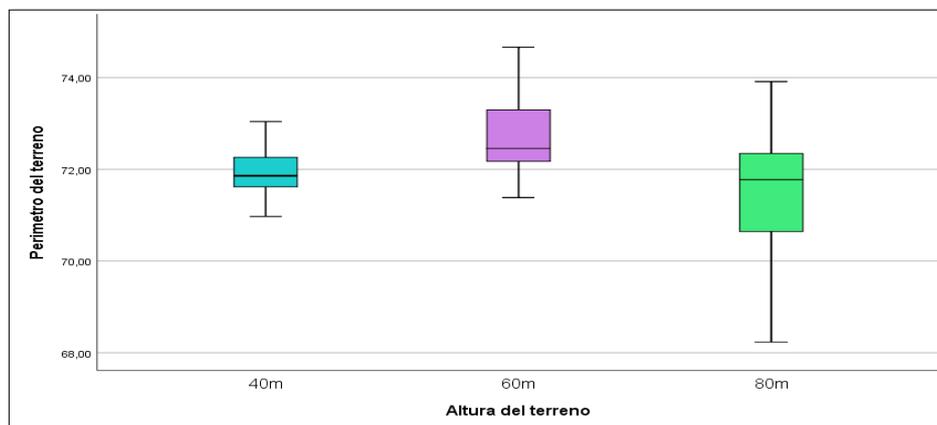


Figura 94. Diagrama de cajas de la variable Perímetros sin Valores atípicos.

Fuente: Autores

Pruebas de normalidad de datos con Variable Perímetros sin valores atípicos

Planteamiento de hipótesis

H_0 = El perímetro a las alturas de 40m, 60m y 80m presentan una distribución normal

H_1 = El perímetro a las alturas de 40m, 60m y 80m NO presentan una distribución normal

Al tener por cada grupo de muestras datos inferiores a 50, se recomienda utilizar la prueba de normalidad Shapiro-Wilk.

En la Tabla 12 indica que cada una de las muestras presentan una distribución normal, por lo tanto, se aplica **pruebas paramétricas**.

Pruebas de normalidad				
Perímetros	Altura	Shapiro-Wilk		
		Estadístic o	gl	Sig.
	40m	0,975	30	0,697
	60m	0,947	27	0,185
	80m	0,950	29	0,185

Tabla 12. Prueba de normalidad a la altura de 40m, 60m y 80m con la variable perímetros sin atípicos

Fuente: Autores

Regla de decisión

Si $p - \text{valor} > \alpha$ H_0 No se rechaza
0,697 > 0,05 No se rechaza
0,185 > 0,05 No se rechaza
0,182 > 0,05 No se rechaza

A un nivel de confianza del 95% existe evidencia estadística que las muestras a diferentes alturas (40m, 60m y 80m), presentan una distribución normal, debido a que el p-valor de cada uno de ellos es mayor a 0,05. Por lo tanto, se procede a aplicar una prueba paramétrica de análisis de varianza para la comparación de medias.

Análisis de varianza (ANOVA)

Para conocer cuan eficiente es el valor del perímetro calculado mediante el sistema de navegación Dronelink, respecto al método tradicional planimétrico del cálculo topográfico, se procede a calcular los errores, los mismos que fueron generados mediante la diferencia del valor calculado del sistema de navegación y el valor de referencia obtenido mediante el método tradicional dado por el estudio de arquitectura “Hábitat Construcciones”.

Planteamiento de hipótesis

$$H_0: \mu_{40m} = \mu_{60} = \mu_{80m}$$

H₁: Al menos dos son diferentes

H₀: Las medias de los errores de los perímetros a diferentes alturas son iguales

H₁: Al menos dos de las medias de los errores de los perímetros a diferentes alturas no son iguales

ANOVA					
Errores					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,985	2	2,492	6,764	,002
Dentro de grupos	30,584	83	0,368		
Total	35,569	85			

Tabla 13. ANOVA a la altura de 40m, 60m y 80m con la variable perímetros sin atípicos

Fuente: Autores

Regla de decisión

Si $p - \text{valor} > \alpha$ H_0 No se rechaza
 $0,002 < 0,05$ SE rechaza

Existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, es decir, que al menos dos de las medias de los errores de los perímetros a diferentes alturas no son iguales, debido a que el p-valor (0,002) no es mayor que 0,05 con un nivel de confianza del 95%. Por lo que, se aplica una prueba de Tukey para la comparación de medias.

Comparación entre media de los errores

En la Tabla 14 y la Tabla 15, se aprecia que la diferencia promedio de los errores de los perímetros entre las alturas de 40m y 60m son estadísticamente iguales, al igual que a las alturas de 60m y 80m, mientras que para la altura de 40m y 80m son diferentes.

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Error						
HSD Tukey						
(I) Al	(J) Al	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
40m	60m	-,40234	,20268	,122	-,8858	,0811
	80m	-,73351*	,20268	,001	-1,2170	-,2500
60m	40m	,40234	,20268	,122	-,0811	,8858
	80m	-,33117	,20439	,243	-,8187	,1564
80m	40m	,73351*	,20268	,001	,2500	1,2170
	60m	,33117	,20439	,243	-,1564	,8187

Tabla 14. Comparaciones Múltiples entre media de errores de la variable perímetro

Fuente: Autores

Error			
HSD Tukey ^{a,b}			
Altura	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
40m	30	,8108	
60m	29	1,2132	1,2132
80m	29		1,5443
Sig.		,123	,239

Tabla 15. Errores a la altura de 40m, 60m y 80m con la variable perímetro sin valores atípicos

Fuente: Autores

Gráfico de las medias de errores de la variable perímetro

En la Figura 95, se puede observar el menor error promedio del valor del perímetro tomado con el sistema de navegación “Dronelink” el cual es de 0,8108 metros lo que indica que a una altura de 40m el sistema tiene mayor precisión en la medición para el levantamiento topográfico. Además, a medida que aumenta la altura de medición incrementa el error al calcular el perímetro del terreno.

