

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE UN LEVANTAMIENTO CON DRONE
TOPOGRÁFICO Y AEROFOTOGRAMÉTRICO DE VÍAS URBANAS.
APLICACIÓN AVENIDA INTEGRACIÓN EN LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por:

FABIO MEZZA ATAHUICHI

Proyecto de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
“JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I / 2025

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE UN LEVANTAMIENTO CON DRONE
TOPOGRÁFICO Y AEROFOTOGRAMÉTRICO DE VÍAS URBANAS.
APLICACIÓN AVENIDA INTEGRACIÓN EN LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por:

FABIO MEZZA ATAHUICHI

Propuesta elaborada en la signatura:

CIV-502 PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL II

SEMESTRE I / 2025

TARIJA – BOLIVIA

Dedicatorias

A mis queridos padres, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional y constante apoyo en cada etapa de mi formación.

A mi pareja, por su compañía, comprensión y aliento en cada momento del proceso.

A mis compañeros del Centro de Investigación del Agua (CIAGUA), por el trabajo compartido, la colaboración y el compromiso durante esta etapa.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación	2
1.3 Planteamiento del problema.....	2
1.4 Objetivos de Proyecto de Aplicación.....	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 Alcance del estudio de aplicación.....	3
1.6 Unidades de estudio	4
1.7 Decision muestral	4
2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	5
2.1 Historia del Levantamiento Topográfico	5
2.2 Creación de Mapas y Cartografía	6
2.3 Planificación y Diseño de Proyectos	7
2.4 Control de Calidad y Monitoreo	7
2.5 Estudios Ambientales y Gestión del Territorio.....	7
2.6 Análisis Geoespacial.....	7
2.7 Métodos Tradicionales de Levantamiento Topográfico	8
2.7.1 Poligonación	8
2.7.2 Radiación	8
2.7.3 Triangulación.....	9
2.7.4 Trilateración.....	9
2.7.5 Nivelación.....	9
2.8 Importancia del Levantamiento Topográfico en Ingeniería y Cartografía	9

2.9	Planificación de Proyectos de Ingeniería.....	9
2.10	Diseño de Infraestructuras	10
2.11	Gestión del Territorio.....	10
2.12	Control de Calidad y Monitoreo	10
2.13	Estudios Ambientales	11
2.14	Historia de los drones	11
2.14.1	Primeros Conceptos y Experimentos (Siglos XIX y XX)	11
2.14.2	Segunda Guerra Mundial.....	12
2.14.3	Guerra Fría y Desarrollo Militar.....	12
2.14.4	Drones Modernos	12
2.14.5	Uso Civil y Comercial	13
2.15	Regulación y Normativas.....	13
2.16	Innovaciones Futuras	13
2.16.1	Evolución de los Drones en Topografía	13
2.16.2	Orígenes Militares y Recreativos	14
2.16.3	Adopción en Topografía y Cartografía.....	14
2.16.4	Desarrollo de Sensores Especializados.....	15
2.16.5	Avances en la Autonomía y la Estabilidad	15
2.16.6	Integración de Software GIS y de Procesamiento de Imágenes.....	15
2.17	Ventajas y Limitaciones del Uso de Drones en Topografía	15
2.17.1	Eficiencia y Velocidad.....	15
2.17.2	Acceso a Áreas Remotas o Peligrosas	15
2.17.3	Flexibilidad y Adaptabilidad	16
2.17.4	Precisión y Resolución	16

2.17.5	Costo Efectividad	16
2.18	Limitaciones.....	16
2.18.1	Limitaciones de Altitud y Condiciones Climáticas	16
2.18.2	Precisión Vertical Limitada	16
2.18.3	Requerimientos de Capacitación y Certificación	17
2.18.4	Vulnerabilidad a Interferencias Electromagnéticas	17
2.18.5	Privacidad y Consideraciones Legales	17
2.19	Componentes Esenciales de un Dron para Topografía.....	17
2.19.1	Plataforma de Vuelo (Airframe).....	17
2.19.2	Controlador de Vuelo (Flight Controller).....	17
2.19.3	Sistema de Navegación y Posicionamiento	18
2.19.4	Propulsión (Motores y Hélices).....	18
2.19.5	Sistema de Alimentación (Batería).....	18
2.19.6	Carga Útil (Payload).....	18
2.19.7	Sistema de Comunicación y Control Remoto.....	18
2.19.8	Sistema de Estabilización (Gimbal)	19
2.20	Características y Funcionalidades del Dron Phantom 4 RTK	19
2.20.1	Sistema RTK Integrado	19
2.20.2	Cámara de Alta Resolución	19
2.20.3	Sistema de Evitación de Obstáculos.....	20
2.20.4	Modos de Vuelo Inteligentes.....	20
2.20.5	Transmisión de Datos en Tiempo Real.....	20
2.20.6	Software de Post procesamiento.....	20
2.20.7	Portabilidad y Facilidad de Uso	21

