



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**Evaluación del uso de drones como herramienta para el análisis del
flujo vehicular en intersecciones urbanas**

JOHAN GEOVANETT ZAPATA VERDEZOTO

**Trabajo de titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo,
presentado ante el Instituto de posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,
como requisito parcial para la obtención del grado de**

MAGÍSTER EN TRANSPORTE Y LOGÍSTICA

RIOBAMBA – ECUADOR

ENERO 2024

©2023, Johan Geovanett Zapata Verdezoto

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Johan Geovanett Zapata Verdezoto, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, enero de 2024



Johan Geovanett Zapata Verdezoto

C.I. 0201727252



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACION CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación y Desarrollo, titulado **Evaluación del uso de drones como herramienta para el análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas**, de responsabilidad del señor Johan Geovanett Zapata Verdezoto ha sido revisado minuciosamente por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

Ing. Jessica Fernanda Moreno Ayala, Mgtr.

PRESIDENTA



Firmado electrónicamente por:
JESSICA FERNANDA
MORENO AYALA

Ing. Eliana Priscila Silva Caluña, Mgtr.

DIRECTORA



Firmado electrónicamente por:
ELIANA PRISCILA
SILVA CALUNA

Ing. Jacqueline Elizabeth Ponce Pinos, Mgtr.

MIEMBRO



Firmado electrónicamente por:
JACQUELINE
ELIZABETH PONCE
PINOS

Ing. José Luis Tinajero León, Mgtr.

MIEMBRO



Firmado electrónicamente por:
JOSE LUIS TINAJERO
LEON

Riobamba, enero de 2024

DEDICATORIA

A mi amada madre y mi hermano, cuya incesante fe y cariño han sido mi guía y sostén durante este desafiante periplo. Su apoyo constante ha sido vital para superar las dificultades y las dudas. A mi esposa, la compañera de mi vida, quien ha estado a mi lado en cada desafío. Tu amor y comprensión han sido mi refugio en los momentos más duros. Tu apoyo constante ha sido el pilar de cada paso en esta travesía, este viaje ha cobrado un significado aún mayor gracias a tu amor y presencia ininterrumpida.

Por último, a mi padre. Aunque ya no estás físicamente, tu espíritu y tus enseñanzas siguen siendo mi guía y fortaleza. Cada página de este trabajo de investigación lleva tu influencia, cada logro es un reflejo de tus lecciones. Este logro es tan tuyo como mío.

Johan Zapata Verdezoto

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más profunda gratitud a todas las personas que han desempeñado un papel en la culminación de este trabajo de titulación y que han estado a mi lado en esta significativa travesía académica, agradezco con todo mi corazón a mi familia por estar en cada etapa de este proceso brindándome palabras de aliento consejos y afecto.

Además, quiero expresar mi profundo agradecimiento a los integrantes del tribunal de trabajo de titulación, sus conocimientos y dirección han sido vitales en la construcción de este trabajo. Les agradezco por su constructiva crítica, por cuestionar mis pensamientos y por ayudarme a crecer a nivel académico. Su sabiduría, tolerancia y apoyo han sido piezas clave en mi camino hacia la finalización de esta tesis.

Johan Zapata Verdezoto

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xviii

CAPÍTULO I

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Planteamiento del problema.....	2
1.2	Situación Problemática.....	3
1.3	Formulación del problema.....	4
1.4	Preguntas directrices o específicas de la investigación.....	5
1.5	Justificación de la investigación.....	5
1.6	Objetivo General.....	6
1.7	Objetivos específicos.....	6
1.8	Hipótesis.....	7
1.8.1	Hipótesis General.....	7
1.8.2	Hipótesis Especificas.....	7

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1	Antecedentes del problema.....	8
2.2	Bases Teóricas.....	11
2.2.1	<i>Aforo vehicular</i>	11
2.2.1.1	<i>Métodos para aforar vehículos</i>	11
2.2.2	<i>Clasificación vehicular</i>	12
2.2.2.1	<i>Categoría L</i>	12
2.2.2.2	<i>Categoría M</i>	13
2.2.2.3	<i>Categoría N</i>	13
2.2.3	<i>Análisis de flujo vehicular</i>	14
2.2.3.1	<i>Variables Principales</i>	14
2.2.4	<i>Intersecciones</i>	15
2.2.4.1	<i>Tipos de intersecciones básicas</i>	15
2.2.4.2	<i>Intersecciones reguladas por semáforos</i>	18

2.2.4.3	<i>Intersecciones reguladas por señales</i>	19
2.2.4.4	<i>Puntos de conflicto</i>	20
2.2.5	<i>Generalidades de los drones (VANT)</i>	21
2.2.5.1	<i>Tipo de drones (VANTs)</i>	21
2.2.5.2	<i>Ala fija</i>	22
2.2.5.3	<i>Rotatorios</i>	22
2.2.5.4	<i>Mixtos o híbridos</i>	23
2.2.6	<i>Legislación vigente</i>	23
2.2.7	<i>Elevación, altura y altitud</i>	24
2.2.7.1	<i>Elevación</i>	24
2.2.7.2	<i>Altura</i>	25
2.2.7.3	<i>Altitud</i>	25
2.2.7.4	<i>Altitud de densidad</i>	25
2.2.7.5	<i>Altitud de presión</i>	25
2.2.8	<i>Perfil de vuelo</i>	26
2.2.8.1	<i>Ascenso</i>	26
2.2.8.2	<i>Crucero</i>	27
2.2.8.3	<i>Estacionario</i>	27
2.2.8.4	<i>Descenso</i>	27
2.2.9	<i>Visión por computadora</i>	28
2.2.10	<i>Procesamiento de imágenes</i>	28
2.2.10.1	<i>Técnicas de mejora de imágenes</i>	28
2.2.10.2	<i>Extracción de características</i>	29
2.2.10.3	<i>Manipulación de parámetros</i>	29
2.3	Marco Conceptual	29
2.4	Identificación de variables	30
2.4.1	<i>Variable independiente</i>	30
2.4.2	<i>Variable dependiente</i>	30
2.5	Operacionalización de variables	31
2.6	Matriz de consistencia	32

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACION	33
3.1	Tipo y diseño de la investigación	33
3.2	Métodos de investigación	33
3.2.1	<i>Método inductivo</i>	33

3.2.2	<i>Método deductivo</i>	33
3.2.3	<i>Método analítico</i>	33
3.2.4	<i>Método sintético</i>	34
3.2.5	<i>Método sistémico</i>	34
3.3	Enfoque de la investigación	34
3.4	Alcance de la investigación	34
3.5	Población de estudio	35
3.6	Unidad de análisis	37
3.7	Selección de la muestra	37
3.8	Tamaño de la muestra	38
3.9	Técnica de recolección de datos primarios y secundarios	39
3.10	Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios	39
3.11	Instrumentos para procesar datos recopilados	39

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSION	41
4.1	Resultados	41
4.1.1	<i>Comparación Detallada entre el Uso de Drones y Métodos Tradicionales</i>	41
4.1.2	<i>Comportamiento del dron en Intersecciones conflictivas de la ciudad</i>	44
4.1.2.1	<i>Intersección N° 1 Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado</i>	44
4.1.2.2	<i>Intersección N° 2: Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres</i>	46
4.1.2.3	<i>Intersección N° 3: Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile</i>	47
4.1.2.4	<i>Intersección N° 4: Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja</i>	48
4.1.2.5	<i>Intersección N° 5: Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu</i>	49
4.1.3	<i>Procesamiento de imágenes mediante Software de autor</i>	50
4.1.3.1	<i>Intersección N° 1: Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado</i>	50
4.1.3.2	<i>Intersección N° 2: Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres</i>	52
4.1.3.3	<i>Intersección N° 3: Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile</i>	54
4.1.3.4	<i>Intersección N° 4: Av. La Prensa entre y Av. Daniel León Borja</i>	56
4.1.3.5	<i>Intersección N° 5: Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu</i>	58
4.1.4	<i>Análisis de datos</i>	60
4.1.4.1	<i>Precisión de datos.</i>	60
4.1.4.2	<i>Confiabilidad de los datos</i>	61
4.1.4.3	<i>Costos</i>	62
4.1.4.4	<i>Tiempo de recolección de datos</i>	62
4.1.4.5	<i>Cobertura del área</i>	63

4.1.4.6	<i>Impacto en el tráfico</i>	64
4.1.4.7	<i>Formación requerida</i>	64
4.1.4.8	<i>Restricciones legales</i>	65
4.1.5	<i>Evaluación del rendimiento del dron para el análisis del flujo vehicular</i>	66
4.1.6	<i>Análisis operativo</i>	67
4.1.7	<i>Análisis de costos</i>	68
4.1.7.1	<i>Detalles de análisis de costos</i>	68
4.1.8	<i>Análisis legal</i>	69
4.1.9	<i>Identificación de Problemas y Retos</i>	70
4.1.9.1	<i>Aspectos técnicos</i>	70
4.1.9.2	<i>Aspectos operativos</i>	71
4.1.9.3	<i>Necesidad de personal especializado</i>	71
4.1.9.4	<i>Aspectos legales</i>	71
4.1.9.5	<i>Aspectos de seguridad</i>	71
4.1.9.6	<i>Análisis de datos</i>	71
4.2	<i>Prueba de hipótesis</i>	72
4.2.1	<i>Redacción de la hipótesis</i>	72
4.2.1.1	<i>Hipótesis Nula (H0)</i>	72
4.2.1.2	<i>Hipótesis Alternativa (H1)</i>	72
4.2.1.3	<i>Aplicación del Chi-cuadrado</i>	72

CAPÍTULO V

5.	<i>PROPUESTA</i>	74
5.1	<i>Optimización de drones para el análisis del flujo vehicular</i>	74
5.1.1	<i>Desafíos Técnicos</i>	74
5.1.1.1	<i>Mejora de la autonomía de los drones</i>	74
5.1.1.2	<i>Robustez de los sistemas de navegación y sensores</i>	75
5.1.2	<i>Desafíos Operativos</i>	76
5.1.2.1	<i>Capacitación del personal</i>	76
5.1.2.2	<i>Desarrollo de protocolos de operación</i>	77
5.1.3	<i>Desafíos Legales</i>	79
5.1.3.1	<i>Revisión y actualización de la regulación</i>	79
5.1.4	<i>Desafíos de Seguridad</i>	80
5.1.4.1	<i>Desarrollo de sistemas de seguridad avanzados</i>	80
5.1.4.2	<i>Protección de datos</i>	80
5.2	<i>Características técnicas para la recolección y procesamiento de datos</i>	80

5.2.1	<i>Calidad de la cámara</i>	80
5.2.2	<i>Duración de la batería</i>	82
5.2.3	<i>Rango de operación</i>	82
5.2.4	<i>Procesamiento de Imágenes y Seguimiento de Objetos</i>	83
5.2.5	<i>Altura de vuelo</i>	84
5.2.6	<i>Seguridad y regulaciones de aviación</i>	85
	CONCLUSIONES	88
	RECOMENDACIONES	89
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3:	Intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba.....	35
Tabla 2-3:	Intersecciones con mayores problemas de trafico.....	38
Tabla 1-4:	Ventajas y desventajas del uso de drones frente a los métodos tradicionales	42
Tabla 2-4:	Comportamiento del dron en Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga.....	45
Tabla 3-4:	Comportamiento del dron en Av. José Antonio de Lizarzaburu y Agustín Torres	46
Tabla 4-4:	Comportamiento del dron en Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile	47
Tabla 5-4:	Comportamiento del dron en Av. La prensa y Av. Daniel León Borja	48
Tabla 6-4:	Evaluación del comportamiento del dron en Av. La prensa y Av. Lizarzaburu ...	49
Tabla 7-4:	Comparación de precisión de datos.....	60
Tabla 8-4:	Comparación de confiabilidad de datos	61
Tabla 9-4:	Comparación de costos	62
Tabla 10-4:	Comparación tiempo de recolección de datos.....	63
Tabla 11-4:	Comparación cobertura de áreas	64
Tabla 12-4:	Comparación impacto en el tráfico	64
Tabla 13-4:	Comparación formación requerida.....	65
Tabla 14-4:	Restricciones legales.....	65
Tabla 15-4:	Evaluación del rendimiento	66
Tabla 16-4:	Análisis operativo	67
Tabla 17-4:	Análisis de costos.....	68
Tabla 18-4:	Detalles de aspectos regulatorios.....	69
Tabla 19-4:	Situaciones donde las reglas no se aplican	70
Tabla 20-4:	Calculo del valor chi cuadrado	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2.	Intersección en T	16
Figura 2-2.	Intersección en Cruz.....	16
Figura 3-2.	Intersección Multibrazo.....	17
Figura 4-2.	Redondel o rotonda	18
Figura 5-2.	Intersección semaforizada	18
Figura 6-2.	Señal Vertical Pare.....	19
Figura 7-2.	Señal Vertical Ceda el paso	19
Figura 8-2.	Punto de divergencia	20
Figura 9-2.	Punto de convergencia.....	20
Figura 10-2.	Punto de cruce	20
Figura 11-2.	Punto de conflicto en una intersección con geometría tipo cruz	21
Figura 12-2.	Dron de ala fija.....	22
Figura 13-2.	Dron de ala fija.....	23
Figura 14-2.	Definición grafica de altitud, altura y elevación	25
Figura 15-2.	Diagrama del perfil de vuelo	26
Figura 16-2.	Fuerzas que se desarrollan en un RPAs de ala fija.	26
Figura 17-2.	Fuerzas que intervienen en la fase crucero.....	27
Figura 1-4.	Vista aérea Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado.....	44
Figura 2-4.	Vista aérea Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres	46
Figura 3-4.	Vista aérea Av. Juan Feliz Proaño con Londres y Chile	47
Figura 4-4.	Vista aérea Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja.....	48
Figura 5-4.	Vista aérea Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu	49
Figura 6-4.	Áreas por ocultar - Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado	50
Figura 7-4.	Objetos de referencia - Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga	51
Figura 8-4.	Áreas de conteo vehicular - Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga	51
Figura 9-4.	Detección y conteo - Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado ..	52
Figura 10-4.	Áreas por ocultar - Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres.....	52
Figura 11-4.	Objetos de referencia - Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres.....	53
Figura 12-4.	Áreas de conteo vehicular - Av. José Antonio de Lizarzaburu y Agustín Torres.	53
Figura 13-4.	Detección y conteo - Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres.....	54
Figura 14-4:	Áreas por ocultar - Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile	54
Figura 15-4.	Objetos de referencia - Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile	55
Figura 16-4.	Áreas de conteo vehicular - Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile.....	55
Figura 17-4.	Detección y conteo vehicular - Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile.....	56

Figura 18-4.	Áreas por ocultar - Av. La Prensa entre y Av. Daniel León Borja	56
Figura 19-4.	Objetos de referencia - Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja.....	57
Figura 20-4.	Áreas de conteo vehicular - Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja	57
Figura 21-4.	Detección y conteo vehicular - Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja	58
Figura 22-4.	Áreas por ocultar - Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu.....	58
Figura 23-4.	Objetos de referencia - Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu	59
Figura 24-4.	Áreas de conteo vehicular - Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu.....	59
Figura 25-4.	Detección y conteo vehicular - Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu.....	60
Figura 1-5.	Protocolo de preparación y lanzamiento del dron.	77
Figura 2-5.	Protocolo de Planificación del vuelo.....	77
Figura 4-5.	Protocolo de recuperación de drones.....	78
Figura 5-5.	Protocolo de seguridad.....	78
Figura 6-5.	Protocolo de mantenimiento de drones	78
Figura 7-5.	Sobrevuelo a 80 metros de altura.	81
Figura 8-5.	Sobrevuelo a 150 metros de altura.	81
Figura 9-5.	Altura recomendada en intersecciones simples.....	84
Figura 10-5.	Altura recomendada en intersecciones complejas.....	85
Figura 11-5.	Vulneración a la propiedad privada.	87

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MAPA DE INTERSECCIONES CONFLICTIVAS DE RIOBAMBA

ANEXO B: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DRON UTILIZADO

ANEXO C: SCRIPT DE PROGRAMA DE ANALISIS DE DATOS

ANEXO D: FICHA DE OBSERVACION AFOROS MANUALES

RESUMEN

El objetivo fue evaluar cómo los drones pueden ser utilizados para analizar el flujo vehicular en intersecciones urbanas específicamente en las cinco intersecciones con mayores problemas de tráfico de la ciudad de Riobamba. Se empleó una metodología mixta, que combinó aspectos cuantitativos y cualitativos, exploratorios, correlacionales, descriptivos y documentales. Los datos se recogieron a través de sobrevuelos realizados mediante el dron, que funcionó como la principal herramienta de investigación. Este dispositivo sobrevoló a alturas de entre 80 y 150 metros, recogiendo datos precisos y confiables que fueron procesados posteriormente mediante un software de autoría especializado, construido en Python con librerías OpenCV. La recopilación de datos proporcionó una visión completa y detallada de las condiciones de tráfico en cada intersección estudiada, lo que permitió identificar flujos y densidad vehicular, además los drones demostraron tener una capacidad notable para cubrir grandes áreas geográficas y adaptarse a diversas condiciones climáticas y de tráfico, presentándose como una herramienta con ventaja significativa en comparación con los métodos tradicionales de recolección de datos. El proyecto fue validado de acuerdo con las normas legales existentes que rigen dentro del territorio ecuatoriano, demostrando así su factibilidad técnica, tecnológica y legal. Los resultados demuestran que la implementación de drones para el análisis de flujo vehicular es factible y beneficiosa, por lo que se recomiendan mejoras y mayor uso de esta tecnología para el análisis del flujo vehicular en el futuro.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA DEL TRANSPORTE>, <DRONES>, <FLUJO VEHICULAR>, <INTERSECCIONES CONFLICTIVAS>, <PROCESAMIENTO DE IMAGENES>, <OPENCV>, <ANÁLISIS DE DATOS>, <CONDICIONES DE TRÁFICO>, <FACTIBILIDAD TECNOLÓGICAL>



Alzando el certificado por:
LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS



0173-DBRA-UPT-IPEC-2023

05-12-2023

SUMMARY

The objective was to evaluate how drones can be used to analyze vehicular flow in urban intersections, specifically in the five intersections with the most significant traffic problems in Riobamba. A mixed methodology was used, which combined quantitative and qualitative, exploratory, correlational, descriptive, and documentary aspects. The data was collected through flyovers using the drone, which functioned as the primary research tool. This device flew over at heights of between 80 and 150 meters, collecting precise and reliable data that was subsequently processed using specialized authoring software built in Python with OpenCV libraries. The data collection provided a complete and detailed view of the traffic conditions at each intersection studied, which made it possible to identify flows and vehicle density. In addition, the drones demonstrated a remarkable ability to cover large geographic areas and adapt to various climatic and traffic conditions. Traffic presents itself as a tool with a significant advantage compared to traditional data collection methods. The project was validated per the existing legal regulations governing the Ecuadorian territory, thus demonstrating its technical, technological, and legal feasibility. The results demonstrate that the implementation of drones for vehicle flow analysis is feasible and beneficial, so future improvements and greater use of this technology for vehicle flow analysis are recommended.

Keywords: <TRANSPORT ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <DRONES>, <VEHICLE FLOW>, <CONFLICTIVE INTERSECTIONS>, <IMAGE PROCESSING>, <DATA ANALYSIS>, <TRAFFIC CONDITIONS>, <TECHNOLOGICAL FEASIBILITY >

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el incremento acelerado de las ciudades ha ocasionado un notorio aumento del flujo vehicular, especialmente en las intersecciones urbanas. La evaluación del flujo vehicular se ha vuelto una tarea crucial para comprender los patrones de tráfico, mejorar la gestión de este y garantizar una movilidad eficiente y segura en las áreas urbanas.

En estudios previos se ha abordado el análisis del flujo vehicular utilizando diversas herramientas y técnicas. Sin embargo, en los últimos años, los avances en tecnología de drones han brindado nuevas oportunidades para obtener información detallada y en tiempo real sobre el flujo vehicular en intersecciones problemáticas. Estos dispositivos aéreos no tripulados ofrecen la capacidad de capturar imágenes y videos desde una perspectiva elevada, lo cual proporciona una visión más completa y precisa del tráfico en comparación con las técnicas tradicionales.

La relevancia de esta investigación radica en la necesidad de contar con herramientas innovadoras y eficientes para el análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas. La información obtenida a través de drones puede proveer datos valiosos para mejorar la planificación del transporte, identificar puntos de congestión y diseñar estrategias efectivas de gestión del tráfico.

El objetivo general de este estudio es evaluar el uso de drones como herramienta para analizar el flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba donde se busca investigar cómo los drones pueden capturar datos relevantes, como el volumen de tráfico y los patrones de movimiento, con el fin de obtener una comprensión más precisa y completa del flujo vehicular en estas áreas.

La metodología empleada en esta investigación implica realizar vuelos con drones en diferentes intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba, capturar imágenes y videos del tráfico en tiempo real, y analizar los datos obtenidos. Además, se utilizarán herramientas de procesamiento de imágenes y técnicas de análisis estadístico para interpretar y extraer conclusiones significativas de los datos recopilados.

La motivación principal detrás de este trabajo es mejorar la planificación y gestión del tráfico en las intersecciones urbanas, a fin de lograr una movilidad más eficiente y segura para los ciudadanos. Al proporcionar una visión más completa del flujo vehicular, se espera que este

estudio contribuya a la toma de decisiones informadas y a la implementación de estrategias efectivas para mejorar la circulación en las áreas urbanas.

Este trabajo se estructura en cinco secciones principales. En las 2 primeras secciones se presentan los antecedentes del problema y la relevancia del estudio. A continuación, se plantea el problema de investigación, se describen los objetivos generales y se detalla la naturaleza del estudio. La tercera sección aborda la metodología utilizada para alcanzar los objetivos establecidos. Luego, se discuten y se detallan los resultados obtenidos tras la aplicación de técnicas, instrumentos y una serie de metodologías que permitieron concluir y recomendar las acciones a implementar a fin utilizar los drones como herramienta para el análisis del flujo vehicular.

1.1 Planteamiento del problema

Las intersecciones conflictivas que posee la ciudad de Riobamba presentan problemas significativos en el flujo vehicular, lo que afecta negativamente la movilidad y la seguridad vial. Actualmente, la evaluación del flujo vehicular en estas intersecciones se realiza principalmente mediante métodos tradicionales, como el conteo manual de vehículos o el uso de equipos de monitoreo fijo. Estos métodos pueden resultar costosos, laboriosos y limitados en términos de precisión y capacidad de obtener datos en tiempo real.

En los últimos años, los drones han demostrado ser una opción prometedora para abordar este desafío. Estos dispositivos aéreos no tripulados tienen la capacidad de capturar imágenes y videos desde una perspectiva elevada, lo que proporciona una visión más completa y detallada del flujo vehicular en comparación con las técnicas tradicionales utilizadas en la actualidad.

La evaluación del uso de drones en el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba implica la realización de vuelos con estos dispositivos en estas áreas, la captura de imágenes y videos del tráfico en tiempo real, y el análisis de los datos obtenidos. Para ello, se utilizarán herramientas de procesamiento de imágenes y técnicas de análisis estadístico con el objetivo de obtener conclusiones significativas que ayuden a mejorar la planificación del transporte y a diseñar estrategias efectivas de gestión del tráfico en estas zonas problemáticas.

Sin embargo, existen desafíos y limitaciones que deben abordarse en esta evaluación. Uno de ellos es garantizar la precisión de los datos recopilados por los drones, esto implica desarrollar algoritmos y técnicas de procesamiento de imágenes que permitan la detección y seguimiento

preciso de los vehículos en movimiento, a pesar de las condiciones climáticas variables y la presencia de obstáculos en el entorno urbano.

Es necesario considerar aspectos relacionados con la seguridad y la privacidad. El uso de drones en áreas urbanas plantea riesgos potenciales, como colisiones con otros objetos voladores o daños a la propiedad. También generan preocupaciones en cuanto a la privacidad, ya que los drones poseen la capacidad de capturar imágenes de vehículos y placas, lo que podría ser considerado una invasión de la privacidad de los conductores. Por tanto, es fundamental evaluar y abordar estas cuestiones antes de implementar el uso de drones para análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas.