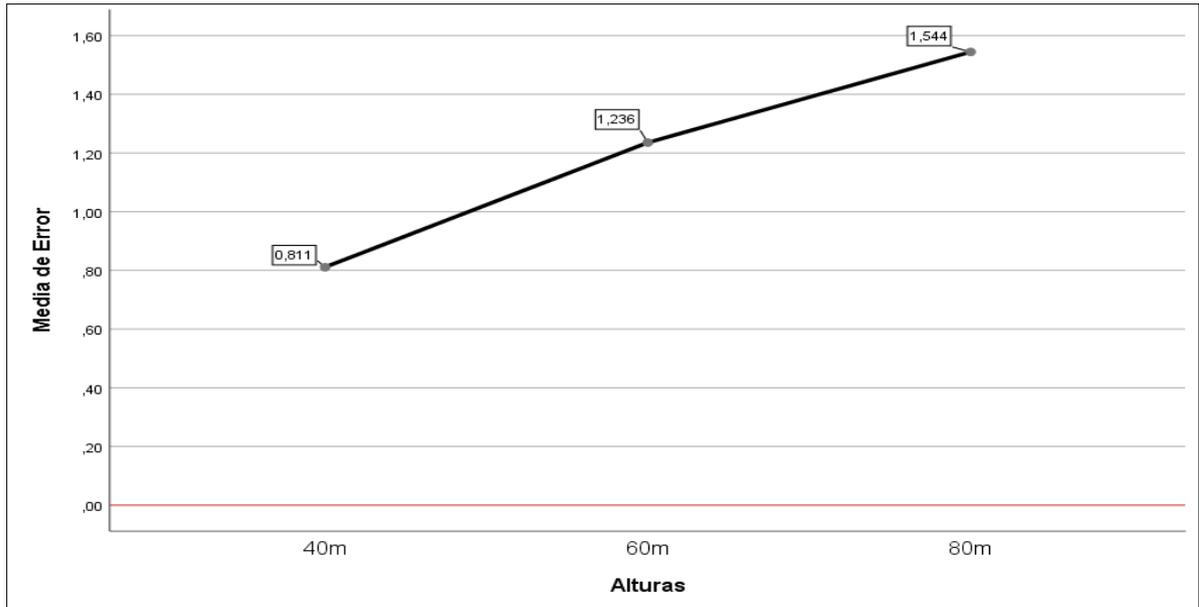


Figura 95. Media de errores

Fuente: Autores

Correlación de variables

En la Tabla 16, la correlación entre las variables de perímetro y área es 0,979 lo que indica que tiene una correlación positiva, fuerte y en sentido directo.

Correlaciones				
		Perímetro del terreno		Área del terreno
Perímetro del terreno	Correlación de Pearson	1		,979**
	Sig. (bilateral)			,000
	N	90		90
Área del terreno	Correlación de Pearson	,979**		1
	Sig. (bilateral)	,000		
	N	90		90

Tabla 16. Correlación entre variable perímetro y área

Fuente: Autores

Como se visualiza en la Figura 96, los resultados de los levantamientos topográficos a una altura de 40 metros se encuentran más agrupados en comparación a las demás alturas.

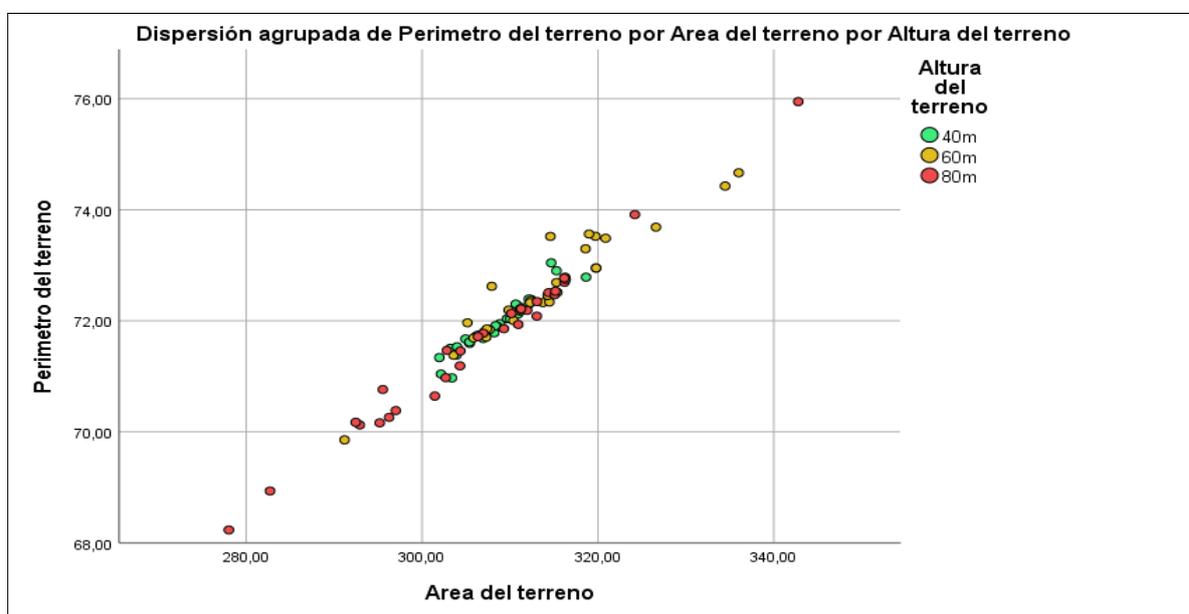


Figura 96. Correlación entre Área y Perímetro en las alturas de 40m, 60m y 80m.

Fuente: Autores

4.3 Discusión

Luego de analizar la parte estadística se pudo determinar que a la altura de 40 metros el dron realiza tomas más precisas y detalladas, observando que a esa altura la variación en la precisión de posicionamiento y desviación es mínima en la trayectoria de vuelo, también tuvo una mejor estabilidad, con mínimas oscilaciones durante el vuelo.

No obstante, si se realiza tomas a alturas menores de 40 metros los resultados pueden ser más precisos, pero se debe tener en cuenta los obstáculos que existen en el terreno de estudio o en sus alrededores ya que pueden existir montañas, líneas de alta tensión, edificios o árboles que incrementa el riesgo de colisiones.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La investigación previa es esencial para la elección de componentes considerando a la tarjeta controladora de vuelo como punto clave para asegurar un buen acople entre el dron cuadricóptero y el sistema de navegación Dronelink obteniendo un prototipo estable capaz de realizar levantamientos topográficos por fotogrametría.
- La integración del sistema de navegación Dronelink en conjunto con el sistema de comunicación Lightbridge ambos incorporados al dron cuadricóptero, han demostrado ser fundamentales para optimizar de manera significativa el tiempo y costo al realizar levantamientos topográficos por fotogrametría con respecto al método tradicional.
- La utilización de softwares de procesamiento de fotografías aéreas tomadas por el dron a diferentes alturas, fueron esenciales para obtener información de forma rápida y precisa sobre los levantamientos topográficos.
- Al adquirir los datos en las alturas de 40m, 60m y 80m, se ha demostrado de manera clara y concisa que a la altura de 40m es más adecuada y confiable para realizar el levantamiento topográfico con el dron, debido a que a esta altura se ha logrado visualizar los resultados con mayor eficiencia, precisión y mejor calidad.
- La interfaz que se implementa en el proyecto ayudó considerablemente a realizar los cálculos del plan de vuelo y la visualización de los levantamientos planimétricos, convirtiéndose en una herramienta útil para futuros proyectos relacionados a fotogrametría con drones.