2.21	Tecnología RTK (Real-Time Kinematic)	21
2.21.1	Principio Básico del GPS	21
2.21.2	Errores en la Señal GPS	22
2.21.3	Corrección Diferencial	22
2.21.4	Proceso de Corrección	22
2.21.5	Tiempo Real	22
2.21.6	Aplicaciones	22
2.22	Aplicaciones y Usos del Dron Phantom 4 RTK	23
2.22.1	Topografía y Cartografía	23
2.22.2	Agricultura de Precisión	23
2.22.3	Inspección de Infraestructuras	23
2.22.4	Gestión Ambiental	23
2.22.5	Emergencias y Rescate	24
2.23	Características y Funcionalidades del Dron Phantom 4 Pro	24
2.23.1	Cámara de Alta Resolución	24
2.23.2	Grabación de Video en 4K	24
2.23.3	Sistema de Evitación de Obstáculos	24
2.23.4	Modos de Vuelo Inteligentes	25
2.23.5	Sistema de Posicionamiento Preciso	25
2.23.6	Transmisión de Video en Tiempo Real	25
2.23.7	Duración de la Batería Mejorada	25
2.24	Diferencias Clave entre el Phantom 4 Pro y el Phantom 4 RTK	25
2.24.1	Precisión Geoespacial	25
2.24.2	Cámaras y Sensores	26

2.24.3	Aplicaciones y Usos	26
2.25	Software y Post procesamiento.....	26
3.	CAPÍTULO III RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN	27
3.1	Método de la investigación	27
3.2	Técnicas de recolección de datos.....	27
3.2.1	Tipos de técnicas e instrumentos	27
3.2.2	Inspección Directa	27
3.2.3	Páginas y registros.....	27
3.3	Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos	27
3.4	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	28
3.4.1	Primera etapa	28
3.4.2	Segunda etapa	29
3.4.3	Tercera etapa.....	30
3.5	Aspectos regulatorios para operaciones en las cercanías de aeródromos y helipuertos.....	32
3.6	Verificación de restricción de vuelo en el proyecto.....	33
3.7	Proceso de Desbloqueo de Zona GEO.....	33
3.8	Creación de Cuenta en DJI Fly Safe	34
3.9	Registro de aeronave.....	34
3.10	Registro de Piloto.....	35
3.11	Solicitud de Desbloqueo de Zona GEO	35
3.12	Puntos de control	38
3.13	Fotogrametría.....	40
3.14	Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes	62
3.15	Posiciones de cámaras	63

3.16	Puntos de control terrestre	65
3.17	Modelo digital de elevación.....	67
3.18	Detalles del procesamiento	69
3.19	Sistema de coordenadas	69
3.20	Detalles de DSM, Ortomosaico y Detalles del índice	70
3.21	Parámetros del dron	71
3.21.1	Configuración del Dron	71
3.21.2	Configuración del Sistema RTK.....	77
3.21.3	Configuración de Gestión de Colisiones	80
3.22	Configuración de plan de vuelo	81
3.22.1	Fotogrametría 2D.....	83
3.22.2	Fotogrametría 3D (Doble Cuadrícula).....	83
3.22.3	Vuelo de Trayectoria	83
3.22.4	Misión de Vuelo Lineal	83
3.22.5	Fotogrametría 3D (Orientación Múltiple)	84
3.22.6	Modo de Alerta de Aproximación a Tierra	84
3.22.7	Segmentación por Bloques	84
3.22.8	Caminar con RTK.....	84
3.22.9	Vuelo Lineal (Altura Ajustable).....	84
3.22.10	Ruta de Vuelo en Ángulo.....	85
3.23	Plan de vuelo del proyecto	85
3.24	Resumen metodológico.....	90
3.24.1	Primera fase: planificación operativa y normativa	91
3.24.2	Segunda fase: levantamiento en campo.....	91