Además, es importante tener en cuenta la percepción y aceptación de los diferentes actores involucrados, como conductores, peatones, autoridades locales y comunidades vecinas. Las actitudes y reacciones hacia la presencia de drones pueden variar, por lo que es necesario investigar cómo se percibe su uso y si esto puede influir en el comportamiento de los conductores y la seguridad vial en general.

Finalmente, se debe considerar la infraestructura requerida para operar los drones de manera efectiva en áreas urbanas, se necesita una red de estaciones de control y comunicación que garanticen una interconexión confiable con los drones y la transmisión de los datos recopilados en tiempo real; Así como también se deben implementar medidas de seguridad para proteger estas estaciones y evitar interferencias o posibles ataques cibernéticos.

En resumen, la evaluación del uso de drones como herramienta para el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba es un tema que ofrece oportunidades significativas, pero también presenta desafíos importantes. Mediante una evaluación exhaustiva, se busca obtener información valiosa que contribuya a mejorar la gestión del tráfico y la movilidad en la ciudad, proporcionando una visión más precisa y completa del flujo vehicular en estas áreas críticas.

1.2 Situación Problemática

La situación problemática para el tema de investigación "Evaluación del uso de drones como herramienta para el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba" reside en la necesidad de contar con métodos efectivos y eficientes para analizar el flujo vehicular en las intersecciones de las zonas urbanas. Actualmente, la evaluación del flujo

vehicular se realiza principalmente mediante técnicas tradicionales que pueden ser costosas, limitadas en su alcance y requerir un tiempo considerable. El uso de drones como herramienta para este análisis ofrece la posibilidad de obtener datos en tiempo real, con una cobertura más amplia y a un costo potencialmente más bajo.

La novedad de este enfoque radica en la aplicación de drones como herramienta de recolección de datos en el análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas. Aunque los drones se han utilizado en diversos campos como la vigilancia, la cartografía y la inspección de infraestructuras, su implementación en el monitoreo del flujo vehicular en intersecciones urbanas aún no ha sido ampliamente explorada. Este enfoque innovador podría proporcionar una forma más precisa y eficiente de recolectar y procesar datos sobre el tráfico en tiempo real, lo cual es fundamental para el diseño de políticas de transporte y la mejora de la infraestructura vial.

El impacto de utilizar drones en el análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas específicamente en aquellas que presentan una mayor problemática puede ser significativo. Al obtener datos más precisos y en tiempo real, las autoridades de transporte y los planificadores urbanos podrían tomar decisiones más informadas para mejorar la movilidad y reducir la congestión en las zonas urbanas. Además, el uso de drones ofrecería una alternativa más económica en comparación con los métodos tradicionales de recolección de datos, lo que permitiría un monitoreo más frecuente y extenso de las intersecciones.

La implementación de drones en el análisis del flujo vehicular contribuirá enormemente a la optimización de los tiempos de viaje y la reducción de la congestión en las intersecciones urbanas permitiendo una mayor comprensión de los patrones de tráfico y una identificación más precisa de las áreas problemáticas.

1.3 Formulación del problema

¿En qué medida los drones pueden ser una herramienta efectiva para analizar el flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba y cómo se comparan con los métodos tradicionales en términos de precisión, costo y viabilidad técnica

1.4 Preguntas directrices o específicas de la investigación

¿Cuál es la precisión y confiabilidad de los datos recopilados por los drones en comparación con los métodos tradicionales de recopilación de datos en intersecciones urbanas?

¿Cuál es la viabilidad técnica y operativa del uso de drones para el análisis del flujo vehicular en términos de costo, tiempo y cobertura de áreas geográficas?

¿Cuáles son los desafíos y limitaciones asociados con el uso de drones en la recopilación de datos del flujo vehicular en intersecciones urbanas, como condiciones climáticas, regulaciones de vuelo, privacidad e infraestructura?

1.5 Justificación de la investigación

En primer lugar, el objetivo principal de esta investigación es determinar la eficacia y viabilidad de utilizar drones para el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba. Al hacerlo, se busca obtener información precisa y detallada sobre los patrones de tráfico en estas áreas, lo que puede ser de gran utilidad para la planificación del transporte urbano, la gestión del tráfico y la toma de decisiones en términos de diseño y optimización de infraestructuras viales.

Los resultados esperados incluyen la evaluación de la precisión y la eficiencia del uso de drones en la recopilación de datos de flujo vehicular, así como la identificación de posibles limitaciones y desafíos asociados con esta tecnología. Además, se proporcionará recomendaciones y pautas para la implementación exitosa de drones en el análisis del tráfico en intersecciones urbanas.

Entre los beneficiarios de esta investigación tenemos a los planificadores urbanos y los responsables de la gestión del tráfico quienes podrán tener acceso a datos precisos y actualizados sobre el flujo vehicular en intersecciones. Esto les permitirá tomar decisiones informadas sobre la planificación del transporte y la optimización del tráfico en áreas urbanas congestionadas. Además, los conductores y los usuarios de las vías también se beneficiarán indirectamente, ya que la implementación de medidas basadas en los resultados de esta investigación podría conducir a una mejora en la eficiencia y la fluidez del tráfico, lo que a su vez puede reducir los tiempos de viaje y la congestión en las intersecciones conflictivas.

Su importancia radica en el potencial para mejorar significativamente la gestión del tráfico y la planificación del transporte en entornos urbanos. Al utilizar drones como herramienta de análisis del flujo vehicular, se puede obtener una visión más detallada y precisa de las condiciones de tráfico en tiempo real. Esto permite una mejor comprensión de los patrones de tráfico, la identificación de problemas y cuellos de botella, y la implementación de soluciones más efectivas y eficientes. En última instancia, esta investigación tiene el potencial de contribuir a la reducción de la congestión del tráfico, el mejoramiento de la movilidad urbana y la creación de ciudades más sostenibles y habitables.

Los aportes de trascendencia incluyen la generación de conocimiento científico sobre el uso de drones en el análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas. Los resultados y las recomendaciones obtenidos podrán ser utilizados como base para futuras investigaciones y proyectos relacionados al tema.

Además, sus hallazgos pueden ser utilizados por profesionales y expertos en el campo de la planificación urbana y la gestión del tráfico para mejorar sus prácticas y abordar los desafíos asociados con el análisis del flujo vehicular en áreas urbanas, se espera que esta investigación contribuya al avance y la mejora de las estrategias y tecnologías utilizadas en la gestión del tráfico en intersecciones conflictivas.

1.6 Objetivo General

- Evaluar el uso de drones como herramienta para el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba.

1.7 Objetivos específicos

- Investigar la precisión y confiabilidad de los datos recopilados por los drones en comparación con los métodos tradicionales de recopilación de datos en intersecciones urbanas.
- Determinar la factibilidad técnica, operativa y legal del uso de drones para el análisis del flujo vehicular en términos de costo, tiempo y cobertura de áreas geográficas.

- Identificar y proponer mejoras o ajustes necesarios en la utilización de drones como herramienta para el análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas, considerando aspectos técnicos, operativos, legales y de seguridad.

1.8 Hipótesis

1.8.1 Hipótesis General

- La utilización de drones como herramienta para el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba proporcionará datos más precisos y detallados en comparación con los métodos tradicionales, permitiendo de esta manera mejorar el análisis del tráfico en estas áreas problemáticas.

1.8.2 Hipótesis Específicas

- El uso de drones en la recopilación de datos de flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba permite una mayor precisión en la medición de variables relacionadas con el tráfico vehicular.
- La utilización de drones para el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba reduce el tiempo y los recursos requeridos en comparación con los métodos tradicionales de recopilación de datos.
- El uso de drones como herramienta de análisis del tráfico en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba mejora la detección y el seguimiento de patrones de congestión y flujo vehicular.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

(Salvo, G. et al., 2014: pp.1083-1091) en su trabajo titulado “URBAN TRAFFIC ANALYSIS THROUGH AN UAV” desarrollaron un método para evaluar las condiciones reales del flujo de tráfico en áreas urbanas utilizando videos adquiridos por un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV, por sus siglas en inglés). El problema general abordado fue la necesidad de realizar estudios precisos y exactos del tráfico urbano sin requerir equipos adicionales en tierra y sin influir en el comportamiento de los conductores. En este trabajo se utilizó un micro dron de despegue y aterrizaje vertical equipado con una cámara de video de alta definición a través del cual se grabaron videos en HD de áreas de tráfico urbano y posteriormente se procesaron esos videos para obtener datos cinemáticos del flujo de vehículos. Los autores concluyeron que la metodología propuesta proporcionaba una herramienta sólida para comprender las condiciones reales del flujo de tráfico. Destacaron las ventajas de utilizar UAVs, como su capacidad de recopilar datos de manera rápida, económica y no invasiva. También sugirieron que los datos obtenidos podrían utilizarse para calibrar modelos de micro simulación y para diversos fines de análisis de tráfico.

En el trabajo de investigación “URBAN TRAFFIC MONITORING AND ANALYSIS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS) A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW” (Butilă y Boboc, 2022: p.620) analizaron las aplicaciones principales del uso de vehículos aéreos no tripulados (UAVs) en la monitorización del tráfico urbano. Se realiza una revisión sistemática de la literatura científica sobre el tema, utilizando el marco PRISMA, identificando 34 artículos en cinco bases de datos científicas. El artículo introduce los trabajos previos en este campo y analiza los artículos seleccionados, llegando a concluir que el uso de UAVs en el monitoreo del tráfico urbano es un campo que aún está en sus primeras etapas de desarrollo. Se espera que los avances en técnicas de procesamiento de imágenes y tecnologías utilizadas en la construcción de UAVs conduzcan a un aumento en el número de aplicaciones, lo que resultará en beneficios crecientes para la sociedad al reducir situaciones desagradables como la congestión y las colisiones en los principales centros urbanos del mundo.

Según (Candia, C. et al., 2018: pp. 1660-1669) en su obra denominada “USO DE TECNOLOGÍA DE DRONES PARA EL RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL TRÁNSITO” investigaron el uso de tecnología de drones para el relevamiento de información del tránsito, con

el fin de mejorar y optimizar el sistema de movilidad en áreas metropolitanas. Se buscó encontrar nuevas formas de percepción remota y metodologías de recolección de datos precisos, confiables y oportunos utilizando drones equipados con cámaras de video de alta resolución espacial para capturar imágenes y videos del tránsito desde el espacio aéreo. Además, se empleó software comercial para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos. El estudio demostró que el uso de drones para el relevamiento de información del tránsito es una alternativa tecnológica con un gran potencial permitiendo obtener imágenes y videos de alta resolución, lo que facilita el estudio de fenómenos urbanos, el análisis de parámetros del tránsito y la gestión de la movilidad. Se destacó la importancia de la resolución espacial de las imágenes capturadas por los drones, ya que permite una mayor precisión en la identificación de elementos urbanos y vehículos, así como en el análisis de patrones de comportamiento del tránsito.

Se resaltó también la complementariedad e integración de los drones con otras herramientas, como los sistemas de información geográfica y los sistemas de transporte inteligentes. En conclusión, el uso de tecnología de drones para el relevamiento de información del tránsito ofrece ventajas significativas en términos de precisión, confiabilidad y cobertura territorial. Estas aplicaciones tienen el potencial de mejorar la planificación de la movilidad urbana, la gestión del tránsito y la toma de decisiones en el ámbito del transporte.

(Orduna et al., 2019: pp. 2393-2405) en su trabajo titulado “USO DE IMÁGENES DE DRONES PARA EL ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA MOVILIDAD URBANA PEATONAL” analizaron la infraestructura de la movilidad urbana peatonal utilizando imágenes de drones y técnicas de inteligencia artificial. El problema que se aborda es la falta de canalización adecuada de los flujos peatonales en el espacio público y la necesidad de mejorar el diseño urbano para una movilidad sustentable y segura.

Los instrumentos de recolección de datos utilizados en la presente investigación fueron drones equipados con cámaras de alta resolución. Estos drones realizan vuelos sobre áreas seleccionadas de la Ciudad de Buenos Aires, capturando imágenes y videos que luego son procesados con software de análisis de tráfico y técnicas de inteligencia artificial. Además, se realizan tareas de conteo, clasificación y rastreo de vehículos y peatones de forma manual para validar la información recolectada concluyendo que las imágenes obtenidas ofrecen una valiosa herramienta para comprender y mejorar la movilidad urbana. El uso de tecnologías avanzadas de procesamiento de imágenes y análisis del tránsito permite obtener resultados precisos y detallados, impulsando la toma de decisiones informada y la creación de infraestructuras más seguras y eficientes para los peatones.

(Calle et al., 2019: pp. 1-14) en su trabajo de investigación titulado “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE CAMLYTIC AFOROS Y VELOCIDADES EN UN FLUJO DE TRÁNSITO ININTERRUMPIDO MEDIANTE EL VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (VANT) DE LA MARCA DJI MODELO PHANTOM 4 PRO V1.0.” realizaron un análisis y simulación utilizando el software Camlytics para obtener información sobre aforos y velocidades de vehículos en un flujo de tránsito ininterrumpido mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) de la marca DJI modelo Phantom 4 Pro V1.0 equipado con sistemas de posicionamiento satelital GPS y GLONASS. El estudio se enfoca en tres intersecciones viales en la ciudad de Cuenca, Ecuador, y busca obtener datos reales de flujos y velocidades de circulación para optimizar la movilidad urbana.

Se capturaron videos aéreos de las tres intersecciones de estudio, los cuales fueron procesados utilizando el software Camlytics, que emplea técnicas de visión artificial para realizar el conteo, clasificación y análisis de vehículos, así como la determinación de velocidades. Concluyendo que el uso del software Camlytics para este tipo de análisis no resulta conveniente debido a la falta de un sistema de calibración preciso, la ausencia de asignación de giros y clasificación vehicular, y la limitada calidad y análisis de los videos. Se recomienda grabar los videos a una altura que permita observar toda la intersección en planta, con una calidad mínima de 1080p y una autonomía de vuelo del dron de larga duración. Estos datos son fundamentales para implementar nuevos cambios o medidas de control en futuros proyectos de optimización de la movilidad urbana.

(Khan. et al., 2014: pp.1-16) en su trabajo titulado “UNMANNED AERIAL VEHICLE-BASED TRAFFIC ANALYSIS: ACASESTUDY FOR SHOCKWAVE IDENTIFICATION AND FLOW PARAMETERS ESTIMATION AT SIGNALIZED INTERSECTIONS” exploraron el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para la recolección y análisis de datos de tráfico. El problema abordado es la necesidad de obtener datos precisos, dinámicos y rápidos sobre el flujo de tráfico en intersecciones urbanas y suburbanas para mejorar la gestión del tráfico. Los instrumentos de recolección de datos utilizados en el estudio fueron los vehículos aéreos no tripulados (UAV) equipados con cámaras de video. Estos UAV capturaron imágenes de video que luego se procesaron utilizando una metodología específica para extraer trayectorias de vehículos y analizar el flujo de tráfico en una intersección semaforizada, concluyendo así que el uso de UAVs para el análisis de tráfico ofrece flexibilidad y una perspectiva panorámica que puede ser valiosa para la recopilación de datos y el análisis del flujo de tráfico. El estudio propone un marco metodológico y presenta resultados de análisis de flujo de tráfico en una intersección específica.

Además, sugiere que los estudios futuros podrían ampliar las aplicaciones del uso de UAVs en el análisis de tráfico.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Aforo vehicular

Según (Ascensio, 2014: p.16) El aforo vehicular es el proceso necesario para determinar la cantidad y tipo de tráfico en un sistema de carreteras. Se utilizan diferentes métodos, que se pueden clasificar como manuales y automáticos, dependiendo de cómo se realicen. El tiempo requerido para realizar el aforo varía según el estudio, puede ser de una hora, 24 horas, una semana o incluso un mes. Algunas carreteras tienen aforos permanentes, como en las casetas de cobro de autopistas y puentes de peaje. Existen diversos métodos para realizar el aforo vehicular, y se seleccionan según los datos necesarios, el costo y la duración del estudio.

2.2.1.1 Métodos para aforar vehículos

(Ascensio, 2014: p.16) manifiesta que existen varios métodos para realizar el aforo vehicular, de los cuales se pueden clasificar en manuales y automáticos. La elección de cada método depende de los datos requeridos, el costo y el período de tiempo necesario para el estudio.

- **Métodos manuales:** implican el uso de personal de campo conocido como aforadores de tránsito. Se utilizan en situaciones donde la información no se puede obtener de manera automática, como probar la eficiencia de dispositivos automáticos, condiciones climáticas adversas o cuando los datos son poco comunes. Estos métodos permiten obtener información detallada sobre la clasificación y características de los vehículos.

Entre los métodos manuales se encuentra el método del "Automóvil en movimiento", que consiste en registrar el volumen y la velocidad del tráfico mientras se recorre un tramo en un vehículo con un operador y un observador. El observador registra los vehículos en sentido opuesto, los que rebasan y los que son rebasados. Se realiza un cálculo matemático para obtener el volumen de tránsito en una hora.

- **Métodos automáticos:** utilizan dispositivos para detectar y recopilar información sobre el volumen de tráfico. Algunos de estos métodos incluyen detectores de neumáticos, contactos eléctricos, fotoeléctricos, radares, detectores magnéticos, ultrasónicos,

- infrarrojos y visión por computadora. Cada método tiene sus ventajas y desventajas en términos de costo, durabilidad y precisión.

En resumen, existen métodos manuales y automáticos para realizar el aforo vehicular. Los métodos manuales requieren personal de campo y permiten obtener información detallada, mientras que los métodos automáticos utilizan dispositivos para detectar y recopilar información de manera más eficiente. La elección del método depende de los requisitos del estudio y las condiciones específicas de la ubicación.

2.2.2 Clasificación vehicular

Conforme a lo establecido en el Norma Técnica Ecuatoriana Clasificación Vehicular (INEN, 2016), establece la clasificación de vehículos motorizados y no motorizados según sus características de diseño y uso. Su objetivo principal es proporcionar una normativa estandarizada para la clasificación de vehículos en Ecuador, con el fin de facilitar la identificación, regulación y control de los diferentes tipos de vehículos utilizados en el país.

El reglamento define las diferentes categorías y subcategorías de vehículos dentro de las cuales se mencionan:

2.2.2.1 Categoría L:

- L1: Bicimotos o ciclomotores de dos ruedas con velocidad máxima de 45 km/h y cilindrada máxima de 50 cm³.
- L2: Ciclomotores de tres ruedas con velocidad máxima de 45 km/h y cilindrada máxima de 50 cm³ (encendido por chispa) o 500 cm³ (encendido por compresión).
- L3: Motocicletas de dos ruedas con cilindrada superior a 50 cm³ y velocidad de diseño superior a 45 km/h.
- L4: Motocicletas con sidecar, similar a la categoría L3 pero con sidecar adjunto.
- L5: Tricar, vehículo de tres ruedas con velocidad superior a 45 km/h y cilindrada mayor o igual a 50 cm³.

- L6: Cuadriciclos o cuadrón, vehículos de cuatro ruedas con velocidad máxima de 45 km/h y cilindrada máxima de 50 cm³ (encendido por chispa) o 500 cm³ (encendido por compresión).
- L7: Cuadriciclos o cuadrón con peso ligero, vehículos de cuatro ruedas con peso en orden de marcha inferior a 400 kg (550 kg para transporte de mercancías) y potencia máxima inferior o igual a 15 kW.

2.2.2.2 *Categoría M*

- M1: Vehículos motorizados con capacidad de hasta ocho plazas (sin contar al conductor), que incluyen sedanes, station wagons, hatchbacks, cupés, SUVs, limusinas y minivans.
- M2: Vehículos motorizados con capacidad de más de ocho plazas (sin contar al conductor) y peso bruto vehicular (PBV) no superior a 5000 kg, como vans de pasajeros y minibuses.
- M3: Vehículos motorizados con capacidad de más de ocho plazas (sin contar al conductor) y PBV superior a 5000 kg, como microbuses, autobuses y vehículos de dos pisos.

2.2.2.3 *Categoría N*

- N1: Vehículos motorizados de carga con PBV no superior a 3500 kg, como camionetas, furgonetas de carga y camiones ligeros.
- N2: Vehículos motorizados de carga con PBV mayor a 3500 kg y menor o igual a 12000 kg, como camiones livianos.
- N3: Vehículos motorizados de carga con PBV mayor a 12000 kg, como tractocamiones y vehículos especializados.

El reglamento también hace referencia a documentos normativos adicionales que son relevantes para la aplicación de la clasificación vehicular, como la norma NTE INEN-ISO 3833 que define términos y definiciones específicos para vehículos automotores.

2.2.3 *Análisis de flujo vehicular*

En “Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones” (Cal y Mayor, 2018: p. 302) se considera al análisis de flujo vehicular como una herramienta fundamental en el planeamiento, diseño y operación de carreteras, calles y sistemas de transporte. A través de la aplicación de las leyes de la física y las matemáticas, se pueden entender las características y el comportamiento del tráfico, lo que permite determinar la eficiencia de su funcionamiento. El análisis del flujo vehicular se basa en el desarrollo de modelos microscópicos y macroscópicos que relacionan diferentes variables, como el volumen de tráfico, la velocidad de los vehículos, la densidad de vehículos en la vía, el intervalo entre vehículos y el espaciamiento entre ellos. Estos modelos han sido la base para el desarrollo de conceptos como la capacidad y los niveles de servicio en diferentes tipos de vías.

El objetivo principal del análisis del flujo vehicular es proporcionar una comprensión de las metodologías e investigaciones relevantes en este tema, centrándose en aspectos como la relación entre las variables del flujo vehicular, la descripción casual del flujo de tráfico, la distribución de vehículos en una vía y las distribuciones estadísticas utilizadas en el diseño y control del tránsito.

2.2.3.1 *Variables Principales*

- **Flujo:** La tasa de flujo, o flujo (q), es la frecuencia a la que los vehículos pasan por un punto en una vía. Se expresa en vehículos por minuto (veh/min) o vehículos por segundo (veh/s), aunque también puede expresarse en vehículos por hora (veh/h). Es importante destacar que la tasa de flujo en veh/h no representa necesariamente el número exacto de vehículos que pasan en una hora completa, sino una estimación teórica basada en la tasa medida en un intervalo de tiempo específico. Variaciones en el flujo vehicular pueden afectar la cantidad real de vehículos que pasan en una hora. Factores como el tráfico y los patrones de flujo deben tenerse en cuenta al interpretar la tasa de flujo. (Cal y Mayor, 2018: p. 302).
- **Velocidad:** En términos generales, la velocidad se define como la relación entre la distancia recorrida y el tiempo que se tarda en recorrerla. Para los vehículos, esto representa su movimiento y se suele expresar en kilómetros por hora (km/h). En el caso de una velocidad constante, se establece una relación lineal entre la distancia y el tiempo, según una fórmula específica. (Cal y Mayor, 2018: p. 257).

- **Densidad:** se refiere al número de vehículos que ocupan una longitud específica de una vía en un momento determinado. Se suele expresar en vehículos por kilómetro (veh/km), ya sea para un carril o para todos los carriles de una calzada. La forma de calcular el volumen de tráfico puede variar según la figura o método utilizado. (Cal y Mayor, 2018: p. 309).

2.2.4 Intersecciones

Una intersección se define como el área general donde dos o más carreteras se unen o se cruzan, incluyendo la calzada y las instalaciones adyacentes para el flujo de tráfico dentro del área. El diseño de las intersecciones afecta significativamente la eficiencia, seguridad, velocidad, costo operativo y capacidad de la infraestructura vial, estas involucran movimientos de vehículos y peatones, incluyendo maniobras de giro entre las vías intersecadas.