5.2 Recomendaciones

- A pesar de la investigación previa, se considera realizar una búsqueda exhaustiva de las opciones disponibles en la toma de decisiones para el diseño, ensamblaje e implementación de un dron cuadricóptero. Además, se recomienda estar pendiente de nuevas tecnologías o herramientas relacionadas al campo de fotogrametría con drones.
- El acoplamiento de sistema de navegación Dronelink hacia el Dron utilizando el sistema de comunicación Lightbridge se realizó de manera satisfactoria. Sin embargo, se recomienda estar pendiente de las actualizaciones del firmware y hardware de los dispositivos, además se sugiere realizar la calibración de GPS y la brújula antes de volar el dron.
- Para realizar el procesamiento de imágenes se recomienda ordenadores de gama alta con buen procesador y tarjeta gráfica, ya que esto dependerá el tiempo que se tome procesar las fotografías variando entre media hora a más de diez horas por procesamiento.
- Al realizar levantamientos topográficos por fotogrametría es recomendable realizar una inspección previa del área de estudio para determinar a qué altura es adecuada la toma de datos y así evitar accidentes ocasionados por edificios, arboles de gran altitud, torres de comunicación o líneas de alta tensión. Este último también puede ocasionar interferencia en la comunicación del dron y el radio control.
- El diseño de la interfaz para calcular y visualizar los resultados planimétricos fue útil en este proyecto. No obstante, esta interfaz puede ser mejorada con la incorporación de paquetes de análisis, graficas dinámicas y autenticación de usuarios de manera autónoma que puede llegar a ser una herramienta de gran utilidad en trabajos futuros.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Y. J. Lalangui Jaramillo, ‘Evaluación del modelo digital del terreno (MDT) obtenido mediante técnicas de fotogrametría con el uso de vehículo aéreo no tripulado (UAV) y el sistema GNSS, aplicados a proyectos viales en zonas de mediana vegetación’, Magister en Ingeniería Civil mención Carreteras y Montañas, UTPL, Loja, 2021.
- [2] E. Pino V., ‘Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología’, *Idesia (Arica)*, vol. 37, no. N° 1, pp. 75–84, 2019, doi: 10.4067/s0718-34292019005000402.
- [3] Fernández Barrero, ‘Periodismo y drones. Retos y oportunidades del uso de drones para la narración informativa en España’, *Doxa.comunicación*, no. 26, pp. 35–58, 2018.
- [4] A. A. Del Savio, A. F. Luna Torres, and J. L. Reyes Ñique, ‘Implementación del uso de drones en mapeo topográfico’, *Proyectos de Investigación*, Universidad de Lima, Lima, 2018.
- [5] R. Vidal Benitez, ‘LA APLICACIÓN DE DRONES A LOS SERVICIOS DE VIGILANCIA Y SEGURIDAD PRIVADA’, *Administración de la Seguridad*, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C, 2018.
- [6] Y. Ko, J. Kim, D. G. Duguma, P. V. Astillo, I. You, and G. Pau, ‘Drone Secure Communication Protocol for Future Sensitive Applications in Military Zone’, *Sensors*, vol. 21, no. 6, p. 2057, Mar. 2021, doi: 10.3390/s21062057.
- [7] O. Del Río-Santana, T. Espinoza-Fraire, A. Sáenz-Esqueda, and F. Cortés-Martínez, ‘Levantamientos Topográficos con Drones’, *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*, vol. 1, no. 5, 2019.
- [8] Manuel Ruiz Barroso, ‘MEMORIA DE LAS LABORES DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y FOTOGRAMETRÍA EN LA CAMPAÑA 2019 DE CAPOSOPRANO’, Gela, 2019.
- [9] BR. DIEGO ALONSO MEZA ZAPATA, ‘ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON DIFERENTES ALTURAS DE VUELO Y CANTIDADES DE PUNTOS DE APOYO USANDO DRONES’, Tesis-grado, UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA, Piura, 2022.
- [10] A. P. Cabrera Flor and A. S. Reibán Garnica, ‘Desarrollo e implementación de un sistema de control, para la planificación de trayectorias de vehículos aéreos no

- tripulados, en ambientes interiores controlados’, Tesis-Grado, Universidad del Azuay, Cuenca, 2021.
- [11] M. Oca Mellado and J. F. Porras Mayta, ‘Aplicación de dron para elaborar modelos digitales en frente de minado, Unidad Minera Las Bambas’, Tesis-Grado, Universidad Continental, Cusco, Peru, 2022.
- [12] A. P. Erazo Bravo, ‘Modelación y Control de un Robot Manipulador Aéreo en entornos 3D de Realidad Virtual.’, M.S. Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2019.
- [13] M. J. Jiménez Granizo and J. D. Yamasqui Sarmiento, ‘Evaluación y valoración de levantamientos topográficos mediante aerofotogrametría y métodos tradicionales, utilizando estación total o GPS diferencial’, Tesis-Grado, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba-Ecuador, 2022.
- [14] INTA Copernicus Relay, ‘¿UAV, UAS, RPAS o drones?’, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: https://www.inta.es/INTA/es/blogs/copernicus/BlogEntry_1553849310660#
- [15] Ana Rodriguez, ‘Tipo de drones y sus características’, IberfDron. [Online]. Available: <https://iberfdrone.es/tipos-drones-y-caracteristicas/>
- [16] J. Tacuri and W. Olmedo, ‘Implementación de un dron anticollisiones capaz de seguir una trayectoria pre establecida para la elaboración de un mapa de la tasa de ocupacion vegetal en una zona.’, Tesis-Grado, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba, 2019. [Online]. Available: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/10898/1/108T0282.pdf>
- [17] UMILES, ‘¿Cuáles son las partes de un Dron? Listado completo’, UMILES-GRUP. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://umilesgroup.com/partes-de-un-dron/>
- [18] Isabel Valenzuela, ‘Partes de un dron (cuadricoptero, drone)’, Partesde.com. Accessed: May 17, 2023. [Online]. Available: <https://partesde.com/dron/>
- [19] CIENTEC, ‘¿Qué es un Levantamiento Topográfico?’, INSTRUMENTOS CIENTIFICOS S.A.
- [20] O. Río Santana, F. de J. Gómez Córdova, N. V. López Carrillo, J. A. Saenz Esqueda, and A. T. Espinoza Fraire, ‘Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones’, *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 14, no.