3.24.3	Tercera fase: procesamiento y generación de productos cartográficos	91
4.	CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	92
4.1	Análisis técnico de resultados.....	92
4.1.1	Precisión y calidad del modelo	92
4.1.2	Productos generados	92
4.1.3	Cobertura y eficiencia operativa.....	92
4.1.4	Validación de resultados.....	93
4.2	Comparación Técnica entre Métodos de Levantamiento	94
4.2.1	Datos de replanteo tradicional con RTK	95
4.2.2	Modelo 3d generado con dron RTK.....	102
4.2.3	Comparación de Drone RTK vs Topografía Convencional RTK	103
4.3	Análisis económico de topografía con drones RTK	107
4.3.1	Precios unitarios de Topografía con dron RTK.....	107
4.3.2	Precios unitarios de Levantamiento topográfico convencional.....	110
4.3.3	Relación Costo – Productividad	112
5.	CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
5.1	Conclusiones	114
5.2	Recomendaciones	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Coordenadas de puntos de control.....	38
Tabla 3.2	Coordenadas de fotogrametría.....	40
Tabla 3.3	Detalle de fotografías aéreas.....	63
Tabla 3.4	Detalles de cámara de dron.....	63
Tabla 3.5	Error fotogramétrico sin corregir.....	65
Tabla 3.6	Error máximo de puntos de control.....	66
Tabla 3.7	Errores de puntos de control	66
Tabla 3.8	Resolución de DEM	67
Tabla 3.9	Detalles de Hardware del procesamiento	69
Tabla 3.10	Sistema de coordenadas	69
Tabla 3.11	Características de procesamiento.....	70
Tabla 4.1	Coordenadas de replanteo tradicional.....	95
Tabla 4.2	Resumen técnico de comparación	106
Tabla 4.3	P.U. de topografía con Dron RTK en zonas urbanas	109
Tabla 4.4	P.U. de Levantamiento topográfico convencional con GPS RTK.....	111
Tabla 4.5	Costos totales de topografía de Avenida Integración	112
Tabla 4.6	Relación Costo - Productividad.....	112
Tabla 4.7	Resumen comparativo	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Inicios de topografía	5
Figura 2.2	Triangulación en Egipto	6
Figura 2.3	Plano topográfico de planta eléctrica en Umapalca.....	6
Figura 2.4	Replanteo con estación total.....	7
Figura 2.5	Equipos topográficos convencionales	8
Figura 2.6	Combinación de DEM con fotogrametría.....	10
Figura 2.7	Dron de exploración.....	11
Figura 2.8	Dron de alta capacidad de carga	12
Figura 2.9	Logo dirección general de aeronáutica civil	13
Figura 2.10	Dron DJI Phantom 4 Pro.....	14
Figura 2.11	Lente óptico de cámara de dron	19
Figura 2.12	Controlador RC de dron DJI.....	20
Figura 2.13	Base RTK de DJI	21
Figura 3.1	Diagrama de planificación de vuelo	29
Figura 3.2	Diagrama de obtención de datos.....	30
Figura 3.3	Diagrama de procesamiento de datos	31
Figura 3.4	Zonas de restricción de vuelo	32
Figura 3.5	Zonas de restricción de vuelo en la Av. Integración	33
Figura 3.6	Cuestionario de registro de dron en DJI.....	34
Figura 3.7	Cuestionario de registro de piloto en DJI	35
Figura 3.8	Solicitud de desbloqueo en DJI.....	36
Figura 3.9	Ventana de tipo de desbloqueo	36
Figura 3.10	Cuestionario de información básica	37
Figura 3.11	Área de petición de desbloqueo	37
Figura 3.12	Nube de Puntos con puntos de control	39
Figura 3.13	Solapamiento de imágenes de aerofotogrametría	62
Figura 3.14	Ubicación de cámaras del plan de vuelo	64
Figura 3.15	Ubicación de puntos de control y error.....	65
Figura 3.16	Modelo digital de elevación Av. Integración	68

Figura 3.17 Pantalla de configuración de aeronave	71
Figura 3.18 Configuración de altura de retorno.....	72
Figura 3.19 Restricción de altura de vuelo.....	72
Figura 3.20 Desactivación de distancia máxima de vuelo.....	73
Figura 3.21 Acción en caso de pérdida de señal temporal	74
Figura 3.22 Acción en caso de pérdida de señal del control	74
Figura 3.23 Pestaña de licencias para desbloqueo de zona geo	75
Figura 3.24 Lista de licencias instaladas	75
Figura 3.25 Ajustes avanzados	76
Figura 3.26 Calibración de sensores	77
Figura 3.27 Activación de RTK en aeronave	78
Figura 3.28 Selección del servicio RTK.....	78
Figura 3.29 Configuración de red RTK para South	79
Figura 3.30 Coordenadas en tiempo real de dron y base RTK	79
Figura 3.31 Error de posicionamiento en tiempo real	80
Figura 3.32 Activación de sistema anticolidión	81
Figura 3.33 Pantalla de inicio del controlador RC	82
Figura 3.34 Selección de modo de plan de vuelo.....	82
Figura 3.35 Tramo 1 de vuelo (Rotonda El Mastil).....	85
Figura 3.36 Configuración de modo de disparo fotográfico	86
Figura 3.37 Pestaña de configuración de cámara.....	86
Figura 3.38 Parámetros óptimos de cámara	87
Figura 3.39 Parámetros óptimos de superposición de fotografías	88
Figura 3.40 Tramo 2 de vuelo (zona con taludes).....	88
Figura 3.41 Tramo 3 de vuelo (paralela a mini aeródromo)	89
Figura 3.42 Tramo 4 de vuelo (Cine Center)	89
Figura 3.43 Tramo 5 de vuelo (Rotonda cerca Hotel Los Ceibos)	90
Figura 4.1 Validación de datos por Pix4d	93
Figura 4.2 Ubicación de área de comparación.....	94
Figura 4.3 Zona del bajante escalonado	95

Figura 4.4 Modelado 3d de Bajante escalonada	103
Figura 4.5 Perfil generado con topografía tradicional.....	104
Figura 4.6 Perfil generado con Dron RTK.....	104
Figura 4.7 Validación de comparación de métodos en MDS.....	105
Figura 4.8 Validación de comparación de métodos en MDT	105

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXOS A. TRABAJOS DE AEROFOTOGRAMETRÍA

ANEXOS B. PRUEBAS DE VUELO FOTOGRAMÉTRICO

ANEXOS C. PROCESAMIENTO DE DATOS

ANEXOS D. PLANOS