Se emplean diversos diseños geométricos y medidas de control de tráfico para facilitar estos movimientos según el tipo de intersección. El objetivo principal del diseño de intersecciones es garantizar la comodidad, facilidad y seguridad de los usuarios, al tiempo que se promueve el flujo fluido de vehículos, bicicletas, peatones y otros modos de transporte. Al diseñar una intersección, se deben considerar cinco elementos clave: factores humanos como el comportamiento del conductor y el uso peatonal, consideraciones de tráfico que incluyen capacidad y características del vehículo, elementos físicos como distancia de visibilidad y características geométricas, factores económicos que incluyen costos y consumo de energía, y el área funcional de la intersección. (AASHTO, 2001: pp. 559-745)

2.2.4.1 Tipos de intersecciones básicas

Según la (AASHTO, 2001: pp. 559-745) los diferentes tipos básicos de intersecciones, como las de tres ramales, cuatro ramales y múltiramales, se determinan según el número de vías que se cruzan, la topografía, el carácter de las carreteras, los volúmenes de tráfico y la operación deseada.

a) Intersección de tres ramales (T o Y)

La intersección en forma de T o Y es el tipo más común y se utiliza en cruces de vías menores o locales con vías más importantes. En áreas rurales, se utiliza en carreteras de dos carriles con poco tráfico, mientras que en áreas suburbanas o urbanas puede ser adecuada para

volúmenes más altos y carreteras de varios carriles, conforme (AASHTO, 2001: pp. 559-745) la figura N° 1-2 que se representa a continuación:

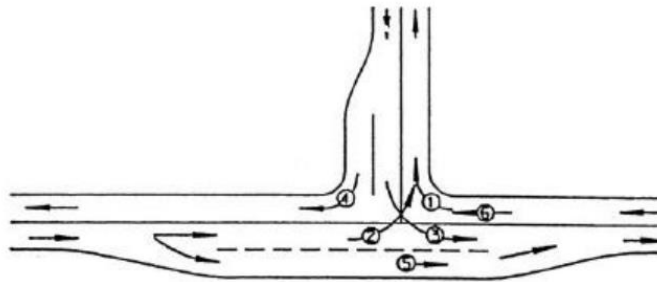


Figura 1-2. Intersección en T

Fuente: AASHTO, (2001)

b) Intersección de cuatro ramales (Cruz)

Constituyen el tipo más común de cruce entre dos vías convencionales. En este tipo de intersección, el ángulo formado por las dos vías no debe desviarse más de 20 grados de un ángulo recto; de lo contrario, se clasifica como una intersección en forma de X. En otras palabras, cuando las vías se cruzan formando un ángulo cercano a los 90 grados, se considera una intersección en cruz estándar. Sin embargo, si el ángulo de cruce es mayor, creando una forma similar a la letra X, se trata de una intersección en forma de X. Se la representa a continuación conforme (AASHTO, 2001: pp. 559-745) la figura N° 2-2.

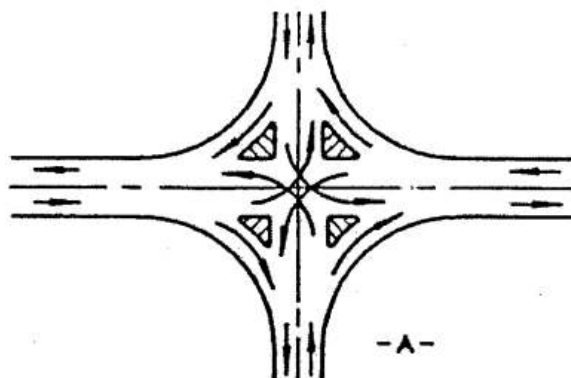


Figura 2-2. Intersección en Cruz

Fuente: AASHTO, (2001)

c) Intersección Multiramales:

Aquellos cruces que tienen cinco o más ramales deben evitarse en la medida de lo posible. En lugares donde se requieren este tipo de intersecciones, puede ser aceptable que todos los ramales se crucen en un área pavimentada común, especialmente si los volúmenes de tráfico son bajos. Sin embargo, en intersecciones más importantes, suele ser beneficioso mejorar la eficiencia del tráfico mediante una reconfiguración. Esto puede implicar la realineación de algunos ramales que se cruzan, la combinación de ciertos movimientos de tráfico en intersecciones subsidiarias cercanas, o la conversión de algunas vías en en operación unidireccional alejándose de la intersección (AASHTO, 2001: pp. 559-745) como lo muestra la figura N° 3-2.

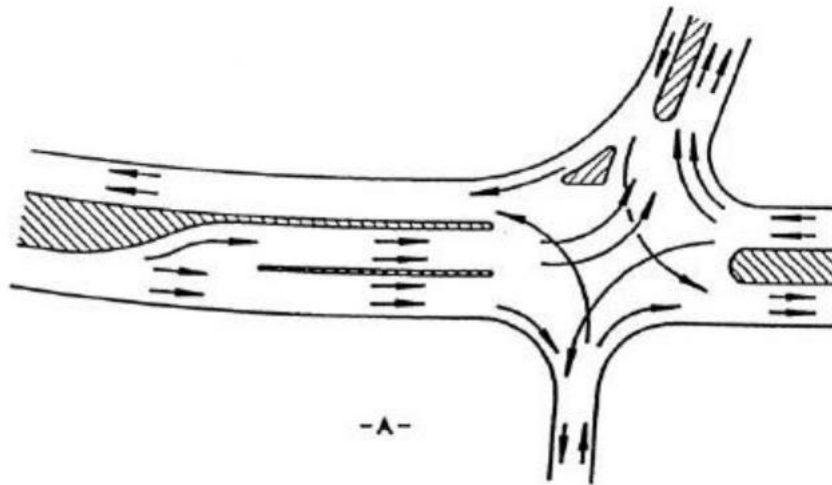


Figura 3-2. Intersección Multibrazo

Fuente: AASHTO, (2001)

d) Rotondas

Un redondel o rotonda es una forma de intersección circular en la que el tráfico fluye en sentido contrario a las agujas del reloj alrededor de una isla central, y donde los vehículos que se incorporan deben ceder el paso a los que ya circulan. (NCHRP, 2010, p.3) como lo muestra la figura N° 4-2.

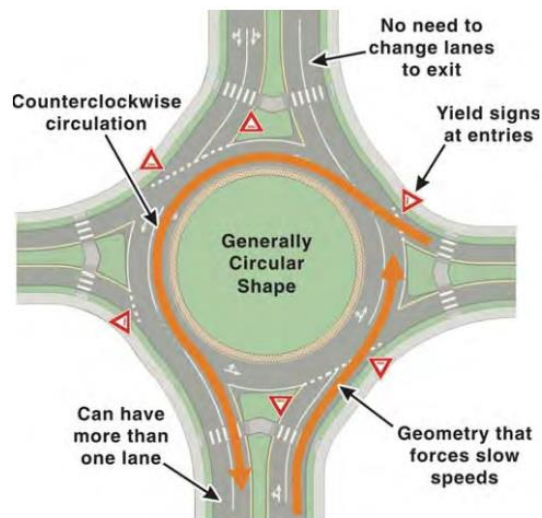


Figura 4-2. Redondel o rotonda

Fuente: NCHRP, 2010 (Roundabouts: An Informational Guide. Report 672)

2.2.4.2 Intersecciones reguladas por semáforos

Las intersecciones semaforizadas son reguladas mediante dispositivos de control electrónicos que se ajustan según el volumen de tráfico, priorizando diferentes movimientos y modos de transporte. La implementación de olas verdes, basada en la distancia entre las intersecciones, permite regular el tránsito de manera fluida y segura. Sin embargo, estas intersecciones también conllevan costos de instalación y mantenimiento, además de generar conflictos en los giros a la izquierda en intersecciones complejas. En resumen, las intersecciones semaforizadas son una forma efectiva de regular el tráfico, pero tienen desventajas económicas y pueden generar complicaciones en ciertos escenarios. A continuación, en la figura N° 5-2 se muestra un ejemplo de intersección semaforizada.



Figura 5-2. Intersección semaforizada

Fuente: CULCyT, 2015 (Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. 2015)

2.2.4.3 Intersecciones reguladas por señales

Son intersecciones en donde se usan señales de tráfico para el control en uno o más puntos de la vía, considerando su jerarquización y direccionalidad. Según (Depiante y Galarraga, 2011: p.1) en este tipo de intersecciones, es común encontrar situaciones en las que cada conductor debe buscar el momento adecuado y seguro para realizar la maniobra deseada, no hay una regulación específica del tráfico, por lo que los conductores deben ejercer su juicio y habilidades para tomar decisiones seguras en cuanto a cuándo y cómo realizar sus movimientos.

a) Señal Vertical Pare

De acuerdo a lo establecido en (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2011), el disco Pare se instalará en las aproximaciones a las intersecciones, donde una de las vías tiene prioridad con respecto a la otra, y obliga a parar al vehículo frente a esta señal antes de entrar a la intersección, véase la figura N° 6-2.



Figura 6-2. Señal Vertical Pare

Fuente: RTE INEN 004 “Señalización Vial Parte 1” (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2011).

b) Señal Vertical Ceda el Paso

Conforme el (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2011), el disco Ceda el paso se utiliza en aproximaciones a intersecciones donde ceder el paso tienen una buena visibilidad sobre el tráfico de la vía mayor (principal), véase la figura N° 7-2.



Figura 7-2. Señal Vertical Ceda el paso

Fuente: RTE INEN 004 “Señalización Vial Parte 1” (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2011).

2.2.4.4 Puntos de conflicto

Existen tres tipos de puntos de conflicto que pueden ocurrir en una intersección. El primero es el punto de divergencia, donde una trayectoria común se separa en diferentes direcciones, mismo que se lo detalla en la Figura N° 8-2.

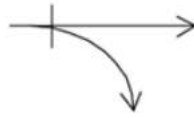


Figura 8-2. Punto de divergencia

Fuente: CULCyT, 2015 (Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. 2015)

El segundo es el punto de convergencia, donde dos o más trayectorias se unen para formar una trayectoria común, como lo indica la figura N° 9-2.

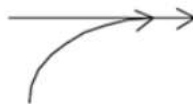


Figura 9-2. Punto de convergencia

Fuente: CULCyT, 2015 (Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. 2015)

Por último, el tercer punto de conflicto es el punto de cruce, donde dos trayectorias diferentes ocupan temporalmente el mismo sitio en el tiempo y el espacio, conforme la figura N° 10-2.

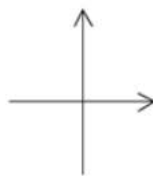


Figura 10-2. Punto de cruce

Fuente: CULCyT, 2015 (Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. 2015)

En la figura N° 11-2, se muestra el detalle de una intersección en cruz con cada uno de sus posibles puntos conflictivos, este diseño se lo encuentra comúnmente en casi todas las vías urbanas.

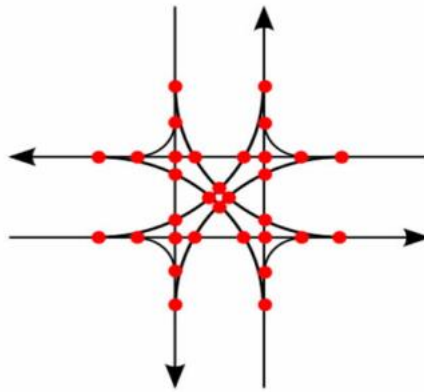


Figura 11-2. Punto de conflicto en una intersección con geometría tipo cruz

Fuente: CULCyT, 2015 (Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. 2015)

2.2.5 Generalidades de los drones (VANT)

(Arenas, G. et al., 2019: p.12) menciona que los términos Drones, RPAS, UAVs y VANTs son utilizados indistintamente, aunque existen algunas diferencias interesantes. RPAS significa Remotely Piloted Aircraft System, término que es utilizado en la legislación ecuatoriana. Por su parte, la palabra "dron" proviene del inglés "drone", que a su vez hace referencia a la abeja macho. Generalmente, los términos UAV y drone se usan en el ámbito militar, mientras que RPAS se utiliza en el ámbito civil, aunque en la actualidad se emplean de manera intercambiable. En cuanto a los sensores esenciales de un VANT, se mencionan cinco: GPS para la ubicación, acelerómetro para medir la aceleración, altímetro para regular la altura, giroscopio para calcular el ángulo y brújula para determinar la ubicación del norte. Además, algunos VANTs también cuentan con sensores de proximidad para detectar obstáculos cercanos.

2.2.5.1 Tipo de drones (VANTs)

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos clasifica los VANTs (vehículos aéreos no tripulados) en diferentes grupos según su tamaño, peso, altitud de operación y velocidad. Estos grupos incluyen pequeños, medianos, grandes, muy grandes y colosales. Por ejemplo, el VANT Ikhana de la NASA se encuentra entre los más grandes, con una envergadura de alas de 20 metros y una longitud de aproximadamente 11 metros.

También existen drones muy pequeños, de 30 a 50 cm de longitud, que se utilizan para espionaje y ataques biológicos. Estos pueden tener alas rotatorias o estructuras que les permiten volar como insectos. (Arenas, G. et al., 2019: pp.13-14).

Otra clasificación de los drones se basa en el tipo de ala que utilizan para volar:

2.2.5.2 *Ala fija*

Poseen alas rígidas, pueden volar a altitudes más altas, son más fáciles de pilotar y pueden transportar equipos pesados a largas distancias. Sin embargo, no pueden quedarse suspendidos en un lugar. Los drones del tipo ala alta tienen las alas en la parte superior del fuselaje, mientras que los de ala baja las tienen en la parte inferior y los de ala media las ubican en la parte media del fuselaje. Véase la figura N° 12-2.



Figura 12-2. Dron de ala fija

Fuente: Piloto de Dron (RPAs), 2016

2.2.5.3 *Rotatorios*

Pueden ser helicópteros o multirrotores. Los multirrotores pueden tener diferentes configuraciones de hélices, como cuatro, seis u ocho. A diferencia de los drones de ala fija, los multirrotores pueden quedarse suspendidos en el aire. También hay multirrotores coaxiales que tienen dos motores por brazo, lo que reduce el peso, pero afecta la eficiencia aerodinámica. Véase la figura N° 13-2.



Figura 13-2. Dron de ala fija

Fuente: Piloto de Dron (RPAs), 2016

2.2.5.4 *Mixtos o híbridos*

Combinan características de los drones de ala fija y los rotatorios. Estos pueden despegar y aterrizar verticalmente, gracias a las alas rotatorias, y también pueden alcanzar altas velocidades con el ala fija. Sin embargo, estos drones son más complejos en términos de diseño y sistemas.

2.2.6 *Legislación vigente*

En Ecuador existe una normativa elaborada por la Dirección de Aviación Civil, misma que se refiere a la RESOLUCIÓN NRO. DGAC-DGAC-2020-0110-R – OPERACIÓN DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA RPAS en la cual se establece los requisitos y regulaciones para la operación de aeronaves pilotadas a distancia (RPAs) en Ecuador. Esta normativa aplica a las operaciones civiles de RPAs cuyo peso máximo al despegue sea superior a 0.25 kg y menor o igual a 150 kg, así también entre los puntos a considerar menciona que:

- Se prohíbe la operación de aeronaves que excedan los 150 kg de peso máximo al despegue. Se permiten permisos especiales para operaciones de RPAs con fines de investigación científica, innovación y desarrollo.
- Las reglas no se aplican a operaciones de aeromodelismo, RPAs con un peso máximo al despegue de menos de 0.25 kg, globos fijos, cometas, cohetes y aeronaves radiocontroladas.

- Las operaciones realizadas por las Fuerzas Armadas, Aduanas o Policía Nacional dentro de sus funciones también están exentas.
- Se requiere que las operaciones de RPAs se realicen de manera segura y sin poner en peligro a las personas, bienes y fauna.
- El operador es responsable de la seguridad de cada vuelo y debe suspenderlo si se presentan condiciones de peligro.
- Se abordan temas como la responsabilidad del operador, las restricciones de operación en diferentes circunstancias (demostraciones aéreas, eventos deportivos, etc.), el cumplimiento de las leyes y regulaciones locales, la altura máxima de vuelo, las operaciones cerca de aeródromos o zonas prohibidas, y los procedimientos de emergencia, entre otros aspectos.
- Se establecen requisitos de registro de las RPAs, seguros de responsabilidad civil, informe de accidentes o pérdidas, inspecciones por parte de la autoridad competente, autorizaciones especiales de vuelo y autorización de operadores de RPAs.

En resumen, el reglamento establece las reglas y requisitos para la operación segura y legal de las RPAs en Ecuador, con el objetivo de garantizar la seguridad de las operaciones aéreas y proteger a las personas y propiedades.

2.2.7 Elevación, altura y altitud

Según (Piloto de Dron RPAs, 2016) el ámbito del vuelo es fundamental contar con una comprensión de conceptos básicos que están relacionados con la distancia vertical entre una aeronave y un punto de referencia específico.

2.2.7.1 Elevación

Se refiere a la distancia vertical entre un punto en el terreno y el nivel medio del mar.

2.2.7.2 *Altura*

Se define como la distancia vertical entre el nivel de una aeronave y un punto de referencia específico en el terreno.

2.2.7.3 *Altitud*

Es la distancia vertical entre el nivel de una aeronave y el nivel medio del mar.

2.2.7.4 *Altitud de densidad*

Se refiere a la altitud correspondiente a una densidad atmosférica específica en la atmósfera estándar. Esta medida se obtiene ajustando la altitud de presión según la temperatura, y se utiliza para evaluar el rendimiento de la aeronave y el sistema propulsor durante las fases de despegue, ascenso y aterrizaje.

2.2.7.5 *Altitud de presión*

Se define como la altitud de una superficie de presión en la atmósfera estándar. Para determinarla, se calibra el altímetro a una presión estándar de 1013,2 hPa.

Estas definiciones se las representa a continuación conforme la figura N° 14-2.

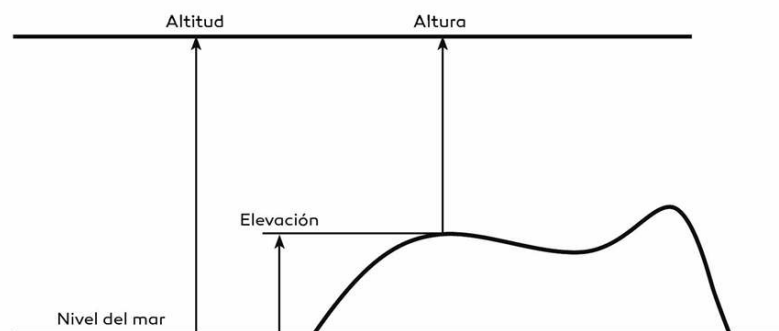


Figura 14-2. Definición grafica de altitud, altura y elevación

Fuente: Piloto de Dron (RPAs), 2016

2.2.8 Perfil de vuelo

El vuelo de una aeronave requiere generar un desequilibrio de fuerzas que permita que la sustentación sea mayor que el peso. Además, en las aeronaves de ala fija, también es necesario superar la resistencia con el empuje. Una vez en el aire, la aeronave sigue una trayectoria ajustada a las necesidades de ascenso, descenso y vuelo recto requeridas por el piloto. Véase la figura N° 15-2.



Figura 15-2. Diagrama del perfil de vuelo

Fuente: Piloto de Dron (RPAs), 2016

2.2.8.1 Ascenso

Es la trayectoria en la que la aeronave se eleva desde el suelo o una altitud inferior. Para lograrlo, el RPA debe superar su propio peso aumentando la sustentación. En los multirrotores, esto se logra mediante el aumento de la potencia de los rotores, lo que incrementa la velocidad de giro y, a su vez, la sustentación. En los aviones, se necesita generar una fuerza de empuje mayor que la resistencia, especialmente a mayores ángulos de ascenso, para equilibrar la componente del peso paralela a la trayectoria de vuelo. El ascenso se logra modificando la trayectoria de vuelo y manteniendo un equilibrio de fuerzas. Véase la figura N° 16-2.

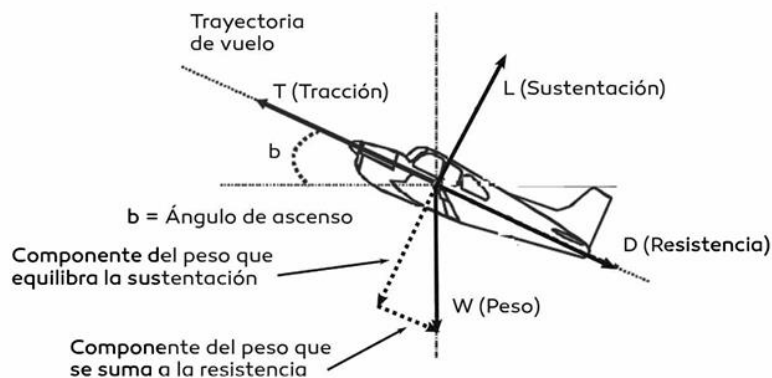


Figura 16-2. Fuerzas que se desarrollan en un RPAs de ala fija.

Fuente: Piloto de Dron (RPAs), 2016

2.2.8.2 Crucero

Durante esta fase, el RPA sigue una trayectoria rectilínea horizontal (vuelo recto y nivelado) en la que las fuerzas permanecen en equilibrio. La sustentación es igual al peso y el empuje es igual a la resistencia. En helicópteros o multirrotores, la fuerza de empuje hacia adelante se genera mediante la sustentación de los rotores. Al inclinarse hacia adelante, se crea una fuerza horizontal que proporciona empuje. Para mantener el vuelo horizontal, es necesario aumentar la sustentación del rotor, ya que, al inclinarse, la sustentación resultante se reduce. Véase la figura N° 17-2.

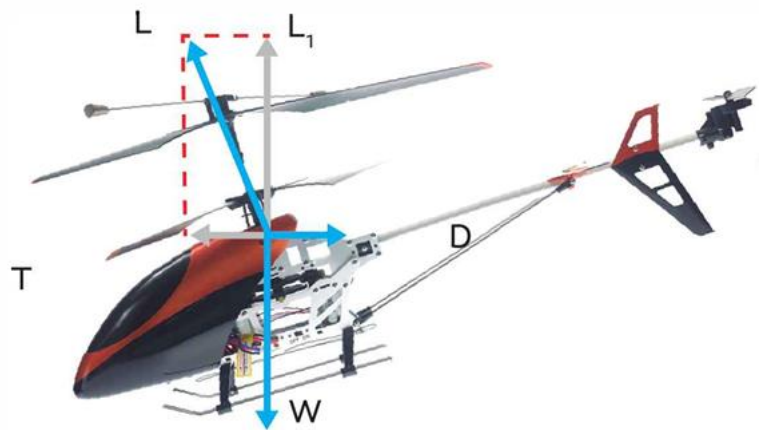


Figura 17-2. Fuerzas que intervienen en la fase crucero.

Fuente: Piloto de Dron (RPAs), 2016

2.2.8.3 Estacionario

El vuelo estacionario solo es posible en helicópteros y multirrotores, ya que pueden mantenerse en el aire sin moverse, a diferencia de los aviones u otras aeronaves. En esta situación, las fuerzas se mantienen en equilibrio, siendo la sustentación igual al peso.

2.2.8.4 Descenso

El descenso de un RPA ocurre cuando se reduce la fuerza de sustentación mediante la disminución de potencia, ángulo de ataque o velocidad, lo que resulta en una trayectoria de vuelo descendente.

2.2.9 *Visión por computadora*

Según (Ascensio, 2014: p.11) menciona que la Visión artificial, se refiere a la emulación de la percepción visual humana mediante el uso de dispositivos de captura de imágenes y técnicas de procesamiento. Su objetivo principal es obtener información del mundo tridimensional que pueda ser interpretada y manipulada por computadoras para lograr resultados específicos. En resumen, la Visión por computadora se centra en mejorar la calidad de las imágenes y procesar la información de la escena para que las máquinas puedan percibirla automáticamente.

Actualmente, la visión artificial es ampliamente utilizada en diversas áreas, ya que permite automatizar tareas y superar limitaciones físicas humanas, como acceder a lugares peligrosos, realizar monitoreos ininterrumpidos y obtener una visión libre de distracciones o influencias de salud, entre otros beneficios.

Así también se mencionan algunos ejemplos de áreas de conocimiento como es la percepción remota donde se aplica el uso de esta tecnología:

- Soporte en cartografía.
- Monitoreo de recursos naturales.
- Control de desastres naturales e incendios.
- Clasificación de cultivos.
- Aforos de patrones psicológicos.
- Detección de movimientos.

2.2.10 *Procesamiento de imágenes*

Es el conjunto de técnicas y métodos utilizados para tratar imágenes, con el objetivo de extraer, mejorar y manipular sus parámetros y características. Estas técnicas se dividen en tres categorías principales:

2.2.10.1 *Técnicas de mejora de imágenes*

Se enfocan en modificar la imagen para mejorar su calidad, procesarla de manera más rápida o prepararla para eliminar parámetros no deseados. Algunos ejemplos incluyen el uso de filtros espaciales, binarización, ecualización, dilatación morfológica, compresión, umbralización, entre otros.