- 2, Feb. 2020, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193963490001>
- [21] B. J. Buleje Vargas and E. W. Chavez Flores, 'Levantamiento topográfico con scanner LiDAR Móvil IP-S2 para el mejoramiento y ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado km 40 Antigua Panamericana Sur', Tesis-Grado, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2022.
- [22] Marta G, 'La tecnología de fotogrametría y su uso en la impresión 3D', 3Dnatives.
- [23] Pix4D, 'Dronelink', Pix4Dcloud Connect. Accessed: Jul. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.pix4d.com/es/producto/pix4dcloud-connect/>
- [24] Dronelink, 'Basic mapping - Map Mission Component intro', Dronelink. Accessed: Nov. 06, 2023. [Online]. Available: <https://support.dronelink.com/hc/en-us/articles/6823062938899-Basic-Mapping-Map-Mission-Component-Intro>
- [25] DJI Enterprise, 'Cómo optimizar la colocación de tus puntos de control terrestre', DJI Enterprise. Accessed: Nov. 06, 2023. [Online]. Available: <https://enterprise-insights.dji.com/es/blog/puntos-de-control-terrestre-drones#:~:text=Los%20puntos%20de%20control%20terrestre%20o%20del%20suelo%20>
- [26] ACRE, 'Software que genera ortofotos Agisoft MetaShape', ACRE Surveying Solutions. Accessed: Nov. 06, 2023. [Online]. Available: <https://grupoacre.pe/catalogo-productos/agisoft-metashape/>
- [27] C. Roncacio, 'Global Mapper Software de mapeo', 2021.
- [28] ESRI, '¿Qué es ArcGIS?', ESRI Official Distributor. [Online]. Available: <https://www.sigsa.info/es-mx/arcgis/about-arcgis/overview>
- [29] Reclu IT, '¿Qué es MatLab?', Reclu iT atraccion de talentos en IT. [Online]. Available: <https://recluit.com/que-es-matlab/>

ANEXOS

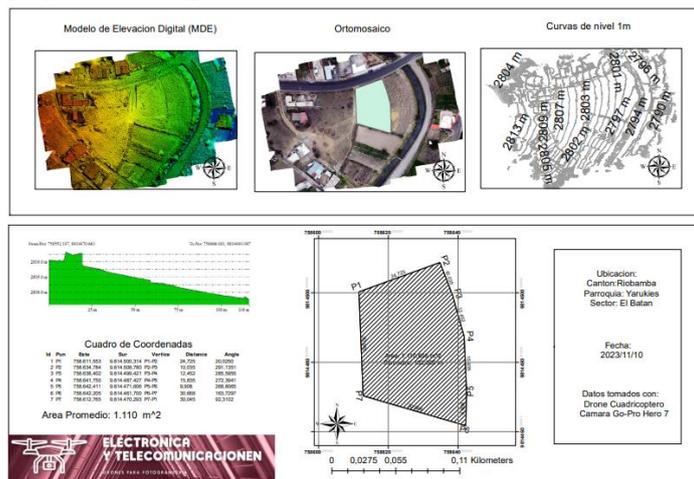
Anexo 1

Planimetría por el método tradicional utilizado para el análisis estadístico.

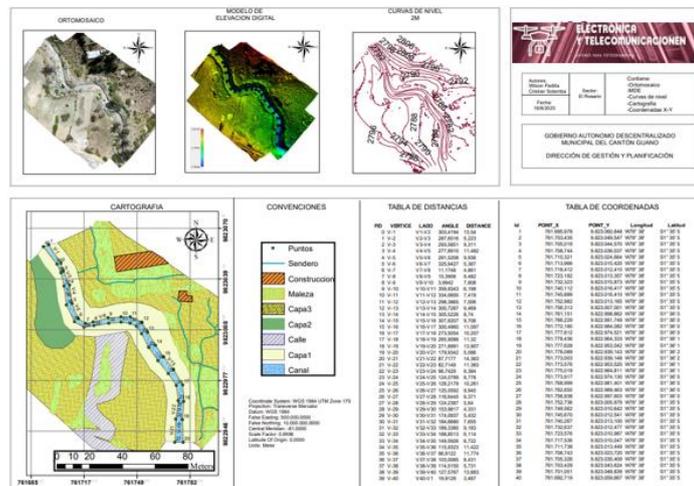


Anexo 2

Levantamientos topográficos de prueba ubicado en el Batán.



Levantamientos topográficos de prueba ubicado en Guano.