2.2.10.2 Extracción de características

Se utilizan para eliminar parámetros no deseados y detectar aquellos que son relevantes en la imagen. Algunos ejemplos son la segmentación, detección de contornos y esquinas, entre otros.

2.2.10.3 Manipulación de parámetros

Se centran en procesar los parámetros de los objetos extraídos y de interés para producir resultados específicos, algunos ejemplos incluyen la relación de distancias, relación de conectividad, análisis de frecuencias, transformaciones, interpolación, traslación, entre otros. Es importante destacar que estas técnicas pueden desempeñar diferentes roles según el caso, por ejemplo, una relación de distancias o de conectividad también puede ser utilizada como técnica para mejorar una imagen.

2.3 Marco Conceptual

Durante el proceso de la investigación intervienen los siguientes términos, que se detallan y definen a continuación:

- **Análisis del flujo vehicular:** Estudio de la cantidad, velocidad y patrones de movimiento de los vehículos en una intersección urbana.
- **Drones:** Dispositivos voladores no tripulados controlados de forma remota que pueden capturar imágenes y recopilar datos desde una perspectiva aérea.
- **Evaluación:** Proceso de examinar y analizar el desempeño, la eficacia o el impacto de una herramienta o tecnología en particular.
- **Herramienta:** Un instrumento, equipo o recurso utilizado para facilitar una tarea o alcanzar un objetivo determinado.
- **Intersecciones urbanas:** Puntos de encuentro donde se cruzan diferentes calles o carreteras en un entorno urbano.
- **Monitorización:** Proceso de seguimiento y observación continua de un fenómeno o sistema para recopilar datos y obtener información relevante

- **Patrones de tráfico:** Comportamientos recurrentes o tendencias en el flujo de vehículos en una intersección, como horas pico, congestión o cambios estacionales.
- **Precisión:** Grado de exactitud y confiabilidad de los datos o mediciones obtenidas mediante el uso de drones en el análisis del flujo vehicular.
- **Procesamiento de imágenes:** Transformación y análisis de imágenes capturadas por los drones para extraer información y generar resultados significativos.
- **Seguridad vial:** Medidas y condiciones que garantizan la protección y el bienestar de los usuarios de la vía pública, incluyendo la prevención de accidentes de tráfico.
- **Sensores:** Dispositivos integrados en los drones para capturar datos relacionados con el flujo vehicular, como cámaras, sistemas de posicionamiento global (GPS) o lidar.
- **Sistemas de análisis de datos:** Herramientas y algoritmos utilizados para procesar y extraer información valiosa a partir de los datos recopilados por los drones.
- **Tiempo de respuesta:** El lapso necesario para que los drones capturen, procesen y proporcionen datos sobre el flujo vehicular en una intersección urbana.
- **Validación:** Proceso de confirmación y verificación de la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos mediante el uso de drones en el análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas.

2.4 Identificación de variables

2.4.1 *Variable independiente:*

Uso de drones

2.4.2 *Variable dependiente:*

Análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas

2.5 Operacionalización de variables

VARIABLE	TIPO DE VARIABLES	CONCEPTO	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO
USO DE DRONES	V. INDEPENDIENTE	IMPLICA LA UTILIZACIÓN DE DRONES EQUIPADOS CON CÁMARAS U OTROS SENSORES PARA CAPTURAR IMÁGENES O RECOPIRAR DATOS SOBRE EL TRÁFICO EN INTERSECCIONES CONFLICTIVAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA	FRECUENCIA DE USO COBERTURA DEL ÁREA CALIDAD DE DATOS RECOPIRADOS	OBSERVACIÓN	FICHA DE OBSERVACIÓN DRON
ANÁLISIS DEL FLUJO VEHICULAR EN INTERSECCIONES CONFLICTIVAS	V. DEPENDIENTE	EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS EN INTERSECCIONES CONFLICTIVAS, CON EL OBJETIVO DE COMPRENDER Y ANALIZAR CÓMO SE DESARROLLA Y SE VE AFECTADO EL FLUJO DE TRÁFICO EN ESTAS ÁREAS.	VOLUMEN VEHICULAR DENSIDAD	OBSERVACIÓN	FICHA DE OBSERVACIÓN SOFTWARE DE ANÁLISIS DE TRANSITO

2.6 Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
<p>GENERAL</p> <p>¿EN QUÉ MEDIDA LOS DRONES PUEDEN SER UNA HERRAMIENTA EFECTIVA PARA ANALIZAR EL FLUJO VEHICULAR EN INTERSECCIONES CONFLICTIVAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA Y CÓMO SE COMPARAN CON LOS MÉTODOS TRADICIONALES EN TÉRMINOS DE PRECISIÓN, COSTO Y VIABILIDAD TÉCNICA?</p> <p>ESPECÍFICAS</p> <p>¿CUÁL ES LA PRECISIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS DATOS RECOPIADOS POR LOS DRONES EN COMPARACIÓN CON LOS MÉTODOS TRADICIONALES DE RECOPIACIÓN DE DATOS EN INTERSECCIONES URBANAS?</p> <p>¿CUÁL ES LA VIABILIDAD TÉCNICA Y OPERATIVA DEL USO DE DRONES PARA EL ANÁLISIS DEL FLUJO VEHICULAR EN TÉRMINOS DE COSTO, TIEMPO Y COBERTURA DE ÁREAS GEOGRÁFICAS?</p> <p>¿CUÁLES SON LOS DESAFÍOS Y LIMITACIONES ASOCIADOS CON EL USO DE DRONES EN LA RECOPIACIÓN DE DATOS DEL FLUJO VEHICULAR EN INTERSECCIONES URBANAS, COMO CONDICIONES CLIMÁTICAS, REGULACIONES DE VUELO, PRIVACIDAD E INFRAESTRUCTURA?</p>	<p>EVALUAR EL USO DE DRONES COMO HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS DEL FLUJO VEHICULAR EN INTERSECCIONES CONFLICTIVAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA.</p>	<p>LA UTILIZACIÓN DE DRONES COMO HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS DEL FLUJO VEHICULAR EN INTERSECCIONES CONFLICTIVAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA PROPORCIONARÁ DATOS MÁS PRECISOS Y DETALLADOS EN COMPARACIÓN CON LOS MÉTODOS TRADICIONALES, PERMITIENDO DE ESTA MANERA MEJORAR EL ANÁLISIS DEL TRÁFICO EN ESTAS ÁREAS PROBLEMÁTICAS.</p>	<p>V. INDEPENDIENTE</p> <p>USO DE DRONES</p>	<p>FRECUENCIA DE USO</p> <p>COBERTURA DEL ÁREA</p> <p>CALIDAD DE DATOS RECOPIADOS</p>	<p>OBSERVACIÓN</p>	<p>DRON</p>
			<p>V. DEPENDIENTE</p> <p>ANÁLISIS DEL FLUJO VEHICULAR EN INTERSECCIONES CONFLICTIVAS</p>	<p>VOLUMEN VEHICULAR</p> <p>DENSIDAD</p>	<p>OBSERVACIÓN</p>	<p>FICHA DE OBSERVACIÓN</p> <p>SOFTWARE DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES</p>

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACION

3.1 Tipo y diseño de la investigación

El tipo de investigación es experimental, lo que implicó la manipulación controlada de variables para evaluar el uso de drones en el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas. A través de la experimentación, se buscó establecer una relación causal entre el uso de drones y los resultados obtenidos en el análisis del flujo vehicular. En cuanto al diseño es longitudinal debido a que se recopilan datos a lo largo del tiempo para examinar cambios y tendencias en los resultados.

3.2 Métodos de investigación

3.2.1 *Método inductivo*

Se recopilaron datos concretos y específicos sobre el flujo vehicular mediante la observación directa con drones y la recolección de información. A partir de estos datos, se derivaron conclusiones generales sobre la eficacia y viabilidad del uso de drones en el análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas. Este enfoque permitió establecer patrones y tendencias a partir de la información empírica recopilada.

3.2.2 *Método deductivo*

Se partió de la hipótesis y teorías previas relacionadas con el uso de drones y el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas a través de la recolección de datos y el análisis, con el fin de verificar o refutar estas hipótesis, el enfoque deductivo permitió establecer relaciones causales y contrastar las teorías existentes con la evidencia obtenida.

3.2.3 *Método analítico*

Se analizaron los datos recopilados de manera detallada y se desagregaron componentes más pequeños para comprender mejor las características y los patrones del flujo vehicular en las intersecciones conflictivas. Este método permitió examinar las variables relevantes y sus relaciones, identificando factores influyentes y realizando comparaciones entre diferentes situaciones y escenarios.

3.2.4 *Método sintético*

Se integraron los diferentes aspectos y variables relacionados con el uso de drones y el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas para construir un panorama general y coherente. Este método permitió comprender la interacción entre los distintos elementos y cómo contribuyen a la eficacia de los drones como herramienta de análisis.

3.2.5 *Método sistémico*

Se consideró el sistema completo de interacciones y relaciones que influyen en el flujo vehicular en intersecciones urbanas, incluyendo factores como la infraestructura vial, las regulaciones de tráfico, el comportamiento de los conductores, entre otros. Se analizó cómo el uso de drones se inserta en este sistema y cómo puede afectar y mejorar el análisis del flujo vehicular en el contexto urbano.

3.3 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es cualitativo-cuantitativo, esto significa que se recopilaron datos cuantitativos sobre el flujo vehicular, como el número de vehículos, la velocidad promedio, la densidad del tráfico, etc., mediante el uso de drones, para obtener una visión cuantitativa y objetiva de la situación. Además, se recolectaron datos cualitativos sobre la efectividad y las limitaciones del uso de drones en este contexto, a través de observaciones y análisis de casos específicos. De esta manera, se obtuvo una comprensión más completa y enriquecedora del tema de investigación.

3.4 Alcance de la investigación

En términos descriptivos, se buscará obtener una comprensión detallada de cómo los drones pueden contribuir al análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas. Se describirán las características técnicas de los drones utilizados, como las capacidades de las cámaras y sensores, así como los protocolos de vuelo y las técnicas de captura de datos empleadas.

En cuanto al alcance correlacional, se buscará establecer relaciones entre el uso de drones y los resultados obtenidos en el análisis del flujo vehicular. Se explorarán posibles correlaciones entre las mediciones realizadas por los drones (como el conteo de vehículos, la velocidad promedio, los tiempos de espera, etc.) y las condiciones del tráfico en las intersecciones urbanas estudiadas.

El alcance de la investigación también será explicativo, ya que se buscará comprender en qué medida el uso de drones pueden mejorar el análisis del flujo vehicular en comparación con otras metodologías tradicionales, como la observación manual o el uso de sensores fijos. Se examinarán las ventajas y desventajas de los drones en términos de precisión, eficiencia y costo.

Además, la investigación tendrá un componente exploratorio, ya que se trata de un tema relativamente nuevo y en constante evolución. Se explorarán nuevas posibilidades y enfoques para el uso de drones en el análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas, así como las implicaciones prácticas y técnicas asociadas a su implementación.

3.5 Población de estudio

La población de estudio comprende un grupo específico de intersecciones identificadas como conflictivas las cuales han sido establecidas en el (Plan de Movilidad del Cantón Riobamba, 2019: pp. 349-348) identificando un total de 46 intersecciones en base a este estudio. Cada una de estas intersecciones presenta deficiencias operacionales que afectan su funcionamiento eficiente y seguro para el flujo vehicular. El detalle de estas se presenta a continuación:

Tabla 1-3: Intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba

Nº	INTERSECCIÓN	REFERENCIA
1	Av. Pedro Vicente Maldonado y Av. Monseñor Leónidas Proaño (By Pass)	Semaforizada
2	Av. 9 de Octubre y Carabobo / Av. Atahualpa	Semaforizada
3	Gonzalo Dávalos con Los Nogales y Los Cipreses	Semaforizada
4	Gonzalo Dávalos y Brasil	No semaforizada
5	Av. Gonzalo Dávalos y Uruguay	No semaforizada
6	Av. Héroes de Tapi / AV. La Prensa con Gonzalo Dávalos	Redondel
7	Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres / Vía Adyacente a Canal de Riego / Vía de Acceso a Residencias Militares	Semaforizada
8	Av. José Antonio de Lizarzaburu y Av. Saint Amand Montrond	Semaforizada
9	Av. José Antonio de Lizarzaburu y Av. Monseñor Leónidas Proaño (By Pass)	Semaforizada
10	Av. Antonio José de Sucre y Av. Héroes de Tapi / calle México	Redondel

11	Av. Antonio José de Sucre y calle Begonias	Semaforizada
12	Av. 9 de Octubre y Espejo	No semaforizada
13	Av. 9 de Octubre y García Moreno / Santa Isabel	No semaforizada
14	Av. 9 de Octubre y Reino Unido	No semaforizada
15	Av. La Prensa / Av. Milton Reyes / Princesa Toa	Semaforizada
16	Av. Pedro Vicente Maldonado con Av. La Prensa / 9 de Julio / Calle SN	Redondel
17	Av. La Prensa y Av. Unidad Nacional	Redondel
18	Av. Pedro Vicente Maldonado y Av. 9 de Octubre	Semaforizada
19	Av. Pedro Vicente Maldonado y Av. Saint Amand Montrond	Semaforizada
20	Av. 9 de Octubre y Av. Leopoldo Freire	Semaforizada
21	Av. 9 de Octubre y Madrid / Suiza	No semaforizada
22	Av. Unidad Nacional con Francia / Av. Miguel Ángel León	Semaforizada
23	Av. Daniel León Borja con Av. Carlos Zambrano y Manuel Elicio Flor	Semaforizada
24	Av. Miguel Ángel León y José Veloz	Semaforizada
25	Av. La Prensa con Av. José Antonio de Lizaraburu / Av. Manuel Elicio Flor	Semaforizada
26	Av. Pedro Vicente Maldonado y Entrada a la ESPOCH	No semaforizada
27	Av. Pedro Vicente Maldonado y AV. 11 de Noviembre	Semaforizada
28	Av. Edelberto Bonilla con Alvarado y Araujo Chiriboga	Semaforizada
29	Av. Edelberto Bonilla y Loja	No semaforizada
30	Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile	No semaforizada
31	Av. Juan Félix Proaño y Olmedo	Redondel
32	Av. Daniel León Borja y Duchicela	No semaforizada
33	Av. Miguel Ángel León y José Orozco	No semaforizada
34	Antonio Santillán y Bolívar Bonilla	No semaforizada
35	Av. Edelberto Bonilla con Caracas / Costa Rica	Semaforizada

36	Av. Edelberto Bonilla y Av. Celso Rodríguez	Semaforizada
37	Av. Edelberto Bonilla y Puruhá	No semaforizada
38	Av. Edelberto Bonilla y Rocafuerte / Vicente Ramón Roca	No semaforizada
39	Av. Edelberto Bonilla y Mns. José Ignacio / Patria Libre	No semaforizada
40	Av. Edelberto Bonilla y Av. Alfonso Chávez / Espejo	Redondel
41	Av. Edelberto Bonilla y Juan de Dios Martínez / García Moreno	No semaforizada
42	Av. Edelberto Bonilla y Juan Montalvo / José María Velasco Ibarra	No semaforizada
43	Av. La Prensa con Av. Daniel León Borja / Av. Canónico Ramos	Redondel
44	José de Orozco y Carlos Zambrano	No semaforizada
45	José de Orozco y Teniente Latus	No semaforizada
46	José de Orozco y Los Sauces	No semaforizada

Fuente: (Plan de Movilidad del Cantón Riobamba, 2019)

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

Por lo tanto, la población de estudio para esta investigación está compuesta por estas 46 intersecciones conflictivas específicas de la ciudad de Riobamba. Estas intersecciones serán objeto de evaluación en términos del uso de drones como herramienta para analizar el flujo vehicular en el marco de este estudio.

3.6 Unidad de análisis

La unidad de análisis seleccionada en el tema de investigación corresponde a las intersecciones conflictivas en sí mismas, ya que se evaluará el rendimiento de los drones en la obtención de datos precisos y detallados sobre el flujo vehicular en estas áreas específicas.

3.7 Selección de la muestra

Para asegurar una muestra representativa en la investigación es necesario seleccionar cuidadosamente las 5 intersecciones más problemáticas de tráfico en la ciudad. Estas intersecciones fueron previamente detalladas en el (Plan de Movilidad del Cantón Riobamba, 2019) donde se identificaron un total de 46 intersecciones conflictivas.

La elección de estas 5 intersecciones se justifica tanto en el Plan de Movilidad en mención, así como también debido a su relevancia en términos de los problemas de tráfico que representan a la ciudad de Riobamba, al enfocarse en las intersecciones más problemáticas, se podrá evaluar de manera más efectiva el impacto y la eficacia de los drones en el análisis del flujo vehicular en situaciones críticas.

Además, al evaluar el uso de drones como herramientas para el análisis del flujo vehicular en estas 5 intersecciones permitió abordar las deficiencias operativas más significativas que afectan el funcionamiento eficiente y seguro de las mismas, permitiendo realizar un análisis detallado que busca mejorar su desempeño y nivel de servicio, resultando en una mejora general en la movilidad y la seguridad vial en la ciudad de Riobamba.

3.8 Tamaño de la muestra

Al considerarse una muestra no probabilística, la muestra no se selecciona mediante un proceso basado en la probabilidad, sino que depende de razones relacionadas con las características y el contexto de la investigación. La selección de la muestra es realizada por el investigador o el equipo de investigación, y obedece a criterios específicos en lugar de seguir un enfoque mecánico o basado en fórmulas de probabilidad. (Hernández, 2018: p. 200)

Conforme lo expuesto, a continuación, se enumeran las intersecciones que forman parte de este grupo seleccionado:

Tabla 2-3: Intersecciones con mayores problemas de tráfico

Nº	INTERSECCIÓN	Referencia
1	Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado	Semaforizada
2	Av. José Antonio de Lizarzabururu con Agustín Torres y Vía Adyacente a Canal de Riego	Semaforizada
3	Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile	No semaforizada
4	Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja	Redondel
5	Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu	Semaforizada

Fuente: (Plan de Movilidad del Cantón Riobamba, 2019)

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

Estas intersecciones se consideran prioritarias en términos de mejoras en la gestión del tráfico y la movilidad en la ciudad de Riobamba.

3.9 Técnica de recolección de datos primarios y secundarios

Se emplearon las siguientes técnicas para la recopilación de datos tanto primarios como secundarios:

Observación directa: Técnica utilizada en las intersecciones conflictivas para recopilar datos primarios sobre el flujo vehicular. Estas observaciones complementan los datos recopilados por los drones y proporcionan información contextual adicional.

3.10 Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios

Se emplearon los siguientes instrumentos para la recopilación de datos tanto primarios como secundarios:

- **Drones:** Los drones son utilizados como herramienta principal para recopilar datos primarios en tiempo real sobre el flujo vehicular en las intersecciones conflictivas. Estos drones capturan imágenes y videos desde una perspectiva aérea, proporcionando una visión completa y detallada del tráfico.
- **Fichas de observación:** Se recopiló información del número de vehículos que circulan por las intersecciones con mayores problemas de tráfico.
- **Fuentes bibliográficas:** se utilizaron diversas fuentes bibliográficas, como libros, manuales, tesis de grado, sitios web y artículos técnicos - científicos. Estas fuentes proporcionaron información secundaria que fue útil para conceptualizar las variables de estudio en la investigación.

3.11 Instrumentos para procesar datos recopilados

Los datos recopilados fueron procesados mediante:

- **Bases de datos:** Se utilizó el programa *Microsoft Excel* para almacenar y organizar los datos recopilados permitiendo clasificar los registros de manera eficiente y facilitando su posterior análisis y presentación.

- **Programas informáticos:** Se utilizó un software de autoría propia que permite el reconocimiento y procesamiento de imágenes generadas a través del dron ofreciendo una ventaja en términos de tiempo, costo y espacio.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Se recogieron datos en las cinco intersecciones con los problemas de tráfico más graves en Riobamba. Para este proceso, se empleó un dron DJI Mini 2 y también se recurrió a las técnicas tradicionales de recolección de datos para establecer una comparación.

4.1.1 Comparación Detallada entre el Uso de Drones y Métodos Tradicionales

El uso del dron DJI Mini 2 presentó diversas ventajas, incluyendo la habilidad de inspeccionar desde diferentes alturas y perspectivas, el recopilar datos en tiempo real para un monitoreo efectivo, y la posibilidad de ejecutar vuelos recurrentes para comparaciones. Además, se constató que los drones disminuyeron la duración del proceso de recolección de datos y perturbaron menos al tráfico y a los peatones.

No obstante, hubo desafíos asociados con el uso de drones, estos incluyeron adherirse a restricciones de zonas, vulnerabilidad a las condiciones climáticas adversas y su operación requería personal entrenado tanto para manejar el equipo como para analizar las imágenes capturadas. También hubo riesgo de fallos técnicos o accidentes.

Por otro lado, las técnicas tradicionales de recolección de datos demostraron ser fiables y efectivas, sin embargo, presentaron limitaciones, como un período de recolección más largo, una cobertura de área reducida, un mayor impacto en el tráfico y peatones y costos potencialmente elevados en términos de tiempo y recursos humanos.

La comparación mostrada en la Tabla 1-4: Comparación Detallada entre el Uso de Drones y Métodos Tradicionales permitió evaluar profundamente las ventajas y desventajas de cada técnica en cada intersección específica.

Tabla 1-4: Ventajas y desventajas del uso de drones frente a los métodos tradicionales

Tecnología	Ventajas	Desventajas	Observaciones
Drones	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de monitorear desde diversas alturas y ángulos - Imágenes en tiempo real permiten una observación dinámica - Posibilidad de programar vuelos repetitivos para un análisis comparativo - Menor interferencia con el tráfico y los transeúntes - Monitoreo en tiempo real de diversas vías simultáneamente. - Posibilidad de seguir vehículos específicos. - Capacidad para evaluar intersecciones sin semáforo desde una perspectiva aérea - Flexibilidad para moverse entre diferentes ubicaciones - Mayor capacidad para analizar patrones de tráfico inusual - Alta capacidad para monitorear tráfico en intersecciones complejas - Capacidad para monitorear de cerca intersecciones no semaforizadas - Mayor cobertura de área - Flexibilidad para ajustar la ubicación y el ángulo de visión 	<ul style="list-style-type: none"> - Dependiendo del tipo de Dron puede estar sujeto a permisos de vuelo y a restricciones de zona - Puede ser afectado por condiciones climáticas adversas - Necesidad de personal capacitado en operación de drones y análisis de imágenes - Riesgo de malfuncionamiento técnico o de accidentes - Ruido del dron puede ser molesto para residentes y peatones - Costos de mantenimiento y operación - Riesgo de violación de privacidad si no se manejan adecuadamente las imágenes - Riesgo de accidentes o colisiones - Puede ser percibido como intrusivo por la comunidad - Requiere un operador experimentado - Puede ser más costoso inicialmente - Limitaciones de batería y rango de vuelo 	<ul style="list-style-type: none"> Los drones utilizados deben tener cámaras de Alta resolución para capturar detalles. -Se deben seguir las mejores prácticas para la protección de la privacidad. -Deben establecerse protocolos claros para evitar accidentes y proteger la privacidad. -Los drones con mayor duración de batería y rango de vuelo son ideales para intersecciones complejas. -Deben establecerse protocolos claros para evitar accidentes y proteger la privacidad.

<p>Métodos Tradicionales</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor control sobre la recopilación de datos - No requiere permisos especiales. (Salvo excepciones) - Los métodos de conteo manual pueden adaptarse a situaciones específicas. <ul style="list-style-type: none"> - Datos consistentes a lo largo del tiempo. - No depende de la tecnología o condiciones climáticas <ul style="list-style-type: none"> - Puede ser más detallado en la observación de comportamientos específicos de los conductores - No presenta problemas de privacidad o de ruido - No depende de la electricidad o la carga de la batería <ul style="list-style-type: none"> - Puede ser más preciso en la observación de comportamientos específicos de los conductores - Datos más detallados y profundos, ya que los humanos pueden notar detalles que un dron puede pasar por alto <ul style="list-style-type: none"> - No presenta problemas de privacidad o de ruido - Puede ser más preciso en la observación de comportamientos específicos de los conductores 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor cobertura de área - Puede ser más costoso en términos de recursos humanos y tiempo <ul style="list-style-type: none"> - Mayor tiempo de recopilación - Limitaciones físicas (solo se pueden monitorear puntos accesibles) - Los sensores pueden ser afectados por condiciones climáticas o de tráfico <ul style="list-style-type: none"> - Menor capacidad para monitorear intersecciones sin semáforo - Limitada flexibilidad para moverse entre ubicaciones - Impacto directo en el tráfico y los peatones <ul style="list-style-type: none"> - Dificultad para monitorear intersecciones complejas - Puede requerir más personal - Mayor impacto directo en el tráfico y los peatones - Menor capacidad para monitorear intersecciones no semaforizadas - Limitada flexibilidad para moverse entre ubicaciones - Impacto directo en el tráfico y los peatones 	<p>Las técnicas tradicionales pueden incluir conteo manual, sensores de tráfico, o cámaras fijas.</p> <p>Puede requerir múltiples observadores o sensores para cubrir todas las vías de una intersección.</p> <p>Para intersecciones no semaforizadas, puede ser útil observar directamente los comportamientos de los conductores y peatones.</p> <p>Puede requerir múltiples observadores o sensores para cubrir todas las vías de una intersección.</p> <p>Para intersecciones no semaforizadas, puede ser útil observar directamente los comportamientos de los conductores y peatones.</p>
------------------------------	---	--	---

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

4.1.2 Comportamiento del dron en Intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba

Para realizar la evaluación del dron en las intersecciones previamente seleccionadas, necesitamos seguir varios pasos.

- **Preparación:** En esta etapa se planifico la operación del dron, estableciendo la ruta de vuelo, alturas y el plan de contingencia en caso de emergencias.
- **Configuración del Dron:** Basándose en los requerimientos previos, se utilizó la configuración por defecto en cuanto se refiere a la resolución del video (1920 x 1080 px) y en formato .mp4
- **Vuelo del Dron:** Se utilizó la ruta de vuelo y las alturas planeadas, teniendo en cuenta la seguridad en todo momento, así también se realizaron vuelos en condiciones de iluminación óptimas para garantizar la calidad de la grabación.
- **Recolección y Procesamiento de Datos:** Una vez recolectada la información, se procesó y se analizó implicando la identificación de patrones de tráfico, el conteo de vehículos, la observación de comportamientos de los conductores y la identificación de áreas problemáticas.
- **Informe de los Resultados:** Finalmente, se presentan los resultados en un formato fácil de entender, resaltando los problemas y posibles soluciones.

4.1.2.1 Intersección N° 1 Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado



Figura 1-4. Vista aérea Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado.

Fuente: Dron

Luego de la recolección de datos a través del dron se pudo realizar la evaluación del comportamiento del dispositivo, tal como lo muestra a continuación la tabla 2-4.

Tabla 2-4: Comportamiento del dron en Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado.

Parámetro	Descripción	Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado
Calidad de la imagen	Calidad de la resolución y la transmisión de la imagen capturada por el dron	Alta, las imágenes son claras y detalladas
Estabilidad del vuelo	Capacidad del dron para mantener una posición estable durante la grabación	Excelente, el dron pudo mantener una posición estable durante todo el proceso de grabación
Duración de la batería	Tiempo de funcionamiento del dron en una sola carga	Suficiente para cubrir las horas pico de tráfico, 25 minutos por batería (3 baterías en total)
Rango de operación	Distancia y altura a la que el dron puede operar	-Adecuado, el dron pudo cubrir toda el área de la intersección. -Alturas utilizadas 80, 100 y 120 metros.
Capacidades de procesamiento de datos	Capacidad de almacenamiento y procesamiento del dron	Muy buena, el dron pudo recopilar y procesar todos los datos necesarios
Cumplimiento de regulaciones	Cumplimiento de todas las regulaciones locales y nacionales	No es necesario
Fiabilidad y resistencia	Capacidad del dron para resistir las condiciones meteorológicas y ambientales	Bueno, a pesar de las condiciones climáticas, (vientos fuertes) el dron funcionó correctamente
Facilidad de uso	Cuan fácil es manejar el dron y configurar su cámara	Inconvenientes al despegue y aterrizaje por tendido eléctrico
Vehículos observados	Número y tipos de vehículos observados	Se observaron 455 vehículos en total, incluyendo automóviles, camiones y motocicletas

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

4.1.2.2 Intersección N° 2: Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres



Figura 2-4. Vista aérea Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres

Fuente: Dron

Luego de la recolección de datos a través del dron se pudo realizar la evaluación del comportamiento del dispositivo, tal como lo muestra a continuación la tabla 3-4.

Tabla 3-4: Comportamiento del dron en Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres

Parámetro	Descripción	Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres y Vía Adyacente a Canal de Riego
Calidad de la imagen	Calidad de la resolución y la transmisión de la imagen capturada por el dron	Alta, las imágenes son claras y detalladas
Estabilidad del vuelo	Capacidad del dron para mantener una posición estable durante la grabación	Buena, el dron mantuvo una posición estable la mayoría del tiempo
Duración de la batería	Tiempo de funcionamiento del dron en una sola carga	Suficiente, aunque se requirió una carga adicional durante el periodo de mayor tráfico
Rango de operación	Distancia y altura a la que el dron puede operar	Adecuado, el dron pudo cubrir toda el área de la intersección. Alturas utilizadas 80, 100 y 120 metros.
Capacidades de procesamiento de datos	Capacidad de almacenamiento y procesamiento del dron	Buena, el dron recogió datos detallados, pero se encontró con limitaciones en el procesamiento en tiempo real
Cumplimiento de regulaciones	Cumplimiento de todas las regulaciones locales y nacionales	No es necesario
Fiabilidad y resistencia	Capacidad del dron para resistir las condiciones meteorológicas y ambientales	Bueno, el dron pudo operar bajo condiciones climáticas moderadas
Facilidad de uso	Cuan fácil es manejar el dron y configurar su cámara	Fácil de usar, aunque la configuración inicial del dron llevó más tiempo de lo esperado
Vehículos observados	Número y tipos de vehículos observados	Se observaron 500 vehículos en total, con una gran mayoría de automóviles, algunos camiones y escasas motocicletas

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

4.1.2.3 Intersección N° 3: Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile

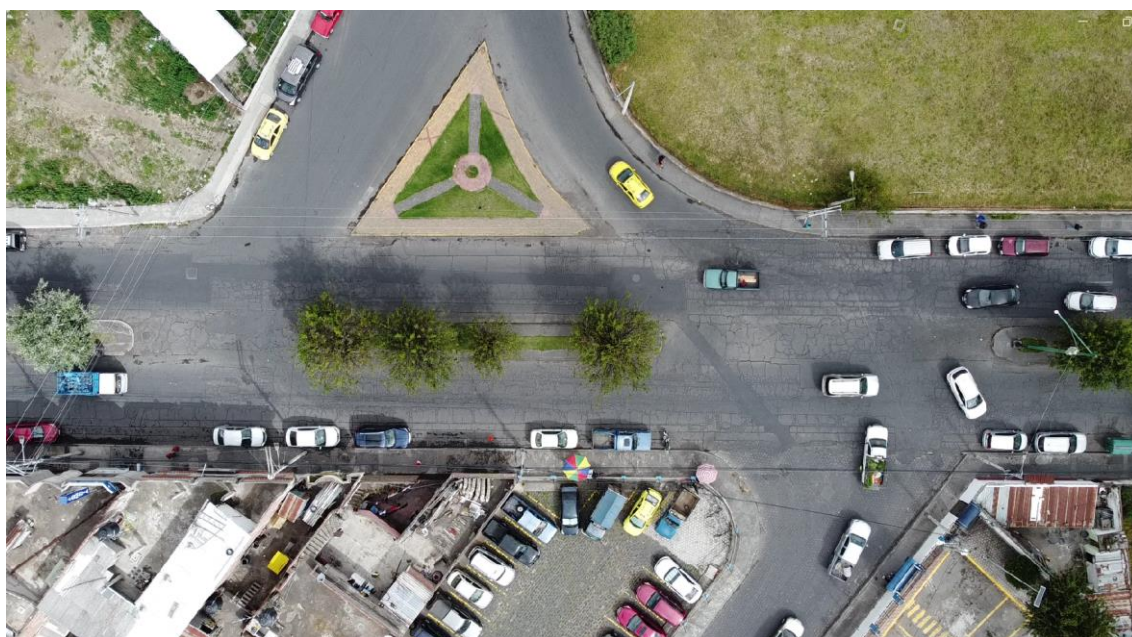


Figura 3-4. Vista aérea Av. Juan Feliz Proaño con Londres y Chile

Fuente: Dron

Luego de la recolección de datos a través del dron se pudo realizar la evaluación del comportamiento del dispositivo, tal como lo muestra a continuación la tabla 4-4.

Tabla 4-4: Comportamiento del dron en Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile

Parámetro	Descripción	Evaluación de la Intersección - <u>Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile</u>
Calidad de la imagen	Calidad de la resolución y la transmisión de la imagen capturada por el dron	Alta, las imágenes son nítidas y la transmisión fue fluida. Se observa árboles en el parterre que obstaculizan la visualización.
Estabilidad del vuelo	Capacidad del dron para mantener una posición estable durante la grabación	Excelente, el dron mantuvo una posición estable durante toda la grabación
Duración de la batería	Tiempo de funcionamiento del dron en una sola carga	Adecuado, no se requirió carga adicional durante la observación
Rango de operación	Distancia y altura a la que el dron puede operar	Adecuado, el dron pudo cubrir toda el área de la intersección Alturas utilizadas 80, 100 y 120 metros.
Capacidades de procesamiento de datos	Capacidad de almacenamiento y procesamiento del dron	Excelente, el dron recogió y procesó datos en tiempo real
Cumplimiento de regulaciones	Cumplimiento de todas las regulaciones locales y nacionales	Cumple con todas las regulaciones, se obtuvieron los permisos correspondientes
Fiabilidad y resistencia	Capacidad del dron para resistir las condiciones meteorológicas y ambientales	Bueno, el dron pudo operar bajo condiciones climáticas moderadas
Facilidad de uso	Cuan fácil es manejar el dron y configurar su cámara	Fácil de usar, la configuración inicial del dron fue sencilla
Vehículos observados	Número y tipos de vehículos observados	Se observaron 750 vehículos en total, con un equilibrio entre automóviles, camiones y motocicletas

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

4.1.2.4 Intersección N° 4: Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja



Figura 4-4. Vista aérea Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja

Fuente: Dron

Luego de la recolección de datos a través del dron se pudo realizar la evaluación del comportamiento del dispositivo, tal como lo muestra a continuación la tabla 5-4.

Tabla 5-4: Comportamiento del dron en Av. La prensa y Av. Daniel León Borja

Parámetro	Descripción	Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja
Calidad de la imagen	Calidad de la resolución y la transmisión de la imagen capturada por el dron	Alta, las imágenes son nítidas y la transmisión fue fluida
Estabilidad del vuelo	Capacidad del dron para mantener una posición estable durante la grabación	Excelente, el dron mantuvo una posición estable durante toda la grabación
Duración de la batería	Tiempo de funcionamiento del dron en una sola carga	Suficiente, aunque se requirió una recarga durante la observación
Rango de operación	Distancia y altura a la que el dron puede operar	-Adecuado, el dron pudo cubrir toda el área de la intersección -Alturas utilizadas 100 y 120 metros
Capacidades de procesamiento datos	Capacidad de almacenamiento y procesamiento del dron	Excelente, el dron recogió y procesó datos en tiempo real
Cumplimiento de regulaciones	Cumplimiento de todas las regulaciones locales y nacionales	Cumple con todas las regulaciones, se obtuvieron los permisos correspondientes
Fiabilidad y resistencia	Capacidad del dron para resistir las condiciones meteorológicas y ambientales	Bueno, el dron pudo operar bajo condiciones climáticas moderadas
Facilidad de uso	Cuan fácil es manejar el dron y configurar su cámara	Fácil de usar, la configuración inicial del dron fue sencilla
Vehículos observados	Número y tipos de vehículos observados	Se observaron 920 vehículos en total, incluyendo automóviles, camiones, motocicletas y bicicletas

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

4.1.2.5 Intersección N° 5: Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu



Figura 5-4. Vista aérea Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu

Fuente: Dron

Luego de la recolección de datos a través del dron se pudo realizar la evaluación del comportamiento del dispositivo, tal como lo muestra a continuación la tabla 6-4.

Tabla 6-4: Evaluación del comportamiento del dron en Av. La prensa y Av. Lizarzaburu

Parámetro	Descripción	Evaluación de la Intersección - Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu
Calidad de la imagen	Calidad de la resolución y la transmisión de la imagen capturada por el dron	Alta, las imágenes son nítidas y la transmisión fue fluida
Estabilidad del vuelo	Capacidad del dron para mantener una posición estable durante la grabación	Excelente, el dron mantuvo una posición estable durante toda la grabación
Duración de la batería	Tiempo de funcionamiento del dron en una sola carga	Suficiente, la duración de la batería fue adecuada para la duración completa de la observación
Rango de operación	Distancia y altura a la que el dron puede operar	-Adecuado, el dron pudo cubrir toda el área de la intersección -Alturas utilizadas 100 y 120 metros
Capacidades de procesamiento de datos	Capacidad de almacenamiento y procesamiento del dron	Excelente, el dron recogió y procesó datos en tiempo real
Cumplimiento de regulaciones	Cumplimiento de todas las regulaciones locales y nacionales	Cumple con todas las regulaciones, se obtuvieron los permisos correspondientes
Fiabilidad y resistencia	Capacidad del dron para resistir las condiciones meteorológicas y ambientales	Bueno, el dron pudo operar bajo condiciones climáticas moderadas
Facilidad de uso	Cuan fácil es manejar el dron y configurar su cámara	Fácil de usar, la configuración inicial del dron fue sencilla
Vehículos observados	Número y tipos de vehículos observados	Se observaron 1010 vehículos en total, incluyendo automóviles, camiones, motocicletas y bicicletas

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

4.1.3 *Procesamiento de imágenes mediante Software de autor*

Posterior a la recolección de información, se utilizó un software de autor el mismo que proporciona una solución para el seguimiento de objetos múltiples en un video utilizando OpenCV y otras bibliotecas en Python. El propósito principal del programa es detectar y rastrear objetos en movimiento en un video, proporcionando así un medio para estudiar su trayectoria y comportamiento.

El código utiliza el algoritmo de sustracción de fondo para identificar los objetos en movimiento. Una vez identificados estos objetos, se emplea un método de seguimiento de centroides para seguir estos objetos a lo largo de los cuadros del video. Adicionalmente, se permite la interacción del usuario para definir regiones de interés y regiones para ocultar dentro del video.

Este código es útil en una variedad de aplicaciones, como la vigilancia de video, el conteo de vehículos en el tráfico, el seguimiento de personas o animales en videos de la vida silvestre, entre otros. En general, es una excelente herramienta para cualquier escenario que requiera la detección y seguimiento de objetos en un video. A continuación, se muestra los resultados obtenidos tras la aplicación del software en cada una de las intersecciones en estudio.

4.1.3.1 *Intersección N° 1: Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado*

- **Dibujar regiones a ocultar:** Se dibujan las regiones que no se van a procesar en el video, en esta intersección se deben ocultar los edificios cercanos a la intersección, así como también parte del parterre central, a fin de evitar falsas detecciones vehiculares. Véase la figura N° 6-4.



Figura 6-4. Áreas por ocultar - Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado

Fuente: Software de autor

- **Seleccionar objetos de referencia:** Los objetos de referencia se utilizan para filtrar los contornos detectados según su área, es decir, los contornos con un área menor que los objetos de referencia serán ignorados. Para el caso en estudio se ha seleccionado un objeto referencial ubicado a 80 metros de altura desde la posición del Dron. Véase la figura N° 7-4.

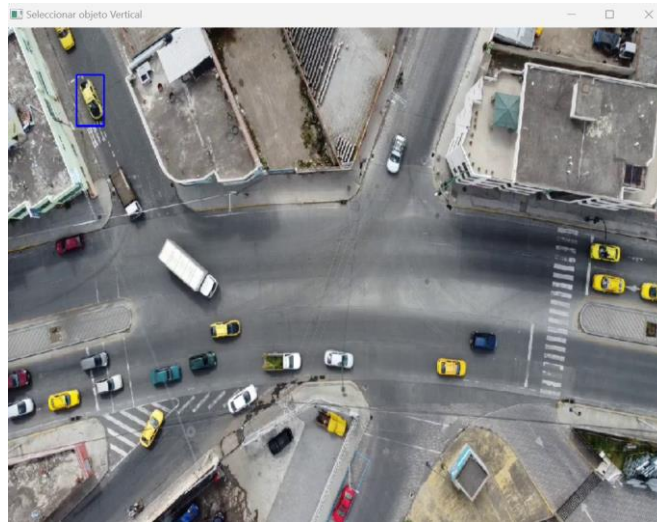


Figura 7-4. Objetos de referencia - Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado

Fuente: Software de autor

- **Selección de áreas para conteo vehicular:** El software solicita que se seleccione las áreas por donde atravesaran los vehículos para su posterior procesamiento y conteo vehicular. En este caso se ubica el rectángulo en cada una de las intersecciones, para realizar el conteo por cada uno de los ramales que la conforman (8 rectángulos). Véase figura N° 8-4.

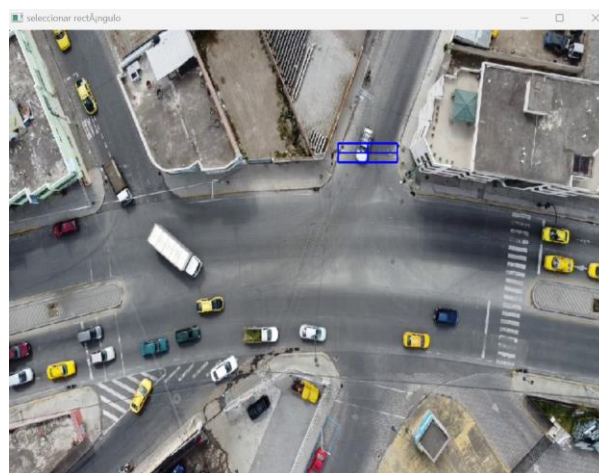


Figura 8-4. Áreas de conteo vehicular - Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado

Fuente: Software de autor

- **Detección y conteo vehicular:** Únicamente los objetos que atraviesan las zonas delimitadas se irán contabilizando, tal como lo muestra la figura N° 9-4 donde se aprecia las regiones ocultas (6), los contadores de vehículos (8 rectángulos rojos), y el seguimiento de objetos (rectángulo verde).

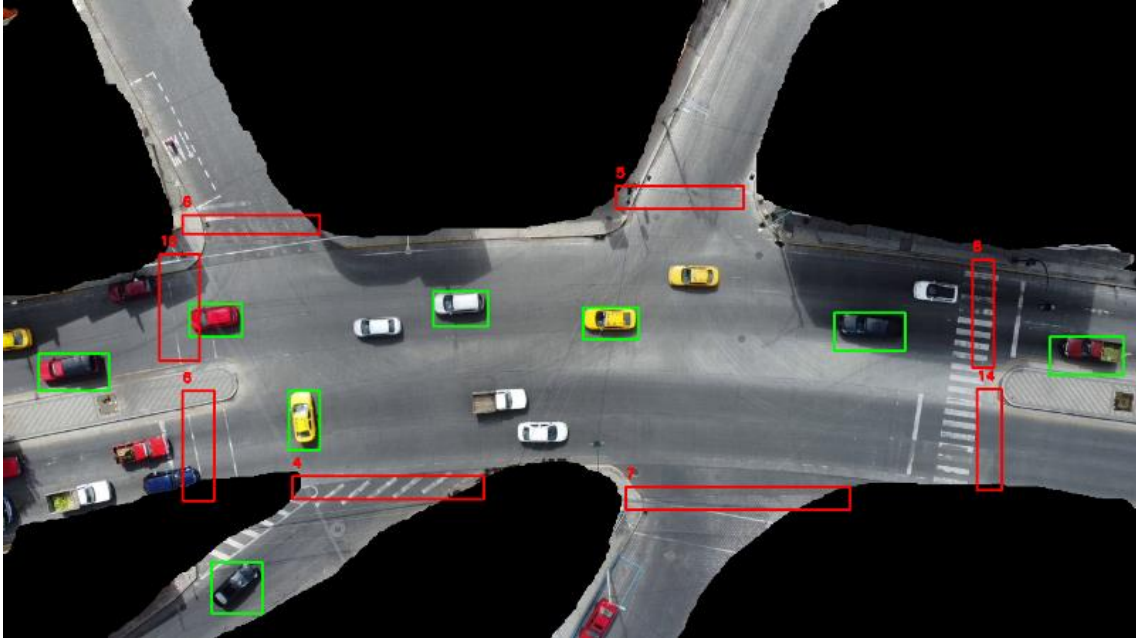


Figura 9-4. Detección y conteo - Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado

Fuente: Software de autor

4.1.3.2 Intersección N° 2: Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres

- **Dibujar regiones a ocultar:** Se dibujan las regiones que no se van a procesar en el video, en este caso se desea ocultar las áreas alrededor de la intersección. Véase la figura N° 10-4.



Figura 10-4. Áreas por ocultar - Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres

Fuente: Software de autor

- **Seleccionar objetos de referencia:** Los objetos de referencia se utilizan para filtrar los contornos detectados según su área, es decir, los contornos con un área menor que los objetos de referencia serán ignorados. Para el caso de estudio se ha seleccionado un objeto referencial ubicado a 80 metros de altura desde la posición del dron. Véase la figura N° 11-4.



Figura 11-4. Objetos de referencia - Av. José Antonio de Lizaraburu con Agustín Torres

Fuente: Software de autor

- **Selección de áreas para conteo vehicular:** El software solicita que se seleccione las áreas por donde atravesaran los vehículos para su posterior procesamiento y conteo vehicular. En este caso se ubica el rectángulo en cada una de las intersecciones, para realizar el conteo por cada uno de los ramales que la conforman (7 rectángulos). Véase figura N° 12-4.

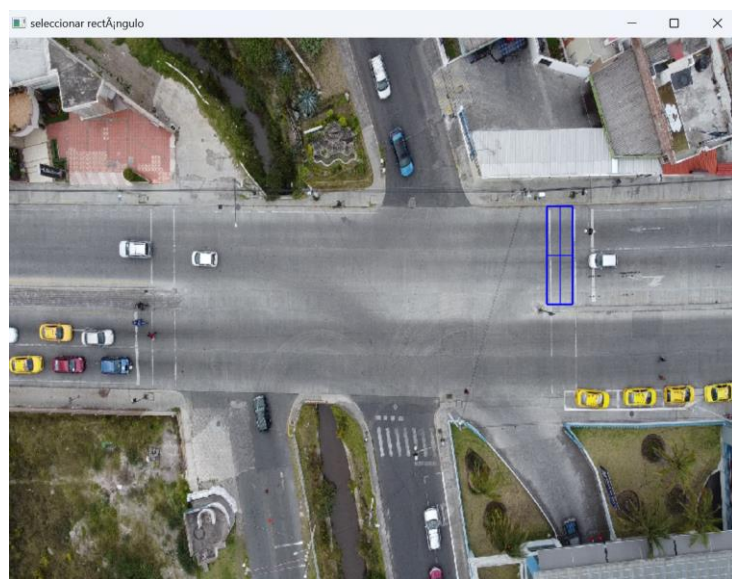


Figura 12-4. Áreas de conteo vehicular - Av. José Antonio de Lizaraburu y Agustín Torres

Fuente: Software de autor

- **Detección y conteo vehicular:** Únicamente los objetos que atraviesan las zonas delimitadas se irán contabilizando, tal como lo muestra la figura N° 13-4 donde se aprecia las regiones ocultas (4), los contadores de vehículos (7 rectángulo rojo), y el seguimiento de objetos (rectángulo verde).