Anexo 3

Datos de los 90 planos planimétricos

40 metros de altura

Levantamientos Topograficos	P1				P2				P3				Angulos				Distancia				Perimetro	Area	Columna	Columna	Columna
	Est 1	Sur 1	Est 2	Sur 2	Est 3	Sur 3	Est 4	Sur 4	Est 5	Sur 5	Est 6	Sur 6	Est 7	Sur 7	Est 8	Sur 8	D P1.P1	D P2.P1	D P3.P1	D P4.P1					
40m 1	759481.434	981832.89	759489.869	981833.34	759507.608	981833.28	759490.873	981833.15	29.5237	307.426	217.977	126.677	21.200	12.71	11.23	15.862	71.041	302.15201	0	71.13	0.089				
40m 2	759481.075	981832.96	759499.94	981833.38	759507.766	981833.31	759490.589	981833.12	28.8118	307.247	217.527	126.525	21.551	12.756	11.658	15.869	71.951	300.8677	0	71.13	0.821				
40m 3	759481.020	981832.85	759499.785	981833.17	759507.564	981833.27	759490.631	981833.15	28.8486	308.189	217.887	126.977	21.387	12.587	11.456	15.949	71.979	300.898	0	71.13	0.249				
40m 4	759481.808	981832.91	759500.112	981832.94	759508.274	981833.21	759490.631	981833.15	28.5158	307.897	217.449	124.877	20.852	12.494	11.469	15.796	71.984	301.64409	0	71.13	1.656				
40m 5	759481.583	981832.95	759500.115	981833.71	759507.516	981833.26	759491.816	981833.12	28.3024	307.182	217.061	126.086	20.972	12.244	10.675	15.781	71.983	300.20314	0	71.13	0.158				
40m 6	759480.956	981832.75	759499.582	981833.84	759507.419	981833.28	759490.639	981833.02	29.7324	307.892	218.671	127.023	21.458	12.761	11.488	16.084	71.983	300.20314	0	71.13	0.633				
40m 7	759481.253	981832.97	759500.336	981833.65	759508.042	981833.24	759490.744	981833.17	29.2388	307.079	217.209	126.743	21.87	12.799	11.798	15.855	71.983	300.97911	0	71.13	1.15				
40m 8	759481.385	981832.87	759499.104	981833.45	759507.975	981833.48	759490.645	981833.25	29.5592	308.249	217.426	126.248	21.52	12.717	11.283	15.664	71.974	300.1488	0	71.13	0.594				
40m 9	759481.352	981832.87	759499.972	981833.12	759507.777	981833.28	759490.48	981833.15	29.7688	307.716	217.404	126.775	21.45	12.794	11.278	15.613	71.983	300.49397	0	71.13	0.643				
40m 10	759481.418	981832.76	759500.633	981833.12	759508.339	981833.21	759490.778	981833.41	29.2869	307.651	218.092	125.865	22.094	12.615	11.289	15.963	72.001	315.28559	0	71.13	1.771				
40m 11	759481.251	981832.87	759499.873	981833.49	759507.744	981833.38	759490.546	981833.14	30.1488	307.692	217.737	126.196	20.818	12.873	11.758	15.737	71.981	300.54156	0	71.13	0.771				
40m 12	759481.186	981832.74	759500.137	981833.55	759508.009	981833.27	759490.678	981833.07	29.7126	307.429	217.287	126.846	21.82	12.952	11.782	15.829	72.003	312.44213	0	71.13	1.033				
40m 13	759481.451	981832.77	759500.468	981833.02	759508.075	981833.21	759490.676	981833.04	29.4739	307.588	217.659	127.024	21.844	12.749	11.599	15.566	71.955	302.22265	0	71.13	0.375				
40m 14	759481.253	981832.77	759499.939	981833.43	759507.876	981833.38	759490.579	981833.15	29.7558	308.048	217.5474	126.1507	21.524	12.888	11.816	15.81	72.008	309.67596	0	71.13	0.908				
40m 15	759481.286	981832.75	759500.303	981833.39	759508.009	981833.23	759490.579	981833.14	29.7771	307.197	217.479	126.383	21.91	12.747	11.262	15.664	72.003	310.6641	0	71.13	1.373				
40m 16	759481.087	981832.67	759500.104	981833.43	759507.876	981833.27	759490.579	981833.14	29.5514	307.342	217.632	126.709	21.861	12.813	11.837	15.882	72.003	311.18382	0	71.13	1.283				
40m 17	759481.286	981832.81	759499.939	981833.43	759507.876	981833.27	759490.579	981833.14	29.8464	307.722	217.51	127.781	20.78	12.211	10.266	15.588	71.817	301.87417	0	71.13	0.207				
40m 18	759481.901	981832.81	759499.942	981833.75	759507.483	981833.69	759490.484	981833.16	29.238	306.869	218.081	126.617	21.722	12.568	11.202	15.667	71.8	307.0805	0	71.13	0.87				
40m 19	759481.297	981832.62	759500.189	981833.83	759507.988	981833.26	759490.682	981833.12	29.6719	307.308	218.029	126.584	21.899	12.827	11.713	15.658	72.007	311.14002	0	71.13	1.187				
40m 20	759481.375	981832.77	759500.427	981833.18	759508.007	981833.26	759490.684	981833.08	29.5266	307.029	217.626	126.408	21.665	12.724	11.467	15.748	71.818	307.16077	0	71.13	0.886				
40m 21	759481.099	981832.77	759500.07	981833.58	759508.047	981833.26	759490.823	981833.17	29.4415	307.808	218.912	127.983	21.827	13.043	11.542	15.603	72.018	311.44262	0	71.13	1.088				
40m 22	759481.615	981832.73	759500.427	981833.12	759508.245	981833.24	759490.624	981833.16	29.6667	307.788	218.615	126.722	21.85	12.797	11.725	15.999	71.911	309.97825	0	71.13	0.601				
40m 23	759480.846	981832.88	759500.129	981833.17	759508.007	981833.26	759490.682	981833.08	29.8489	307.14	217.318	127.8145	21.682	13.2	12.607	16.908	72.043	314.68048	0	71.13	1.813				
40m 24	759481.139	981832.81	759500.03	981833.85	759507.899	981833.48	759490.682	981833.18	28.6442	307.338	218.0618	127.017	21.526	12.629	11.372	16.115	71.68	306.46808	0	71.13	0.515				
40m 25	759481.456	981832.62	759500.128	981833.42	759508.047	981833.26	759490.603	981833.15	29.9012	307.579	217.709	126.822	21.855	12.82	11.672	15.764	71.911	308.58102	0	71.13	0.781				
40m 26	759481.297	981832.74	759500.348	981833.48	759507.888	981833.24	759490.801	981833.19	29.8081	307.244	217.851	126.567	21.855	12.603	11.588	15.577	71.813	306.468576	0	71.13	0.843				
40m 27	759481.238	981832.62	759500.07	981833.02	759507.729	981833.14	759490.624	981833.17	29.8133	307.794	218.0219	126.094	21.484	12.503	11.713	15.908	71.818	305.94746	0	71.13	0.488				
40m 28	759481.02	981832.86	759500.069	981833.66	759507.828	981833.34	759491.18	981833.15	29.085	307.297	217.278	128.712	21.789	12.97	11.279	16.077	72.019	310.89284	0	71.13	0.989				
40m 29	759481.314	981832.81	759500.129	981833.17	759508.007	981833.26	759490.682	981833.08	29.8489	307.14	217.318	127.8145	21.682	13.2	12.607	16.908	72.043	314.68048	0	71.13	0.811				
40m 30	759481.12	981832.88	759500.408	981833.81	759507.723	981833.34	759490.805	981833.18	28.7936	305.116	217.703	126.982	21.599	12.716	11.282	16.172	72.034	310.66424	0	71.13	0.594				

60 metros de altura

Levantamientos Topograficos	P1				P2				P3				Angulos				Distancia				Perimetro	Area	Columna	Columna	Columna
	Est 1	Sur 1	Est 2	Sur 2	Est 3	Sur 3	Est 4	Sur 4	Est 5	Sur 5	Est 6	Sur 6	Est 7	Sur 7	Est 8	Sur 8	D P1.P1	D P2.P1	D P3.P1	D P4.P1					
60m 1	759481.276	981832.16	759500.299	981833.56	759507.157	981833.19	759490.529	981833.02	29.2775	307.1452	216.4605	125.8741	22.478	13.493	12.162	13.821	72.913	311.3608	0	71.13	2.783				
60m 2	759481.286	981832.91	759500.709	981833.45	759507.709	981833.29	759490.374	981833.28	28.8464	306.722	217.51	127.781	20.78	12.211	10.266	15.588	68.235	307.6768	0	71.13	0.899				
60m 3	759481.778	981832.96	759500.803	981833.44	759507.813	981833.47	759491.17	981833.15	28.7199	306.674	217.1461	129.4787	21.174	13.635	12.052	16.223	72.084	305.85814	0	71.13	0.954				
60m 4	759481.74	981832.84	759500.085	981833.84	759508.24	981833.31	759491.272	981833.19	28.8537	305.8754	217.7197	125.8121	21.442	13.583	12.471	15.551	72.009	311.740739	0	71.13	4.817				
60m 5	759481.492	981832.29	759500.095	981833.81	759508.046	981833.15	759491.29	981833.54	28.8669	307.6235	217.4256	127.5469	21.76	12.937	11.595	15.967	72.009	310.90819	0	71.13	1.563				
60m 6	759481.93	981832.13	759500.012	981833.42	759508.09	981833.02	759490.455	981833.17	24.35	307.8945	215.3053	127.1293	20.835	13.224	10.852	15.004	68.935	307.82521	0	71.13	1.393				
60m 7	759481.193	981832.68	759500.129	981833.67	759508.418	981833.92	759490.758	981833.18	28.7933	303.8848	215.8047	127.4189	21.919	13.176	11.567	15.1	70.762	318.591532	0	71.13	0.968				
60m 8	759481.181	981832.63	759500.155	981833.48	759508.007	981833.26	759490.682	981833.08	29.8489	307.14	217.318	127.8145	21.682	13.2	12.607	16.908	72.043	314.68048	0	71.13	0.588				
60m 9	759480.713	981832.93	759500.398	981833.62	759507.965	981833.39	759490.661	981833.13	28.5024	305.506	216.8419	125.9747	21.161	12.098	11.13	15.795	70.124	306.00998	0	71.13	1.006				
60m 10	759481.139	981832.81	759500.229	981833.35	759507.789	981833.75	759490.743	981833.17	28.5771	305.481	217.404	126.069	20.775	12.59	11.202	15.874	70.383	316.367314	0	71.13	0.747				
60m 11	759481.34	981832.64	759500.343	981833.59	759508.007	981833.26	759490.624	981833.12	27.9827	306.707	217.1818	124.5408	21.437	12.962	12.491	16.024	71.858	308.839914	0	71.13	0.728				
60m 12	759480.761	981832.95	759500.884	981833.45	759508.418	981833.29	759490.864	981833.41	29.89	307.2451	217.0988	126.7806	21.402	12.818	10.784	15.57	69.784	316.719495	0	71.13	0.899				
60m 13	759481																								

Anexo 4

Condigo en Matlab para visualizar las coordenadas de forma gráfica.

```
function Button_2Pushed(app, event)
    sheetName =app.RESULTADOSDropDown.Value;
    tabla = readtable(['1_Base_Datos' ...
        '.xlsx'], 'Sheet', sheetName);
    app.UITable.Data = tabla;
    tablaoriginal
    =
    readtable('2_Tabla_Despacho_Arquitectura.xlsx', 'Sheet', sheetName);
    app.UITable_2.Data = tablaoriginal;
    tablaclima = readtable('3_Clima.xlsx', 'Sheet', sheetName);
    app.UITable_4.Data = tablaclima;
    tablafecha = readtable('4_Fechas.xlsx', 'Sheet', sheetName);
    app.UITable_3.Data = tablafecha;
    tabla.Properties.VariableNames{1}='Mes';
    tabla.Properties.VariableNames{2}='Semana';
    tabla.Properties.VariableNames{3}='Altura';
    tabla.Properties.VariableNames{4}='Id';
    tabla.Properties.VariableNames{5}='Vertice';
    tabla.Properties.VariableNames{6}='Este';
    tabla.Properties.VariableNames{7}='Sur';
    tabla.Properties.VariableNames{8}='Lado';
    tabla.Properties.VariableNames{9}='Angle';
    tabla.Properties.VariableNames{10}='Distance';
    tabla.Properties.VariableNames{11}='Perimetro';
    tabla.Properties.VariableNames{12}='Area';
    tablaoriginal.Properties.VariableNames{1}='Mes';
    tablaoriginal.Properties.VariableNames{2}='Semana';
    tablaoriginal.Properties.VariableNames{3}='Altura';
    tablaoriginal.Properties.VariableNames{4}='Id';
    tablaoriginal.Properties.VariableNames{5}='Vertice';
    tablaoriginal.Properties.VariableNames{6}='Este';
    tablaoriginal.Properties.VariableNames{7}='Sur';
    tablaoriginal.Properties.VariableNames{8}='Lado';
    tablaoriginal.Properties.VariableNames{9}='Angle';
    tablaoriginal.Properties.VariableNames{10}='Distance';
    tablaoriginal.Properties.VariableNames{11}='Perimetro';
    tablaoriginal.Properties.VariableNames{12}='Area';
    tablaclima.Properties.VariableNames{1}='Fecha';
    tablaclima.Properties.VariableNames{2}='Hora';
    tablafecha.Properties.VariableNames{1}='Tiempo';
    tablafecha.Properties.VariableNames{2}='Velocidad del Viento';
    x=tabla.Este;y=tabla.Sur;z=tabla.Altura;
    x1=tablaoriginal.Este;y1=tablaoriginal.Sur;
    z1=tablaoriginal.Altura;
    plot3(app.UIAxes3,x,y,z ,x1,y1,z1);
    app.UIAxes3.XGrid = 'On';
    app.UIAxes3.YGrid = 'On';

end
```

Anexo 5

Condigo en Matlab para los cálculos del plan de vuelo.

```
function CalcularButtonPushed(app, event)

    %Datos iniciales
    h = str2num(app.AlturadevuelomEditField.Value);
    rt = str2num(app.RecubrimientolateralEditField.Value);
    rl = str2num(app.RecubrimientolongitudinalEditField.Value);
    t = str2num(app.IntervalodetiemposEditField.Value);

    % Caracteristicas de la camara
    df = str2double(app.DistanciafocaldelacamaraFRmmEditField.Value);
    an_s =
str2double(app.AnchodelsensordelacamaraSwmmEditField.Value);
    al_i =
str2num(app.AlturadelaimagenenPxlesimHpxelEditField.Value);
    an_i =
str2num(app.AnchodelaimagenenPxlesimWpxelEditField.Value);

    %Calculos
    h_mm = h*1000;
    escala = round(h_mm/df);
    app.EscalaEditField.Value= "1:"+num2str(escala);

    gsd = (an_s*h*100)/(df*an_i);
    app.GSDcmpixelEditField.Value = num2str(round(gsd,2));

    an_h = gsd*an_i/100;
    app.AnchodelahuelladelterrenomEditField.Value =
num2str(round(an_h));

    al_h = gsd*al_i/100;
    app.AlturadelahuelladelterrenomEditField.Value =
num2str(round(al_h));

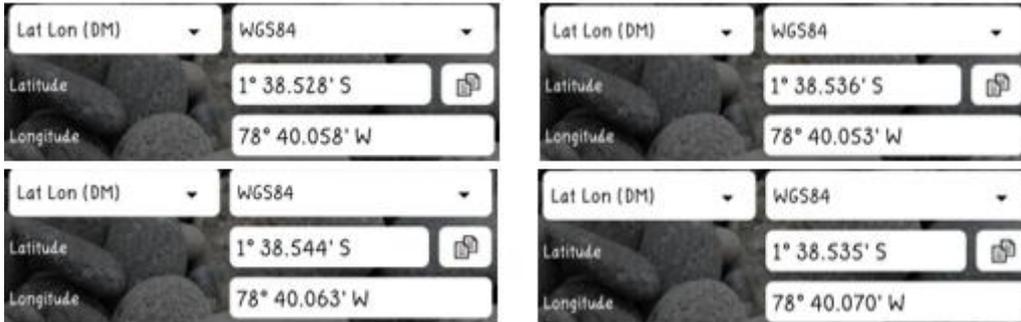
    dlv = an_h*(1-(rt/100));
    app.DistanciaentrelneasdevuelomEditField.Value =
num2str(round(dlv,1));

    disf = al_h*(1-(rl/100));
    app.DistanciaentreFotografiamEditField.Value =
num2str(round(disf,1));

    vel = (disf/t)*(3600/1000);
    app.VelocidaddevueloKmhEditField.Value = num2str(round(vel));
end
```

Anexo 6

Puntos de control en coordenadas WGS84.