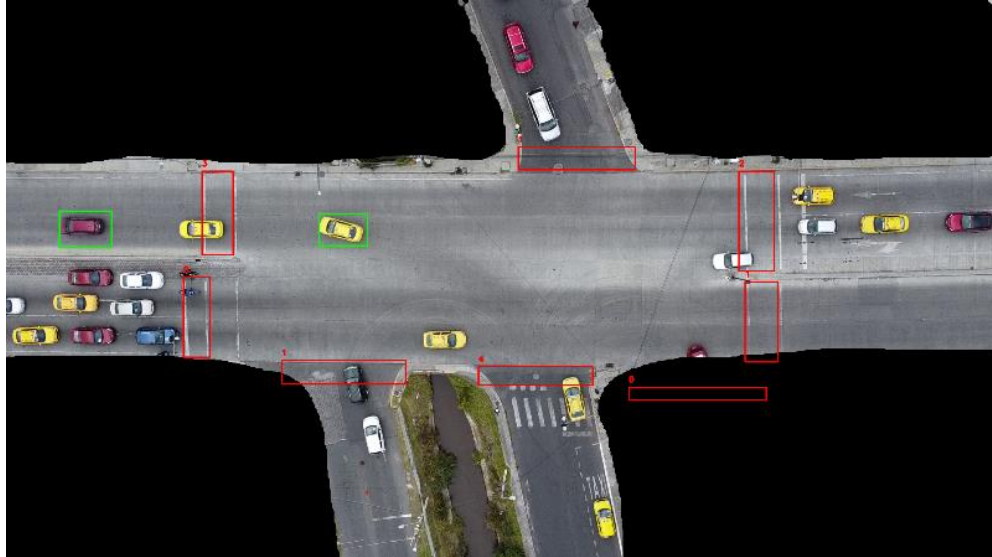


Figura 13-4. Detección y conteo - Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres

Fuente: Software de autor

4.1.3.3 Intersección N° 3: Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile

- **Dibujar regiones a ocultar:** Se dibujan las regiones que no se van a procesar en el video, para este caso se han seleccionado las áreas verdes, así como también las edificaciones alrededor de la intersección, se puede apreciar que existe abundante vegetación en el parterre central, sin embargo, no se aplica el filtro en esas zonas debido a que puede interferir en la detección de objetos. Véase la figura N° 14-4.



Figura 14-4: Áreas por ocultar - Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile

Fuente: Software de autor

- **Seleccionar objetos de referencia:** Los objetos de referencia se utilizan para filtrar los contornos detectados según su área, es decir, los contornos con un área menor que los objetos de referencia serán ignorados. Para el caso de estudio se ha seleccionado un objeto referencial ubicado a 80 metros de altura desde la posición del dron. Véase la figura N° 15-4.



Figura 15-4. Objetos de referencia - Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile

Fuente: Software de autor

- **Selección de áreas para conteo vehicular:** El software solicita que se seleccione las áreas por donde atravesaran los vehículos para su posterior procesamiento y conteo vehicular. En el presente caso de estudio se ubica el rectángulo en cada una de las intersecciones, para realizar el conteo por cada uno de los ramales que la conforman (9 rectángulos), además se ubican regiones en zonas internas de la vía debido a los giros que se pueden producir. Véase figura N° 16-4.



Figura 16-4. Áreas de conteo vehicular - Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile

Fuente: Software de autor

- **Detección y conteo vehicular:** Únicamente los objetos que atraviesan las zonas delimitadas se irán contabilizando, tal como lo muestra la figura N° 17-4 donde se aprecia las regiones ocultas (4), los contadores de vehículos (9 rectángulos rojos), y el seguimiento de objetos (rectángulo verde).

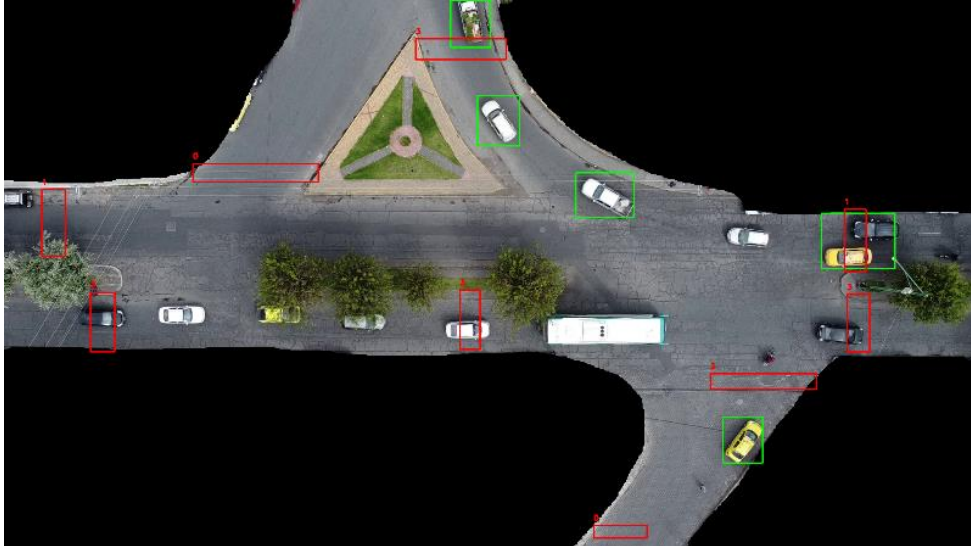


Figura 17-4. Detección y conteo vehicular - Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile

Fuente: Software de autor

4.1.3.4 Intersección N° 4: Av. La Prensa entre y Av. Daniel León Borja

- **Dibujar regiones a ocultar:** Se dibujan las regiones que no se van a procesar en el video, para este caso se han seleccionado las edificaciones alrededor de la intersección (redondel), se puede apreciar que existe abundante vegetación en el parterre central, sin embargo no se aplica el filtro en esas zonas debido a que puede interferir en la detección de objetos evitando así falsos positivos. Véase la figura N° 18-4.



Figura 18-4. Áreas por ocultar - Av. La Prensa entre y Av. Daniel León Borja

Fuente: Software de autor

- **Seleccionar objetos de referencia:** Los objetos de referencia se utilizan para filtrar los contornos detectados según su área, es decir, los contornos con un área menor que los objetos de referencia serán ignorados. Para esta intersección se ha seleccionado un objeto desde una altura de 120 metros desde la posición del Dron. Véase la figura N°19-4.



Figura 19-4. Objetos de referencia - Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja

Fuente: Software de autor

- **Selección de áreas para conteo vehicular:** El software solicita que se seleccione las áreas por donde atravesaran los vehículos para su posterior procesamiento y conteo vehicular. Para el presente caso se ha considerado ubicar un rectángulo por cada ramal de la intersección siendo un total de 9. Véase figura N° 20-4.



Figura 20-4. Áreas de conteo vehicular - Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja

Fuente: Software de autor

- **Detección y conteo vehicular:** Únicamente los objetos que atraviesan las zonas delimitadas se irán contabilizando, tal como lo muestra la figura N° 21-4 donde se aprecia las regiones ocultas (4), los contadores de vehículos (9 rectángulos rojos), y el seguimiento de objetos (rectángulo verde).



Figura 21-4. Detección y conteo vehicular - Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja
 Fuente: Software de autor

4.1.3.5 Intersección N° 5: Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu

- **Dibujar regiones a ocultar:** Se dibujan las regiones que no se van a procesar en el video, este paso se lo realiza para evitar que la detección de objetos no actúe en todas las áreas, evitando así falsos positivos. Para este caso se han seleccionado las edificaciones alrededor de la intersección, sin embargo, al existir infraestructura sobre nivel podría existir interferencia en el reconocimiento de vehículos. Véase la figura N° 22-4.



Figura 22-4. Áreas por ocultar - Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu
 Fuente: Software de autor

- **Seleccionar objetos de referencia:** Los objetos de referencia se utilizan para filtrar los contornos detectados según su área, es decir, los contornos con un área menor que los objetos de referencia serán ignorados. Para esta intersección se ha seleccionado un objeto desde una altura de 120 metros desde la posición del Dron. Véase la figura N° 23-4.



Figura 23-4. Objetos de referencia - Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu

Fuente: Software de autor

- **Selección de áreas para conteo vehicular:** El software solicita que se seleccione las áreas por donde atravesaran los vehículos para su posterior procesamiento y conteo vehicular. En este caso se identificaron cada uno de los ramales que conforman la intersección y se han ubicado 8 rectángulos de conteo, y 2 rectángulos adicionales en la infraestructura sobre nivel. Véase figura N° 24-4.



Figura 24-4. Áreas de conteo vehicular - Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu

Fuente: Software de autor

- **Detección y conteo vehicular:** Únicamente los objetos que atraviesan las zonas delimitadas se irán contabilizando, tal como lo muestra la figura N° 25-4 donde se aprecia las regiones ocultas (4), los contadores de vehículos (10 rectángulos rojos), y el seguimiento de objetos (rectángulo verde).

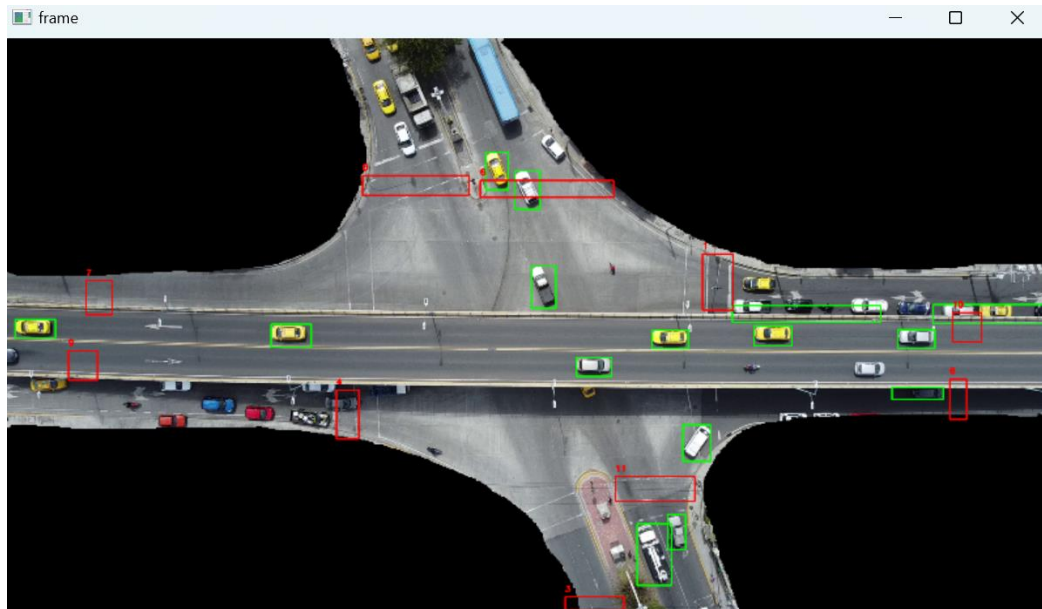


Figura 25-4. Detección y conteo vehicular - Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu

Fuente: Software de autor

4.1.4 *Análisis de datos*

La evaluación de la precisión y confiabilidad de los datos recopilados por drones y métodos tradicionales para el análisis del flujo vehicular en cada una de las intersecciones con más problemas de tráfico en la ciudad de Riobamba involucra una serie de factores.

4.1.4.1 *Precisión de datos.*

La precisión de los datos hace referencia a cuán exactos son los resultados obtenidos por cada técnica en comparación con el valor auténtico o real, por consiguiente, para la presente investigación se contaron la cantidad de coches promedio que cruzan una intersección durante una hora específica, como lo muestra la tabla N° 7-4.

Tabla 7-4: Comparación de precisión de datos

N°	Intersección	Tipo	Procesamiento de imágenes - Dron	Aforos vehiculares manuales	Número Total de Vehículos
1	Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado	Semaforizada	1032	919	1035

2	Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres y Vía Adyacente a Canal de Riego	Semaforizada	993	920	997
3	Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile	No semaforizada	921	836	926
4	Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja	Redondel	1079	947	1081
5	Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu	Semaforizada	998	911	1003

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

En contraste, los aforos manuales reportaron un número más alejado del valor auténtico en comparación con los datos procesados del dron. Es vital resaltar que es preferible una precisión más elevada ya que indica que los datos obtenidos se asemejan más a la situación real. En este contexto, el dron DJI Mini 2 proporcionó datos con un 9,70% más de precisión que los aforos manuales. Esto puede tener un gran impacto, especialmente en situaciones donde pequeñas diferencias en los datos pueden influir de manera importante en las decisiones o medidas que se tomen basándose en dichos datos.

4.1.4.2 Confiabilidad de los datos

La confiabilidad de los datos se refiere a la coherencia y repetibilidad de los datos recopilados si el mismo experimento o estudio se realiza varias veces bajo las mismas condiciones. Esencialmente, si se obtienen los mismos resultados (o muy similares) al repetir las mediciones, esos datos se consideran confiables. Para la presente investigación se realizaron 3 repeticiones en la toma de datos por cada una de las intersecciones. Véase la tabla N° 8-4.

Tabla 8-4: Comparación de confiabilidad de datos

N°	INTERSECCIÓN	Tipo	Procesamiento de imágenes - Dron	Aforos vehiculares manuales
1	Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado	Semaforizada	98%	91%
2	Av. José Antonio de Lizarzaburu con Agustín Torres y Vía Adyacente a Canal de Riego	Semaforizada	98%	93%
3	Av. Juan Félix Proaño con Londres y Chile	No semaforizada	99%	92%
4	Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja	Redondel	99%	93%
5	Av. La Prensa y Av. Lizarzaburu	Semaforizada	99%	92%

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

En general, los datos de las intersecciones muestran que la precisión del dron DJI Mini 2 fue consistentemente mayor que la de los aforos manuales. Incluso en las intersecciones semaforizadas más complejas, como la Av. Edelberto Bonilla con Araujo Chiriboga y Alvarado,

y la Av. La Prensa y Av. Daniel León Borja, el dron luego de su procesamiento de imagen tuvo una precisión del 98% y 99% respectivamente.

4.1.4.3 Costos

Indica el costo total de utilizar cada uno de los métodos, incluyendo el costo del equipo, el costo de operación, el costo de mantenimiento, etc. A continuación, en la Tabla 9-4 se detallan los costos que implica el uso de ambos métodos.

Tabla 9-4: Comparación de costos

Costos	Procesamiento de imágenes - Dron	Aforos vehiculares manuales
Costo inicial del equipo	Alto (\$500-\$800 por dron)	No se requiere equipo especializado
Mantenimiento y reparación	Medio-Alto (\$100-\$300 anuales)	No se requiere mantenimientos
Costos operativos	Bajo (\$0,005 por carga de batería, dependiendo de la frecuencia de vuelo)	Bajo (\$2 en materiales básicos por persona al día)
Costos de formación	Alto (\$200-\$500 por curso de formación)	Bajo (\$50-\$100 por formación básica de tráfico)
Costos de personal	Bajo-Medio (\$10-\$20 por hora, menos personal requerido)	Bajo (\$20-\$30 por día, más personal en el lugar)

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

El análisis detallado que acompaña a la tabla sugiere que, aunque los drones pueden tener un costo inicial más alto, su eficiencia operativa y su capacidad para recoger datos de manera más rápida y precisa pueden compensar estos costos a largo plazo. Sin embargo, el método tradicional de las fichas de observación tiene un costo inicial y costos de formación significativamente más bajos, lo que puede ser una opción más económica en el corto plazo o para proyectos con un presupuesto limitado.

El costo de personal para los aforos manuales puede ser más alto debido a la necesidad de tener más de un observador en el lugar durante períodos prolongados. Por lo tanto, la decisión de utilizar uno u otro método debe basarse en el presupuesto del proyecto, los recursos disponibles y la precisión requerida en la recopilación de datos.

4.1.4.4 Tiempo de recolección de datos

Otro elemento esencial para tener en cuenta al contrastar la utilización de drones con los procedimientos convencionales de aforo manual es el tiempo dedicado a la recopilación de datos. Este periodo puede fluctuar basándose en diferentes elementos, como la envergadura del área de

interés, el estado del tráfico, la excelencia de los datos solicitados y las limitaciones operacionales. En la tabla 10-4 se presenta una desagregación de los tiempos requeridos para la recopilación de datos.

Tabla 10-4: Comparación tiempo de recolección de datos

Tiempo de Recolección	Dron DJI Mini 2	Aforos Manuales (Fichas de Observación)
Tiempo de recolección de datos por intersección	Aproximadamente 1 hora	Aproximadamente 3 horas
Tiempo adicional para preparación y configuración	Aproximadamente 30 minutos	No aplica
Tiempo adicional para procesamiento y análisis de los datos	Aproximadamente 2 horas	Aproximadamente 4 horas

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

Utilizando el Dron DJI Mini 2, la recolección de datos en cada intersección requiere alrededor de 1 hora. Adicionalmente, se deben contar unos 30 minutos más para la preparación y ajuste previo al vuelo, que abarca la colocación de la batería, la configuración de la cámara y la planeación del vuelo. Posterior a la recolección de datos, el procesamiento y análisis de la información recolectada puede tomar cerca de 2 horas.

Por otro lado, los aforos manuales mediante fichas de observación requieren aproximadamente 3 horas por intersección para la recolección de datos. No se requiere tiempo adicional para la preparación y ajuste, dado que las observaciones pueden iniciar de inmediato. No obstante, tras la recolección de datos, el procesamiento y análisis de la información recolectada puede tomar cerca de 4 horas.

Por lo tanto, si consideramos el tiempo total de recolección y análisis de datos, el Dron DJI Mini 2 es más eficiente en comparación con los aforos manuales. Sin embargo, es importante considerar que estos tiempos pueden fluctuar dependiendo de las condiciones específicas del lugar y del tráfico, así como de la calidad y profundidad de los datos requeridos.

4.1.4.5 Cobertura del área

La tabla N° 11-4 brinda un contraste exhaustivo entre la cobertura de área proporcionada por ambos métodos. Es evidente que el uso del dron otorga una capacidad de cobertura considerablemente más extensa en comparación a los métodos manuales.

Tabla 11-4: Comparación cobertura de áreas

Métrica de Evaluación	Dron DJI Mini 2	Aforos Manuales (Fichas de Observación)	Detalles
Cobertura de área (m ²)	Amplia (Hasta 5,000 m ²)	Limitada (Hasta 500 m ²)	La cobertura del área se refiere a la cantidad de espacio que cada método puede monitorear eficazmente. El dron DJI Mini 2, gracias a su capacidad de vuelo y cámara de alta resolución, puede cubrir un área extensa, hasta 5,000 m ² por vuelo de una hora. Por otro lado, los aforos manuales tienen una cobertura de área más limitada, debido a las restricciones de visibilidad y ubicación del observador, cubriendo hasta 500 m ² .

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

Esta ventaja es particularmente útil en contextos donde se necesite un monitoreo o cartografía a gran escala, como en intersecciones de gran envergadura o complicadas, en las cuales la totalidad de la dinámica del tráfico puede ser captada de forma más efectiva.

4.1.4.6 Impacto en el tráfico

La tabla N° 12-4 ofrece una visión más exhaustiva del impacto que cada método de recolección de datos puede tener en el tráfico. Es evidente que los drones poseen una ventaja significativa en lo que respecta a reducir las interrupciones y el efecto sobre el tráfico en comparación con los aforos manuales.

Tabla 12-4: Comparación impacto en el tráfico

Métodos de Recolección de Datos	Impacto en el Tráfico	Descripción detallada
Dron DJI Mini 2	Bajo	Los drones tienen la capacidad de volar por encima del tráfico sin causar ninguna interferencia directa. Los operadores pueden controlar los drones desde ubicaciones seguras, lo que elimina la necesidad de interrumpir el tráfico o causar posibles distracciones.
Aforos Manuales (Fichas de Observación)	Medio	Los aforos manuales requieren la presencia de observadores en o cerca de las intersecciones, lo que puede causar distracciones a los conductores. En ocasiones, puede ser necesario detener el tráfico para permitir que los observadores se posicionen de manera segura, lo que podría causar una interrupción temporal en el flujo de tráfico.

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

4.1.4.7 Formación requerida

Hace énfasis en la cantidad de formación necesaria para operar cada método de manera eficaz, tal como lo muestra la tabla 13-4.

Tabla 13-4: Comparación formación requerida

Factor	Dron DJI Mini 2	Aforos Manuales (Fichas de Observación)
Formación Requerida	Alta	Baja
Detalle de Formación	<p>Operación de dron, regulaciones de aviación, planificación de vuelos, análisis de imágenes y videos.</p> <p>De acuerdo con la Resolución NRO. DGAC-DGAC-2020-0110-R</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El operador debe tener al menos dieciocho (18) años. 2. Debe ser capaz de leer, hablar y entender el idioma español. 3. Debe haber culminado la enseñanza media o equivalente. 4. Debe demostrar de manera aceptable a la Autoridad de Aviación Civil, el haber aprobado satisfactoriamente un curso teórico/práctico para operador de RPA, dentro de los últimos veinticuatro (24) meses. 	Uso de fichas, registro de patrones de tráfico, análisis de datos.
Duración de la Formación	Un par de semanas.	Unos pocos días a una semana.
Costo de la Formación	Alto, requiere cursos profesionales y certificación.	Bajo, puede realizarse internamente, sin certificación específica.

Fuente: Información levantada en campo - Resolución NRO. DGAC-DGAC-2020-0110-R

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

4.1.4.8 Restricciones legales

Esto se refiere a las restricciones legales que se aplican a cada uno de los métodos, las misma que se reflejan en la tabla 14-4.

Tabla 14-4: Restricciones legales

	Dron DJI Mini 2	Aforos Manuales (Fichas de Observación)
Limitaciones de Altitud	Las leyes de aviación limitan la altura a la que los drones pueden volar para evitar el conflicto con el tráfico aéreo tripulado. 400 pies (122 metros)	No aplica, ya que no pueden llegar a las altitudes que los drones pueden alcanzar.
Restricciones de Área	Existen restricciones legales sobre dónde se pueden volar los drones, incluyendo cerca de aeropuertos, zonas de emergencia.	Pueden ser más flexibles en cuanto a dónde se pueden realizar, aunque el acceso puede ser un problema.
Requisitos de Certificación y Registro	Los operadores de drones necesitan obtener certificaciones especiales y los drones deben estar registrados con las autoridades de aviación, para el caso de aeronaves con MTOW mayores de 0.25 Kilogramos	Puede no ser necesario ningún permiso o certificación especial, aunque ciertas actividades pueden requerir permisos locales.

Restricciones de Privacidad	No se permite el uso de drones para capturar imágenes o videos de personas sin su consentimiento debido a las leyes de privacidad.	La privacidad puede no ser un problema tan grande si las imágenes se capturan desde el suelo en un lugar público.
Restricciones de Vuelo Nocturno	Las operaciones de vuelo nocturno pueden estar limitadas o requerir luces especiales para el dron.	La recolección de datos o la observación pueden ser más difíciles o imposibles en la oscuridad, pero no hay restricciones legales.

Fuente: Información levantada en campo - Resolución NRO. DGAC-DGAC-2020-0110-R

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

4.1.5 Evaluación del rendimiento del dron para el análisis del flujo vehicular

La siguiente tabla 15-4 proporciona una evaluación detallada de la factibilidad técnica y operativa del uso de drones, específicamente el DJI Mini 2, para el análisis del flujo vehicular. Se consideran aspectos críticos como la resistencia, autonomía de vuelo y la calidad de las imágenes, con el fin de determinar el rendimiento global de estos dispositivos en dicho contexto.