Anexo 7

Especificaciones técnicas del dron ensamblado

Vuelo Autónomo	35 a 40 min
Material	Fibra de carbono
Gimbal	3 ejes
Cámara	GoPro Hero-11
Peso total	2.9 Kg
Dimensiones	Diámetro: 58 cm Alto: 29 cm
Esc's	40 amperios
Voltaje de alimentación	14.8 V
Batería	5000mAh a 4 celdas
Aspas	10 pulgadas
Radio de operación Con control remoto normal	500 m
Rango de operación con el sistema de comunicación Lightbridge.	5000m
Modelo de despegue	Vertical

Anexo 8

Carta de aval entregado por el despacho de arquitectura “Hábitat construcciones”, donde expresa el trabajo en conjunto en el proyecto, donde ayudaron con la información referente a los levantamientos topográficos y planimetrías.

Carta de Aval



habitat
construcciones

Señor(a).
UNACH
Universidad Nacional de Chimborazo
Faculta de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones

Riobamba, Ecuador. 20 de diciembre 2023.

El despacho de arquitectura “**Habitat Construcciones**” se complace en emitir la respectiva carta de aval a los señores: **PADILLA BASTIDAS WILSON JAVIER** con C.I: **060444116-2** y **SOTAMBA BERMEJO CRISTIAN LUIS** con C.I: **030280820-9** estudiantes de la carrera **Electrónica y Telecomunicaciones** de la **Universidad Nacional de Chimborazo**. Por haber realizado el proyecto junto al despacho de arquitectura titulado “**Aplicación y análisis comparativo del sistema de navegación Dronelink en Vehículos Aéreos no Tripulados para levantamiento Topográfico (Fotogrametría) con el método tradicional (planimétrico) en el sector Cisneros de Tapi, Riobamba**”, realizado desde el 10 marzo del 2023 al 20 de diciembre del 2023.

La participación de nuestro despacho en este proyecto nos comprometió a guiar, multiplicar y aplicar conocimientos relacionados a fotogrametría, manejo de softwares y levantamientos perimétricos que fueron de gran ayuda para que el proyecto se culminara con éxito.

Atentamente,



**MARIELINGTON EDUARDO
RODRIGUEZ VALLEJO**

.....
Despacho

Habitat Construcciones

Anexo 9

Informe realizado por Agisoft sobre el procesamiento de imágenes de un levantamiento topográfico.

Terreno_40m

Informe de procesamiento

28 November 2023



Datos del levantamiento

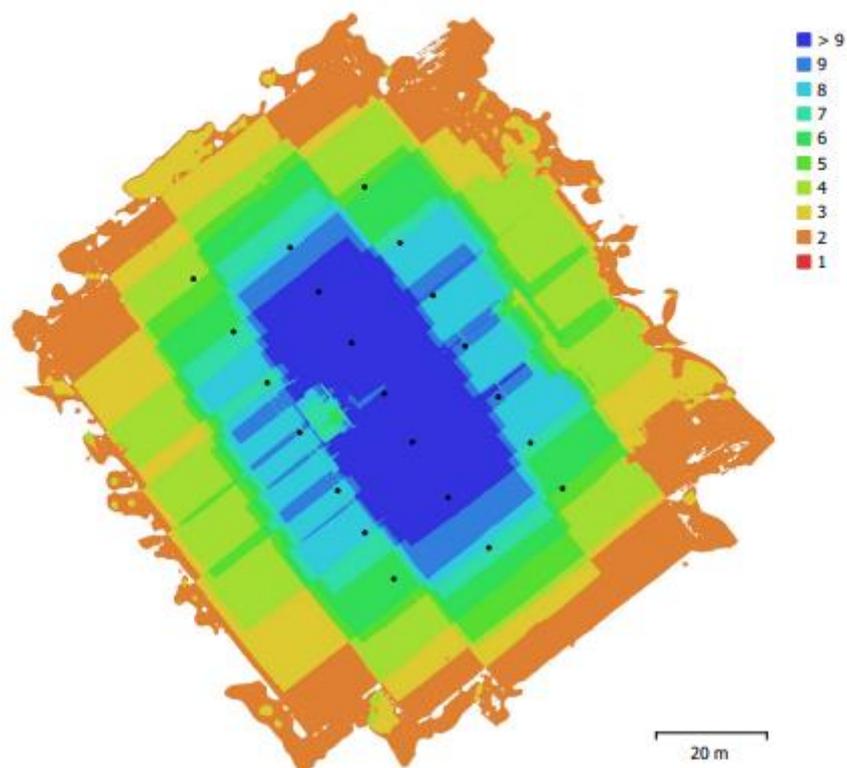


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 21	Imágenes alineadas: 21
Altitud media de vuelo: 46.5 m	Puntos de paso: 37,785
Resolución en terreno: 1.5 cm/pix	Proyecciones: 127,461
Área cubierta: 0.0107 km ²	Error de reproyección: 0.739 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC3582 (6.72mm)	4032 x 3024	6.72 mm	2.4 x 2.4 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

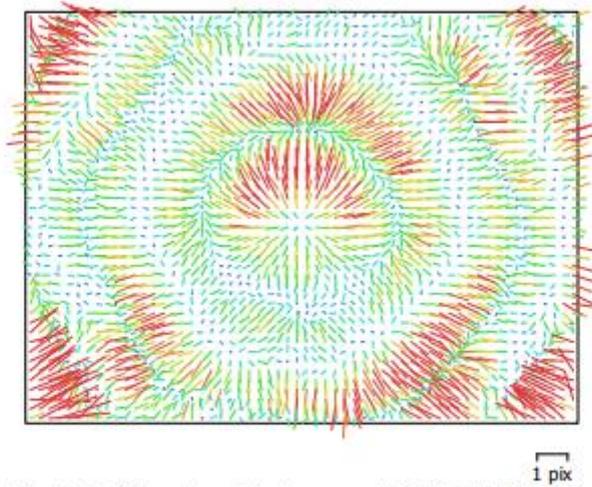


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC3582 (6.72mm).