Tabla 15-4: Evaluación del rendimiento

Aspecto	DJI Mini 2	Drones en general
Resistencia	La estructura del DJI Mini 2 es ligera y resistente, aunque quizás no tan robusta como otros modelos de drones más grandes y caros.	Varía ampliamente dependiendo del modelo y la marca del dron. Algunos drones están diseñados para operar en condiciones adversas, mientras que otros son más frágiles.
Autonomía de vuelo	Puede volar hasta 31 minutos con una sola carga de batería, lo que es bastante impresionante para un dron de su tamaño.	Los tiempos de vuelo varían desde tan solo 10 minutos para los drones más pequeños, hasta más de 30 minutos para los drones más grandes y caros.
Calidad de las imágenes	Con una cámara 4K, la calidad de imagen del DJI Mini 2 es excelente para su tamaño y precio.	La calidad de la cámara varía enormemente entre diferentes drones, desde cámaras de baja calidad en drones más baratos, hasta cámaras profesionales 4K o incluso 8K en drones de gama alta.
Estabilidad del vuelo	A pesar de su pequeño tamaño, el DJI Mini 2 tiene un buen rendimiento de estabilidad de vuelo, incluso en condiciones de viento.	La estabilidad del vuelo varía entre los drones. Los drones más grandes y caros suelen tener mejores sistemas de estabilización de vuelo.
Capacidad de GPS	El DJI Mini 2 tiene un sistema GPS integrado que permite la navegación y el seguimiento precisos de la ruta.	La mayoría de los drones de gama media y alta tienen sistemas GPS integrados. Algunos drones más baratos pueden carecer de esta característica.
Transmisión en vivo	DJI Mini 2 puede transmitir video en vivo a un rango de hasta 10 km.	Algunos drones tienen la capacidad de transmitir en vivo, aunque la calidad y el rango de la transmisión varían.

Detección y evasión de obstáculos	A diferencia de otros modelos de DJI, el Mini 2 no tiene características de detección y evasión de obstáculos.	Muchos drones de gama alta tienen sistemas de detección y evasión de obstáculos. Los drones más baratos suelen carecer de esta característica.
Capacidad de carga	Con un peso de solo 249 g, el DJI Mini 2 no está diseñado para llevar cargas útiles adicionales.	La capacidad de carga varía dependiendo del tamaño y diseño del dron. Los drones más grandes y potentes pueden llevar cargas útiles más pesadas.
Robustez y durabilidad	El DJI Mini 2 es conocido por su durabilidad, gracias a su construcción sólida y compacta.	Los drones más robustos y duraderos suelen ser más caros, pero resisten mejor el uso regular y las condiciones adversas.

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

4.1.6 *Análisis operativo*

La siguiente tabla 16-4 proporciona un resumen detallado de los aspectos operativos clave para considerar al determinar la factibilidad del uso de drones, específicamente el dron DJI Mini 2, para el análisis del flujo vehicular. Estos aspectos incluyen la formación del personal, la planificación de las rutas de vuelo, el mantenimiento del equipo y la gestión de datos.

El objetivo de este análisis es asegurar que todas las operaciones cumplen con las reglas y regulaciones vigentes, y también que se consideran los costos operativos y las necesidades de formación.

Tabla 16-4: Análisis operativo

	Drones en General	DJI Mini 2
Capacitación de personal	Se requiere formación en la operación del dron, interpretación de datos, mantenimiento, y conocimiento de las regulaciones de vuelo.	Se necesita formación específica en el manejo del DJI Mini 2, el uso de la aplicación DJI Fly, y procedimientos de emergencia.
Planificación de las rutas de vuelo	Es necesario tener en cuenta la autonomía del dron, las condiciones climáticas, las restricciones del espacio aéreo y la topografía del área.	Utiliza la aplicación DJI Fly para planificar y guardar rutas de vuelo.
Mantenimiento	Regularmente se necesita comprobar y reemplazar las hélices, comprobar los motores, actualizar el firmware, y comprobar la batería.	El mantenimiento del DJI Mini 2 es simple, pero se necesita formación para realizarlo correctamente.
Logística	Incluye el transporte del dron al lugar de operación, la preparación del equipo y la gestión de la batería.	Su pequeño tamaño y peso ligero facilitan su transporte y despliegue.
Cumplimiento normativo	Los operadores de drones deben estar al tanto de las leyes y regulaciones locales, regionales y nacionales.	Los operadores del DJI Mini 2 deben estar al tanto de las regulaciones específicas y asegurarse de cumplirlas, aunque no son de carácter obligatorio debido al peso de la aeronave.

Seguridad	La seguridad es una consideración importante, especialmente en áreas concurridas y cuando se opera cerca de edificios y estructuras.	Los operadores del DJI Mini 2 deben ser conscientes de los riesgos y estar preparados para manejar situaciones de emergencia.
-----------	--	---

Fuente: Información levantada en campo - Resolución NRO. DGAC-DGAC-2020-0110-R

Realizado por: Zapata Johan, 2023

4.1.7 *Análisis de costos*

A continuación, en la tabla 17-4 se muestra un desglose de los costos típicos asociados con el uso de un DJI Mini 2 y drones en general. Los valores son estimativos y pueden variar dependiendo de varios factores, como los mencionados anteriormente.

Tabla 17-4: Análisis de costos

Costo	DJI Mini 2 (USD)	Drones en general (USD)
Adquisición	\$450 - \$600	\$300 - \$3000
Operación (por hora)	1 - 3	1 - 10
Mantenimiento (anual)	\$50 - \$100	\$50 - \$500
Incidentales	Variable	Variable
Formación y Certificación	\$150 - \$300	\$150 - \$300

Fuente: Información levantada en campo

Realizado por: Zapata Johan, 2023

4.1.7.1 *Detalles de análisis de costos*

- Los costos operativos se calculan por hora e incluyen los costos de energía y la mano de obra necesaria para operar el dron.
- Los costos de mantenimiento son estimados en base anual y cubren el reemplazo de partes y las actualizaciones del software.
- Los costos incidentales son difíciles de prever y dependen en gran medida de las circunstancias específicas de cada operación de vuelo.
- Los costos de formación y certificación varían ampliamente dependiendo del lugar y del programa específico, pero la mayoría tiende a costar en el rango de 150 a 300 dólares. Este costo es un pago único, pero puede haber costos adicionales por las renovaciones periódicas de la certificación.

4.1.8 Análisis legal

Dado el uso creciente de drones en diversos sectores, entender las regulaciones que rigen su operación es vital. En Ecuador, estas normas abarcan desde las definiciones básicas hasta las reglas de uso y los procesos de autorización. La tabla 18-4 ofrece una visión resumida de estas regulaciones, siendo una guía valiosa para los operadores de drones en el país.

Tabla 18-4: Detalles de aspectos regulatorios

Aspecto Regulatorio	Detalles
Aplicabilidad	Estas normativas aplican a todas las aeronaves pilotadas a distancia (RPAs) que operan en el espacio aéreo ecuatoriano, no importa si son de carácter civil o militar. Con excepción de RPAs con MTOW menor a 0.25kg
Categorización de los Drones	Los drones se categorizan según su peso en: RPA ligero (menos de 25 kg), RPA medio (25-150 kg), y RPA pesado (más de 150 kg).
Registro	Cada RPA de más de 0.5 Kg debe estar registrado en la Autoridad Aeronáutica Civil (AAC).
Licencias	Para operar un drone se necesita una licencia de operador de RPA emitida por la AAC. Además, es necesario tener al menos 18 años, poder leer, hablar y entender español, haber culminado la enseñanza media o equivalente y haber aprobado un curso teórico/práctico para operador de RPA dentro de los últimos 24 meses.
Operaciones en áreas urbanas	Estas operaciones deben ser evaluadas por la AAC. Generalmente, se requiere la presentación de un plan de operación que contemple aspectos de seguridad y de gestión de riesgos.
Autorizaciones especiales	Se pueden solicitar autorizaciones especiales para desviarse de ciertos requisitos, estas solicitudes deben ser enviadas a la AAC con 10 días de anticipación a la operación propuesta.
Renovación de la autorización	Para renovar una autorización de operador de RPA, se debe presentar un registro de vuelo con al menos 15 horas de operación en los últimos seis meses, o haber aprobado un curso teórico/práctico para operador de RPA en los últimos doce meses.
Responsabilidades del operador	El operador de un drone es responsable de garantizar que la operación se realiza de forma segura, protegiendo a las personas y propiedades en tierra, y respetando el derecho a la privacidad de las personas.
Seguro	Se requiere que las RPAs tengan un seguro de responsabilidad civil que cubra daños a terceros en caso de accidentes.

Fuente: Resolución NRO. DGAC-DGAC-2020-0110-R

Realizado por: Zapata Johan, 2023

Tabla 19-4: Situaciones donde las reglas no se aplican

Situaciones donde las reglas no se aplican	Descripción
Operación de aeromodelismo	Las reglas no aplican para operaciones de aeromodelismo.
Operación con RPAs con MTOW de menos de 0.25 Kilogramos	Si un RPA tiene un peso máximo al despegue (MTOW) de menos de 0.25 kilogramos, las reglas no se aplican.
Globos fijos, cometas, cohetes, y aeronaves radiocontroladas y globos libres no tripulados	Estos tipos de objetos no están sujetos a las regulaciones de RPA en este reglamento.
Operaciones realizadas por las Fuerzas Armadas, Aduanas o Policía Nacional dentro del ámbito de sus funciones	Las reglas no aplican a operaciones realizadas por estas entidades dentro del ámbito de sus funciones.

Fuente: Información levantada en campo - Resolución NRO. DGAC-DGAC-2020-0110-R

Realizado por: Zapata Johan, 2023

Además, es importante destacar que las aeronaves con un peso máximo al despegue (MTOW) de más de 150 kilogramos están prohibidas de operar, pero la AAC se reserva el derecho de emitir permisos especiales para operaciones con RPAs con fines de investigación científica, innovación y desarrollo realizadas por entidades públicas o privadas debidamente reconocidas o autorizadas.

4.1.9 Identificación de Problemas y Retos

El uso de drones para el análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas representa una innovación significativa en el campo de la ingeniería del tráfico y el transporte. No obstante, a pesar de su enorme potencial, la implementación de esta tecnología viene con varios desafíos técnicos, operativos, legales y de seguridad que necesitamos abordar para maximizar su efectividad y garantizar un uso seguro y legal.

En base en los hallazgos de la investigación se pudo identificar los principales problemas y retos que implica el uso de esta tecnología para el análisis del flujo vehicular en zonas urbanas, específicamente en las intersecciones con mayores problemas de tráfico de la ciudad de Riobamba.

4.1.9.1 Aspectos técnicos:

- Interferencia de señal: Los drones operan utilizando señales de radiofrecuencia. Esto puede dar lugar a interferencias con otras señales en el entorno, lo que puede afectar el control del dron y la transmisión de datos.

- Resolución de la cámara: La resolución y la calidad de la cámara del dron son cruciales para la recopilación de datos precisos. Las cámaras de baja calidad pueden resultar en datos de menor calidad.

4.1.9.2 Aspectos operativos

- Uso de varios drones: La gestión de flotas de drones puede ser un desafío significativo. Puede ser necesario el uso de varios drones para cubrir grandes áreas, lo que requiere una coordinación y gestión eficaz.

4.1.9.3 Necesidad de personal especializado

- Además del operador del dron, también puede ser necesario contar con personal especializado en el análisis de los datos recolectados.

4.1.9.4 Aspectos legales:

- Cambios constantes en la legislación: Las leyes y regulaciones sobre drones están en constante cambio y varían de un país a otro. Esto puede dificultar la planificación y el cumplimiento de las normas.

4.1.9.5 Aspectos de seguridad:

- Invasión de la privacidad: Los drones pueden ser vistos como invasivos desde el punto de vista de la privacidad, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas. Es crucial tener en cuenta las leyes de privacidad y obtener los permisos necesarios antes de realizar vuelos.

4.1.9.6 Análisis de datos:

- Big Data: Los drones pueden recoger grandes cantidades de datos, lo que presenta desafíos en términos de almacenamiento, procesamiento y análisis de datos.
- Privacidad de los datos: Es crucial garantizar la seguridad y la privacidad de los datos recogidos, especialmente si incluyen imágenes de personas o propiedades privadas.

4.2 Prueba de hipótesis

Basándonos en los hallazgos discutidos en la sección 4.1, "Resultados", que se derivan de la implementación de nuestras metodologías de investigación, estamos en posición de evaluar la existencia de una correlación entre la variable independiente y la variable dependiente en nuestro estudio. A continuación, llevamos a cabo los siguientes pasos para realizar esta evaluación:

4.2.1 Redacción de la hipótesis

4.2.1.1 Hipótesis Nula (H_0)

La utilización de drones como herramienta para el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba no proporciona datos más precisos y detallados en comparación con los métodos tradicionales, por lo que no permitirá mejorar el análisis del tráfico en estas áreas problemáticas.

4.2.1.2 Hipótesis Alternativa (H_1)

La utilización de drones como herramienta para el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba proporciona datos más precisos y detallados en comparación con los métodos tradicionales, permitiendo de esta manera mejorar el análisis del tráfico en estas áreas problemáticas.

4.2.1.3 Aplicación del Chi-cuadrado

Para este propósito, se implementó la prueba estadística Chi-cuadrado, un método ampliamente aceptado para comparar observaciones observadas con las esperadas (Corder & Foreman, 2014). Las observaciones fueron el número de vehículos recopilados por ambos métodos en intersecciones seleccionadas. Los valores esperados se establecieron en 1008 vehículos para cada método. Tanto el proceso como los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 20-4: Calculo del valor chi cuadrado

Método	Observado (O)	Esperado (E)	(O-E) ²	(O-E) ² /E
Dron	1005	1008	9	0.009
Aforo Manual	907	1008	10101	10.11

Realizado por: Zapata Johan, 2023

Aplicando la fórmula del Chi-cuadrado (sumando la última columna), se obtuvo un valor de 10.1279762. Comparando este resultado con el valor crítico de Chi-cuadrado (3.841) para un grado de libertad (únicamente 2 variables) y un nivel de significancia de 0.05 (Snedecor & Cochran, 1989), nuestro valor calculado de Chi-cuadrado es mayor que el valor crítico.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0), esto indica que hay una diferencia estadísticamente significativa en la precisión de los datos de tráfico recopilados por los drones en comparación con el aforo manual. Los resultados de la prueba Chi-cuadrado respaldan la hipótesis de que la utilización de drones como herramienta para el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba proporciona datos más precisos y detallados en comparación con los métodos tradicionales, permitiendo de esta manera mejorar el análisis del tráfico en estas áreas problemáticas.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

Una vez obtenido los resultados de la evaluación del uso de drones como herramienta para el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba mediante la aplicación de las técnicas e instrumentos de investigación, se detalla la propuesta de mejora para los problemas y retos identificados en el capítulo anterior.

5.1 Optimización de drones para el análisis del flujo vehicular

Basándonos en los desafíos identificados, se presentan algunas propuestas de solución que podrían considerarse para optimizar la utilización de drones en el análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas:

5.1.1 *Desafíos Técnicos*

5.1.1.1 *Mejora de la autonomía de los drones*

El objetivo de este ítem es proponer a través de procesos de investigación especializados que permitan incrementar el tiempo de vuelo y la eficiencia operativa de los drones utilizados para analizar el flujo vehicular en intersecciones urbanas conflictivas, lo cual se lo podría lograr tras la aplicación de la siguiente propuesta:

- **Investigación y Desarrollo (I+D) en Tecnología de Baterías:** Dada la naturaleza crucial de la duración de la batería en las operaciones de los drones, se propone invertir en I+D para el desarrollo de baterías de mayor duración. Esto podría incluir investigar y probar nuevas tecnologías de baterías, como las baterías de estado sólido, las de litio-aire, las de litio-sulfuro, y otras baterías emergentes de alta densidad energética.
- **Implementación de Carga Inalámbrica en Vuelo:** Otra opción innovadora es explorar la posibilidad de cargar los drones en vuelo a través de tecnologías inalámbricas. Esto permitiría a los drones permanecer en vuelo durante periodos más largos sin necesidad de regresar a una estación de carga. Existen tecnologías de transferencia de energía inalámbrica como la resonancia magnética que podrían ser viables para este fin.

- **Estaciones de Recarga Rápida para Drones:** Diseñar y desplegar estaciones de recarga rápida en ubicaciones estratégicas puede permitir a los drones recargar sus baterías rápidamente y volver a la acción en un periodo corto de tiempo. Estas estaciones podrían ser portátiles y estar equipadas con múltiples puntos de carga para permitir la recarga de varios drones a la vez.
- **Implementación de Software de Optimización de Rutas:** El uso de algoritmos de optimización de rutas para los drones puede ayudar a maximizar la duración de la batería al reducir el tiempo de vuelo innecesario. Estos algoritmos pueden considerar factores como la ubicación de las intersecciones conflictivas, la ubicación de las estaciones de recarga, las condiciones climáticas y más para trazar la ruta más eficiente.
- **Utilización de Drones con Mayor Capacidad de Batería o Drones de Doble Batería:** Se puede considerar la utilización de drones con una mayor capacidad de batería o drones que admitan el uso de dos baterías a la vez para prolongar su autonomía. Aunque esto puede aumentar el peso del dron, los avances en la eficiencia de los motores y la aerodinámica pueden ayudar a compensar el peso adicional.

5.1.1.2 Robustez de los sistemas de navegación y sensores

Los drones utilizados en estos contextos necesitan sistemas de navegación robustos y precisos, así como sensores de alta calidad. Una posible solución podría ser la inversión en la actualización de estos sistemas, o incluso el desarrollo de nuevos sistemas diseñados específicamente para el análisis del tráfico, entre los cuales podríamos mencionar:

- **Implementación de Sistemas de Navegación por GPS de Alta Precisión:** Considerar el uso de sistemas de navegación por GPS de alta precisión, como el GPS de doble banda, que proporcionan datos de ubicación más precisos y son menos susceptibles a interferencias.
- **Adquisición e Instalación de Sensores Avanzados:** Los drones podrían equiparse con una gama de sensores avanzados para mejorar la recopilación de datos y la precisión del análisis. Estos podrían incluir sensores LIDAR para una detección tridimensional precisa, sensores de imágenes térmicas para detectar vehículos en condiciones de baja visibilidad, y sensores de radar para la detección de largo alcance.

- **Desarrollo de Software de Procesamiento de Datos en Tiempo Real:** Se podría desarrollar software avanzado para procesar los datos recopilados por los drones en tiempo real. Esto permitiría a los drones tomar decisiones rápidas y precisas en función de los datos recopilados, mejorando su capacidad para navegar de forma segura y eficiente y llevar a cabo análisis de flujo vehicular.

5.1.2 *Desafíos Operativos*

5.1.2.1 *Capacitación del personal*

Para garantizar el manejo seguro y eficiente de los drones, es fundamental que el personal involucrado en su operación esté debidamente capacitado. Esto podría involucrar la implementación de programas de formación y certificación específicos para el uso de drones en el análisis de tráfico. A continuación, se detallan los aspectos básicos que deberá incluir un plan de capacitación enfocado en el análisis de tráfico:

- **Creación de un Programa de Formación Estructurado:** Diseñar un programa de formación que cubra todos los aspectos esenciales de la operación de drones para el análisis de tráfico. Esto podría incluir módulos sobre teoría de vuelo, operación y mantenimiento de drones, recopilación y análisis de datos de tráfico, y procedimientos de seguridad.
- **Colaboración con Expertos en la Industria y la Academia:** Trabajar con expertos en la industria de los drones y académicos para desarrollar y entregar el programa de formación. Esto garantizará que el programa esté basado en las mejores prácticas actuales y en conocimientos técnicos sólidos.
- **Implementación de Sesiones Prácticas de Vuelo:** Incluir en el programa sesiones prácticas de vuelo que permitan a los participantes ganar experiencia práctica en la operación de drones. Estas sesiones podrían cubrir una variedad de escenarios, incluyendo diferentes condiciones de tráfico y de tiempo.
- **Desarrollo de un Programa de Certificación:** Establecer un programa de certificación para los operadores de drones que complete con éxito el programa de formación. Esta certificación servirá como una validación de sus habilidades y conocimientos, y proporcionará una garantía adicional de su competencia.

- **Capacitación Continua y Actualización de Habilidades:** Implementar un programa de capacitación continuada para garantizar que los operadores de drones estén al día con los avances tecnológicos y las nuevas técnicas de análisis de tráfico. Esto podría incluir talleres y seminarios regulares, así como oportunidades de formación en línea.
- **Evaluación y Mejora Continua del Programa de Formación:** Realizar evaluaciones regulares del programa de formación para identificar áreas de mejora y hacer los ajustes necesarios. Esto podría incluir encuestas a los participantes, revisiones de los resultados de las evaluaciones y consultas con expertos en la materia.

5.1.2.2 Desarrollo de protocolos de operación

Es necesario desarrollar protocolos de operación claros y detallados para guiar el uso de drones en este contexto. Esto podría incluir procedimientos de lanzamiento y recuperación, planes de vuelo, y procedimientos de seguridad. A continuación, se detalla los protocolos básicos que permitirán mejorar la operación del dron en intersecciones conflictivas:

- **Preparación y lanzamiento del dron.** (Véase la figura N° 1-5).

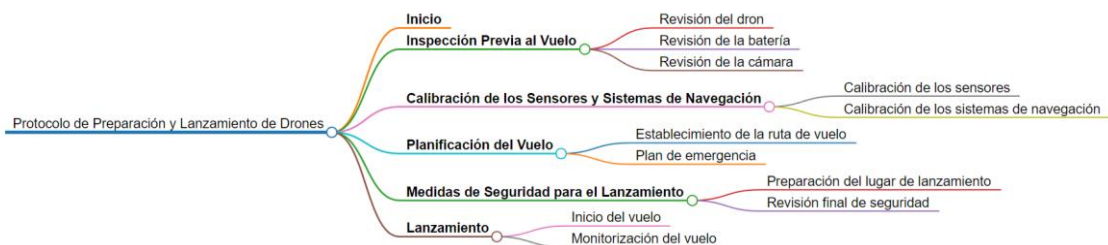


Figura 1-5. Protocolo de preparación y lanzamiento del dron.

Realizado por: Zapata Johan, 2023

- **Planificación de vuelo.** (Véase la figura N° 2-5).

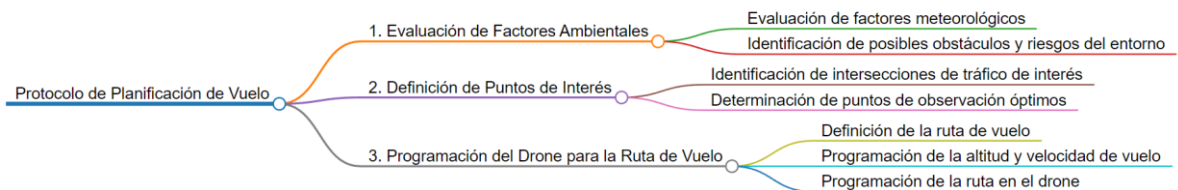


Figura 2-5. Protocolo de Planificación del vuelo.

Realizado por: Zapata Johan, 2023

- **Operación del vuelo.** (Véase la figura N° 3-5).



Figura 3-5. Protocolo de operación del vuelo.

Realizado por: Zapata Johan, 2023

- **Recuperación de Drones.** (Véase la figura N° 4-5).

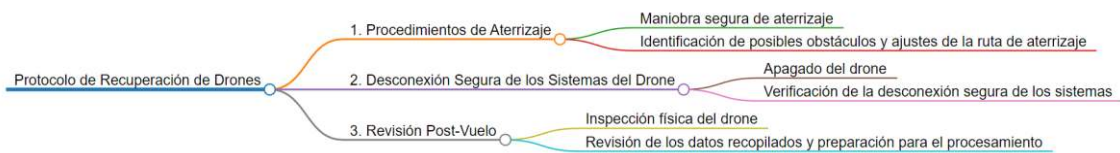


Figura 4-5. Protocolo de recuperación de drones

Realizado por: Zapata Johan, 2023

- **Seguridad.** (Véase la figura N° 5-5).



Figura 5-5. Protocolo de seguridad

Realizado por: Zapata Johan, 2023

- **Mantenimiento de drones.** (Véase la figura N° 6-5).