FC3582 (6.72mm)

21 imágenes

Tipo
Cuadro

Resolución
4032 x 3024

Distancia focal
6.72 mm

Tamaño de píxel
2.4 x 2.4 micras

	Valor	Error	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	2795.69								
Cx	-16.4895	0.17	1.00	0.08	0.08	-0.08	0.09	0.44	0.02
Cy	-6.50972	0.12		1.00	0.03	-0.00	0.00	0.00	0.53
K1	0.0991215	0.0007			1.00	-0.63	0.70	-0.01	0.05
K2	-0.200894	0.00052				1.00	-0.98	-0.01	-0.00
K3	0.155137	0.00054					1.00	0.01	0.01
P1	-0.000482734	1e-05						1.00	0.01
P2	-0.000203845	9.1e-06							1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Puntos de control terrestre



Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
4	0.821121	1.01043	2.43256	1.302	2.75909

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
Pt1	-0.901026	1.5969	2.58751	3.1713	1.275 (12)
Pt2	-0.0688879	-0.998784	-2.46255	2.65828	1.379 (10)
Pt3	-0.354686	0.123646	2.27229	2.30312	1.882 (7)
Pt4	1.3246	-0.721761	-2.39725	2.83237	1.531 (8)
Total	0.821121	1.01043	2.43256	2.75909	1.490

Tabla 4. Puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

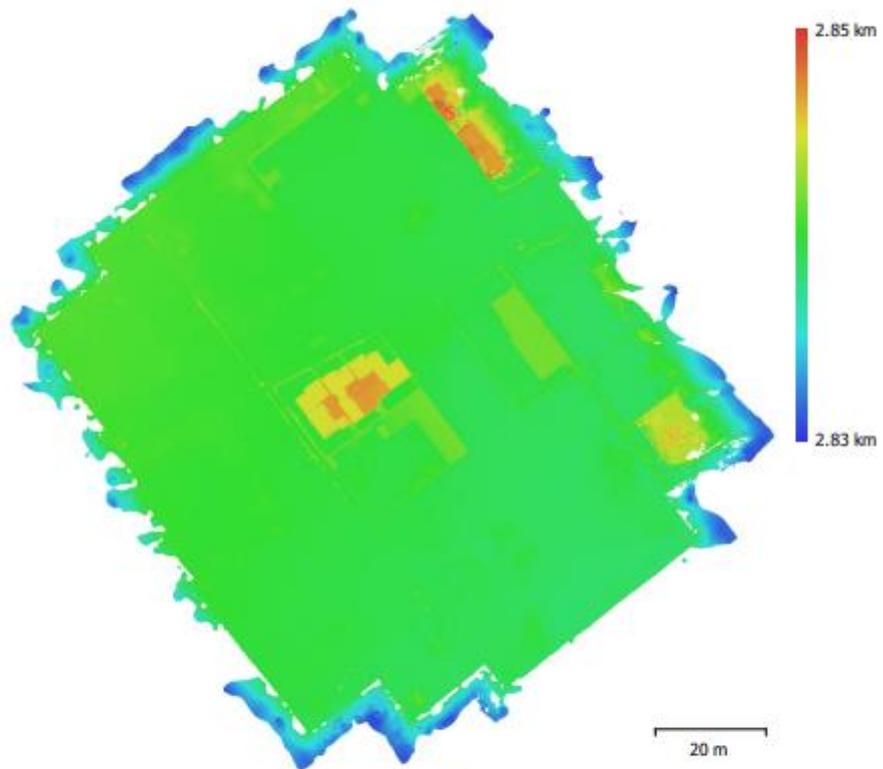


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 1.5 cm/pix
Densidad de puntos: 0.443 puntos/cm²

Parámetros de procesamiento

Generales

Imágenes	21
Imágenes orientadas	21
Marcadores	4
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	37,785 de 38,989
RMS error de reproyección	0.418387 (0.738885 pix)
Error de reproyección máximo	1.37924 (10.1686 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	2.05593 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	3.41696

Parámetros de orientación

Precisión	Máxima
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	60,000
Puntos de paso por foto	6,000
Exclude stationary tie points	No
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de emparejamientos	31 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	361.25 MB
Tiempo de orientación	52 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	131.00 MB

Parámetros de optimización

Parámetros	cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	3 segundos
Versión del programa	1.7.0.11701
Tamaño de archivo	3.01 MB

Mapas de profundidad

Número	21
--------	----

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Extra alta
Nivel de filtrado	Agresivo
Tiempo de procesamiento	2 minutos 18 segundos
Tamaño de archivo	390.04 MB

Nube de puntos densa

Puntos	54,668,467
Colores de puntos	3 bandas, uint8

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Extra alta
Nivel de filtrado	Agresivo
Tiempo de procesamiento	2 minutos 18 segundos

Parámetros de generación de la nube densa

Tiempo de procesamiento	11 minutos 43 segundos
Versión del programa	1.7.0.11701

Tamaño de archivo	795.53 MB
Modelo	
Caras	10,933,692
Vértices	5,485,596
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Textura	4,096 x 4,096, 4 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Extra alta
Nivel de filtrado	Agresivo
Tiempo de procesamiento	2 minutos 18 segundos
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Arbitrario
Origen de datos	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Máscaras volumétricas estrictas	No
Tiempo de procesamiento	2 horas 26 minutos
Uso de memoria	11.06 GB
Parámetros de texturizado	
Modo de mapeado	Genérico
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	4,096
Habilitar el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	Sí
Tiempo de mapeado en UV	15 minutos 51 segundos
uso de memoria para mapa UV	2.29 GB
Tiempo de mezcla	1 minuto 18 segundos
Uso de memoria durante la mezcla	3.27 GB
Versión del programa	1.7.0.11701
Tamaño de archivo	489.80 MB
MDE	
Tamaño	11,133 x 11,568
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Nube de puntos densa
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	2 minutos 46 segundos
Uso de memoria	309.03 MB
Versión del programa	1.7.0.11701
Tamaño de archivo	125.22 MB
Ortomosaico	
Tamaño	9,150 x 9,216
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Colores	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	MDE
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	Sí
Tiempo de procesamiento	5 minutos 59 segundos
Uso de memoria	4.24 GB
Versión del programa	1.7.0.11701
Tamaño de archivo	308.46 MB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	1.7.0 build 11701
OS	Windows 64 bit
RAM	15.73 GB
CPU	11th Gen Intel(R) Core(TM) i5-11260H @ 2.60GHz
GPU(X)	NVIDIA GeForce RTX 3050 Ti Laptop GPU