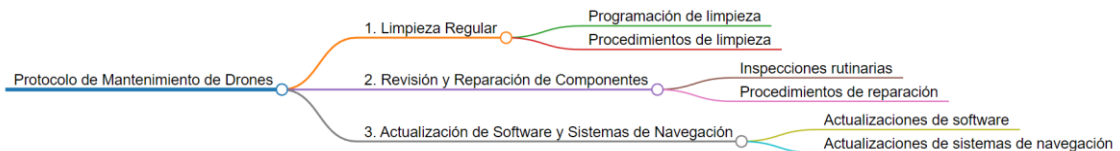


Figura 6-5. Protocolo de mantenimiento de drones

Realizado por: Zapata Johan, 2023

5.1.3 *Desafíos Legales*

5.1.3.1 Revisión y actualización de la regulación

Se podría trabajar con las autoridades reguladoras pertinentes para revisar y actualizar las normativas relativas al uso de drones para el análisis del tráfico. Esto podría incluir la creación de licencias específicas para este uso, o la clarificación de las regulaciones existentes como las que se mencionan en la Resolución NRO. DGAC-DGAC-2020-0110-R:

- Formación y Certificación (Art. 36d, Art. 38a2)

Estos artículos mencionan la necesidad de un curso teórico/práctico y que debe ser aprobado satisfactoriamente. No se proporcionan detalles sobre el contenido específico del curso, su duración, quién puede proporcionarlo, o los criterios para la aprobación.

- Seguro (Form. RPA-001)

En el formulario RPA-001, hay una nota que menciona la necesidad de adjuntar el certificado de seguro. Sin embargo, no hay detalles sobre los requisitos mínimos para el seguro en términos de cobertura, la compañía de seguros, o las circunstancias que debe cubrir.

- Excepciones y Autorizaciones Especiales (Art. 33, Art. 34)

Estos artículos mencionan la posibilidad de solicitar una autorización especial de vuelo para desviarse de los requisitos del Capítulo B. Sin embargo, no se detalla qué tipos de desviaciones podrían ser aceptables o los criterios que se utilizarán para evaluar las solicitudes.

- Renovación de la autorización (Art. 38)

Este artículo menciona ciertos requisitos para la renovación de la autorización, incluyendo un número específico de horas de vuelo. Pero no se proporciona detalle sobre cómo se deben registrar y validar estas horas de vuelo.

- Modificaciones a la autorización (Art. 37c)

Este artículo establece que cualquier modificación a la autorización del operador debe ser notificada a la AAC con al menos 5 días de antelación. Aquí, sería útil aclarar qué se considera una "modificación" y proporcionar ejemplos o directrices sobre cómo y cuándo los operadores deben notificar a la AAC sobre estas modificaciones

5.1.4 *Desafíos de Seguridad*

5.1.4.1 *Desarrollo de sistemas de seguridad avanzados*

Los drones utilizados en este contexto deben ser seguros y fiables. Esto podría implicar la inversión en el desarrollo de sistemas de seguridad avanzados, como los sistemas de detección y evitación de obstáculos, y sistemas de redundancia para prevenir fallos, sin embargo, estos sistemas ya se presentan en el mercado y los poseen drones con un alto nivel tecnológico.

5.1.4.2 *Protección de datos*

Para garantizar la privacidad y la seguridad de los datos recogidos por los drones, es esencial implementar medidas de protección de datos robustas. Esto podría implicar el uso de técnicas de cifrado de datos, y la implementación de políticas de manejo y almacenamiento de datos.

5.2 *Características técnicas para la recolección y procesamiento de datos*

5.2.1 *Calidad de la cámara:*

La calidad de la cámara de un dron es crucial para asegurar la precisión y utilidad de los datos recopilados. Una cámara de alta resolución puede capturar imágenes con mayor detalle y claridad, lo cual es esencial para un análisis detallado y preciso.

Para esta propuesta de tesis, se sugiere considerar el uso de una cámara con una resolución de al menos 4K. Las cámaras de 4K o superiores son capaces de registrar detalles finos y sutilezas en la escena, proporcionando un alto grado de claridad visual. Esto resulta en una mayor precisión en el análisis posterior de los datos, lo que puede ser particularmente útil en tareas como la identificación de características o la realización de mediciones precisas a partir de las imágenes.

Además de la resolución, también se debe tener en cuenta la capacidad de zoom de la cámara. Un zoom óptico potente puede permitir la captura de detalles a larga distancia sin pérdida de calidad de imagen, lo cual puede ser esencial en situaciones donde el dron no puede volar cerca del objeto o la zona de interés. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso del zoom puede requerir una mayor estabilización de la cámara para evitar la pérdida de calidad de imagen debido a la vibración o el movimiento del dron.

A alturas más bajas, los detalles de los vehículos y las características de la carretera son más claros, pero el campo de visión será más limitado. Véase la figura N° 7-5.

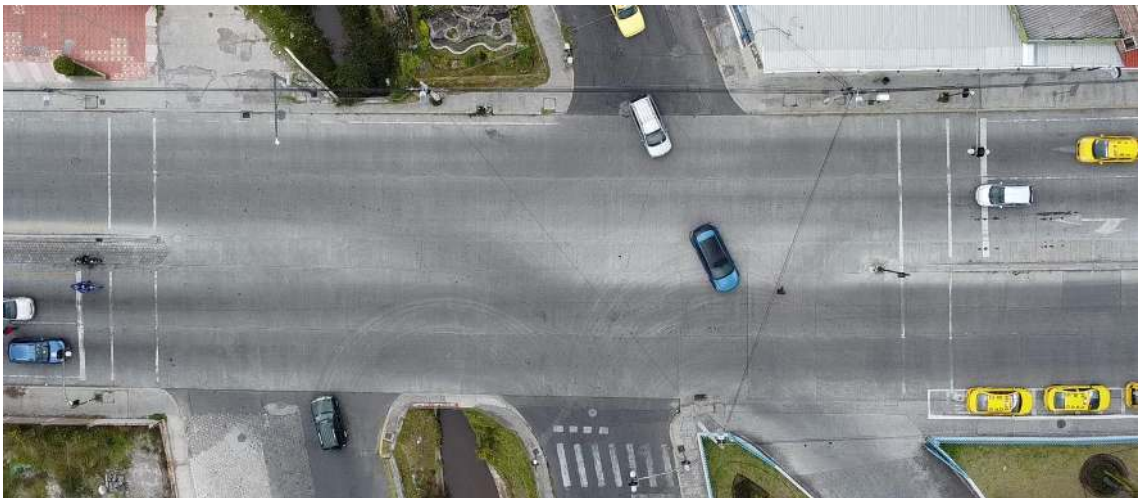


Figura 7-5. Sobrevuelo a 80 metros de altura.

Fuente: Dron

A mayor altura, es posible capturar una mayor área, pero la calidad de la imagen de los vehículos individuales puede disminuir. Véase la figura N° 8-5.



Figura 8-5. Sobrevuelo a 150 metros de altura.

Fuente: Dron

5.2.2 Duración de la batería

La duración de la batería es un aspecto fundamental a tener en cuenta cuando se trabaja con drones, especialmente cuando el objetivo es la recolección de datos en extensos terrenos o áreas de difícil acceso. La duración de la batería determina la cantidad de tiempo que el dron puede estar en el aire, y, por consiguiente, la cantidad de datos que se pueden recoger en un solo vuelo. Los drones más sofisticados actualmente en el mercado pueden ofrecer un tiempo de vuelo de entre 20 a 30 minutos con una sola carga.

Este tiempo puede parecer limitado, pero en realidad, si se planifica correctamente el vuelo y se utiliza eficientemente el tiempo, es posible recopilar una gran cantidad de datos en este período. Además, este tiempo de vuelo es generalmente suficiente para la mayoría de las operaciones de mapeo y vigilancia.

Se recomienda considerar la posibilidad de utilizar drones con la capacidad de cambiar las baterías en el campo. Esto permite realizar múltiples vuelos en una sola sesión, simplemente cambiando la batería agotada por una cargada, lo que podría ser extremadamente útil para la recopilación de datos a gran escala o para operaciones prolongadas.

Es esencial considerar que el tiempo de vuelo efectivo puede variar dependiendo de factores como el peso del dron, la velocidad a la que se vuela, las condiciones climáticas, y el uso de funciones adicionales como la transmisión en vivo de video. Por lo tanto, es crucial planificar las misiones de vuelo teniendo en cuenta estas variables para asegurar un uso eficiente de la batería y maximizar la recopilación de datos.

5.2.3 Rango de operación

El rango de operación es otro factor crítico que debe considerarse al seleccionar un dron para la recolección de datos. El rango de operación se refiere a la distancia máxima a la que un dron puede volar desde su punto de control mientras mantiene una conexión segura y controlada. Un rango de operación más extenso permite que el dron cubra áreas más grandes, lo cual es esencial para la recolección de datos en grandes extensiones de terreno o en zonas de difícil acceso.

Para futuros proyectos de similares características se propone utilizar un dron con un rango de operación que permita cubrir el área de interés de manera eficiente. El rango de operación adecuado variará dependiendo de las necesidades específicas del proyecto, pero en general, un rango más amplio proporcionará mayor flexibilidad en la planificación de las misiones de vuelo.

Es importante tener en cuenta que el rango de operación indicado por el fabricante del dron puede variar en la práctica dependiendo de factores como las interferencias electromagnéticas en el área de operación, las condiciones meteorológicas y la presencia de obstáculos físicos. Por lo tanto, se recomienda llevar a cabo pruebas de campo para evaluar el rango de operación efectivo en las condiciones específicas de la zona de estudio.

Además, es crucial familiarizarse con las regulaciones locales de aviación para drones para garantizar un uso legal y seguro del equipo.

Finalmente, cabe mencionar que, además del rango de operación, también es importante considerar la altura máxima de vuelo permitida, ya que esto puede afectar la cobertura del área y la calidad de los datos recolectados.

5.2.4 *Procesamiento de Imágenes y Seguimiento de Objetos*

El procesamiento de imágenes y el seguimiento de objetos son componentes esenciales en muchos sistemas de recolección de datos basados en drones. Este proceso implica la identificación y seguimiento de objetos específicos en una secuencia de imágenes o videos.

El código presentado en el capítulo 4 está diseñado para este propósito. Se utiliza OpenCV, una biblioteca de procesamiento de imágenes y visión por computadora, y Scipy para el cálculo de distancias. El software procesa una secuencia de video, detectando y siguiendo objetos a medida que se mueven en el marco. La aplicación particular de este código podría ser en una variedad de escenarios de detección y seguimiento de objetos, como la monitorización de la fauna, la inspección de infraestructuras o la supervisión de la cobertura del suelo.

El programa inicia definiendo una serie de funciones y clases. La función `draw_polygon` permite al usuario dibujar un polígono en una imagen para seleccionar una región de interés. La función `point_in_rect` determina si un punto dado se encuentra dentro de un rectángulo. La clase `CentroidTracker` maneja el seguimiento de los objetos detectados en el video, asignándoles un ID único y siguiendo su movimiento a lo largo del tiempo.

Posteriormente, el código abre un archivo de video y comienza a procesar cada frame. Las regiones de interés son seleccionadas por el usuario, y estas regiones son posteriormente enmascaradas para ocultar cualquier objeto en ellas. A continuación, el programa aplica un algoritmo de sustracción de fondo para identificar los objetos en movimiento en el video. Los objetos son seguidos usando la clase `CentroidTracker` y su movimiento se representa en el frame.

El procesamiento de imágenes es esencial para convertir las imágenes en bruto recogidas por el dron en información útil.

Para futuros proyectos de similares características, se recomienda investigar más sobre el procesamiento de imágenes y la visión por computadora para mejorar la eficiencia y la precisión de la detección y el seguimiento de objetos. Además, es importante considerar las necesidades específicas del proyecto al seleccionar o desarrollar algoritmos de procesamiento de imágenes.

Las imágenes de alta resolución capturadas por los drones necesitan un software capaz de manejar su tamaño y realizar análisis detallados. Esto puede incluir seguimiento de objetos, análisis de la composición del suelo, detección de cambios a lo largo del tiempo, y más. Algunas soluciones populares incluyen QGIS para el análisis geoespacial, Pix4D para la creación de modelos 3D a partir de las imágenes del dron, y librerías de Python como OpenCV y Scipy para el procesamiento de imágenes personalizado.

5.2.5 *Altura de vuelo*

La altura a la que debe volar un dron para la recolección de datos de tráfico puede variar según varios factores, incluyendo el tipo de dron, la calidad de la cámara, la resolución del video, el ángulo de la cámara, el tamaño y la disposición de la intersección que se está estudiando, y sobre todo a las regulaciones locales de aviación.

Dicho esto, según las pruebas de campo la altura recomendada para la obtención de imágenes de calidad varía entre 30 a 120 en intersecciones urbanas simples. Véase la figura N° 9-5.

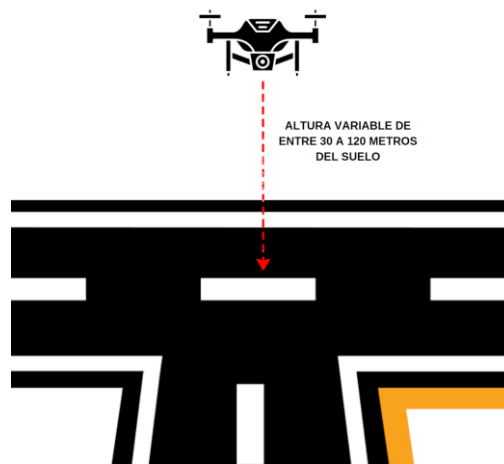


Figura 9-5. Altura recomendada en intersecciones simples

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

Es importante tener en cuenta que la altura ideal también puede depender de la naturaleza específica del estudio que se está llevando a cabo. Por ejemplo, un estudio que se centra en la interacción de los peatones con el tráfico vehicular puede requerir una altura de vuelo más baja para capturar detalles más finos, mientras que un estudio de los patrones de tráfico en una intersección grande y compleja puede beneficiarse de una altura de vuelo más alta para capturar una vista más completa de la zona. Se sugiere alturas entre los 120 a 400 metros.



Figura 10-5. Altura recomendada en intersecciones complejas

Fuente: Dron

5.2.6 Seguridad y regulaciones de aviación:

La normativa que rige en el territorio ecuatoriano incluye limitaciones de altitud, restricciones de área, requisitos de certificación y registro, restricciones de privacidad y restricciones de vuelo nocturno. En muchos casos, estas regulaciones son aplicables únicamente a drones con un peso superior a 0,25 kg.

Este límite de peso se establece comúnmente debido a que los drones más pesados tienen el potencial de causar daños significativos o riesgos para la seguridad si se manejan de manera incorrecta o si fallan durante el vuelo. En consecuencia, estos drones más pesados se consideran más similares a las aeronaves tradicionales en términos de los riesgos que pueden presentar, y por tanto están sujetos a un conjunto más estricto de normas y regulaciones.

Por otro lado, para los drones con un peso inferior a 0,25 kg, como el DJI Mini 2 que pesa 0,24 kg, estas reglas y restricciones a menudo no aplican. Estos drones más ligeros se consideran menos capaces de causar daño o presentar riesgos significativos para la seguridad, y por tanto a menudo están exentos de muchas de las restricciones aplicadas a sus homólogos más pesados. Sin embargo, esto no exime a los operadores de la responsabilidad de volar de manera segura y respetuosa.

Es importante tener en cuenta que las regulaciones y restricciones pueden cambiar con el tiempo a medida que evoluciona la tecnología de los drones y el entendimiento de sus impactos potenciales. Por tanto, siempre es esencial para los operadores de drones informarse sobre las normas y regulaciones locales actuales antes de volar.

Además, aunque los drones más ligeros pueden estar exentos de ciertas restricciones, sigue siendo crucial operarlos de manera segura y considerada. Esto incluye no volar cerca de personas, animales o propiedades sin permiso, no volar en condiciones peligrosas, y siempre mantener el dron a la vista. Aunque las reglas formales pueden no aplicarse, la responsabilidad y el sentido común deben prevalecer en todo momento

5.2.7 Privacidad:

La cuestión de la privacidad es de suma importancia al considerar el uso de drones para el seguimiento de objetos o la recopilación de datos. Este aspecto se vuelve especialmente crítico cuando se opera a altitudes más bajas, donde hay un mayor riesgo de invadir la privacidad de las personas en las propiedades privadas cercanas.

En este nivel, es más probable que las cámaras de los drones puedan capturar detalles de actividades privadas o personales, o de la propiedad personal que no estaba destinada a ser vista públicamente. Estos detalles pueden incluir actividades en patios traseros, detalles de la propiedad personal dentro de los hogares si las ventanas están abiertas, e incluso detalles específicos del diseño del paisaje o de las infraestructuras del edificio que podrían ser considerados sensibles.

A medida que aumenta la altitud de vuelo del dron, este riesgo de invasión de la privacidad se reduce, ya que la cámara está más alejada del suelo y es menos probable que capte estos detalles privados. Sin embargo, a altitudes más altas, la calidad de la imagen también puede verse afectada debido a la distancia mayor al sujeto, la posible interferencia atmosférica y la menor capacidad para enfocar detalles finos. Esto puede limitar la utilidad de las imágenes capturadas para fines de seguimiento o análisis

La figura N° 11-5 puede proporcionar una representación visual de cómo la operación de un dron a diferentes altitudes podría potencialmente afectar la privacidad de las propiedades privadas. Esta representación puede ayudar a guiar las decisiones sobre la altura de vuelo óptima para equilibrar las necesidades de recolección de datos con las preocupaciones de privacidad.



Figura 11-5. Vulneración a la propiedad privada.

Realizado por: Zapata, Johan, 2023

Es vital tener en cuenta estas consideraciones y tomar medidas para mitigar cualquier impacto potencial sobre la privacidad. Esto puede incluir informar a las partes interesadas de las operaciones de los drones, limitar la recolección de datos a áreas donde se ha obtenido el consentimiento, y utilizar tecnologías de anonimato en las imágenes capturadas para ocultar detalles que puedan ser identificables.

CONCLUSIONES

- El uso de drones para el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas de la ciudad de Riobamba ha demostrado ser una estrategia efectiva. Los drones proporcionan una perspectiva amplia y detallada de las condiciones del tráfico, lo que permite identificar patrones de tráfico y zonas de alta congestión, esto se ha evidenciado a través de la recopilación de datos precisa y la capacidad de los drones para cubrir áreas grandes y diversas.
- Aunque los métodos tradicionales de recopilación de datos aún tienen su lugar en el análisis del flujo vehicular, los drones han demostrado que pueden recolectar datos de manera más rápida y eficiente. Además, su capacidad para cubrir áreas geográficas más grandes y su flexibilidad para operar en diferentes condiciones climáticas y de tráfico les da una ventaja significativa.
- En cuanto a la precisión y la fiabilidad de los datos recogidos por los drones, se encontró que estos superan a los métodos tradicionales. Esto refuerza la validez y utilidad de esta nueva metodología para el análisis del flujo vehicular, y ofrece una nueva perspectiva que puede complementar las técnicas existentes.
- En particular, los drones ligeros como el DJI Mini 2, que pesan menos de 0,25 kg, demostraron ser útiles para el análisis del flujo vehicular. Dada su manejabilidad y la exención de ciertas regulaciones de aviación, estos drones pueden ser una opción preferible, siempre y cuando se manejen de forma segura y responsable. Sin embargo, durante la realización de este estudio, se identificaron varios desafíos y limitaciones, estos incluyen la necesidad de manejar aspectos de privacidad, seguridad, y regulaciones de aviación, así como de garantizar que el uso de drones no resulte en intrusiones innecesarias o indeseadas en las propiedades privadas.
- Un factor que tuvo un impacto significativo en la eficacia del uso de drones fue la altura de vuelo. Se observó que la altitud afectaba tanto a la calidad de los datos recopilados como a la privacidad de las propiedades privadas. A altitudes más bajas, existe un mayor riesgo de invasión de la privacidad, mientras que, a altitudes más altas, la calidad de la imagen puede verse comprometida.

RECOMENDACIONES

- Esta investigación ha demostrado que los drones pueden ser una herramienta valiosa para el análisis del flujo vehicular en intersecciones conflictivas. Por lo tanto, se recomienda firmemente que las autoridades relevantes, los investigadores y los responsables de la planificación del tráfico continúen explorando y ampliando su uso para este propósito. Los drones no solo pueden proporcionar una perspectiva única, sino que también pueden recoger datos precisos de manera más eficiente que los métodos tradicionales. Además, su capacidad para cubrir grandes áreas geográficas puede ser particularmente útil en ciudades grandes o en zonas rurales donde las intersecciones pueden estar ampliamente dispersas.
- Los hallazgos de esta investigación sugieren que los drones y los métodos tradicionales de recopilación de datos pueden complementarse entre sí. Por lo tanto, se recomienda que se adopte un enfoque mixto para el análisis del flujo vehicular. Los métodos tradicionales pueden ser efectivos en situaciones donde la recopilación de datos a nivel del suelo es necesaria o donde los drones pueden no ser apropiados debido a las restricciones regulatorias o de privacidad. Por otro lado, los drones pueden ser útiles para obtener una vista panorámica de las intersecciones y capturar datos sobre patrones de tráfico más amplios.
- Es de suma importancia que todos los operadores de drones estén completamente informados y al día respecto a las regulaciones de aviación locales y nacionales. A medida que la tecnología sigue evolucionando, también lo hacen las normativas que rigen su uso. Por lo tanto, es crucial que los operadores de drones hagan un esfuerzo constante para estar al tanto de las últimas regulaciones y asegurarse de que están cumpliendo con todas las normas relevantes, esto no solo garantiza la legalidad de sus operaciones, sino que también ayuda a minimizar cualquier riesgo de seguridad.
- Los drones ligeros, como el DJI Mini 2, han demostrado ser valiosos para el análisis del flujo vehicular. A pesar de estar exentos de algunas regulaciones, todavía tienen el potencial de causar daño si no se manejan de forma segura y responsable. Por lo tanto, aunque estos ofrecen ventajas significativas en términos de manejabilidad y versatilidad, se recomienda que los operadores de drones hagan hincapié en la seguridad.

- Las cuestiones de privacidad son especialmente pertinentes cuando se utilizan drones a bajas altitudes. Para mitigar el riesgo de invasión de la privacidad, se recomienda encarecidamente que los operadores de drones tomen medidas proactivas. Esto puede incluir informar a las partes interesadas sobre las operaciones de los drones y obtener el consentimiento antes de recopilar datos en áreas privadas. Además, se debe evitar volar sobre propiedades privadas siempre que sea posible, a menos que se obtenga permiso explícito.

GLOSARIO

Altitud: En términos de vuelo de drones, se refiere a la altura a la que vuela el dron, medida desde el nivel del suelo.

Anonimato: Tecnología utilizada para ocultar detalles que puedan ser identificables en las imágenes capturadas por drones.

Cámara térmica: Un tipo de cámara que detecta la radiación infrarroja, normalmente emitida por objetos calientes, y crea una imagen en función de esa información.

Dron: Un vehículo aéreo no tripulado, usado en este contexto para referirse a un dispositivo volador pequeño que puede ser controlado remotamente o volar de manera autónoma.

Intersección conflictiva: Un cruce o intersección en una red de carreteras donde se experimenta un alto volumen de tráfico o se producen conflictos de tráfico.

Normativa de aviación: El conjunto de reglas y regulaciones que rigen el vuelo de aeronaves, incluidos los drones, en un espacio aéreo específico.

Privacidad: En este contexto, se refiere a la privacidad personal que puede verse afectada por la recopilación de datos a través de drones.

Regulaciones de drones: Las reglas y leyes específicas que rigen el uso de drones, que pueden variar en función del tamaño y el peso del dron, y del país o región.

Resolución espacial: En imágenes de drones, se refiere al detalle más pequeño que puede verse en una imagen.

Seguridad: En el contexto de los drones, se refiere a las medidas y precauciones tomadas para garantizar que los drones se operen de manera segura, sin causar daño a las personas, la propiedad o a sí mismo.

BIBLIOGRAFÍA

A & V, C. (2019). PLAN DE MOVILIDAD DEL CANTON RIOBAMBA. Gobierno Autónomo Municipal de la ciudad de Riobamba, Riobamba.

Ascencion Laguna, J. A. (2014). Algoritmo automático de detección y aforo vehicular en tiempo real en horario diurno. (*Tesis de maestría*). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.

Blas Orduna , M., De Candia, C., & Raggio, N. (2019). USO DE IMÁGENES DE DRONES PARA EL ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA MOVILIDAD URBANA PEATONAL. *ACTAS - Jornadas de Investigación*, 2393-2405. Obtenido de http://repositorioubasibsi.uba.ar/gsd/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=actasfadu&d=2019-176_html

Butilă, E. V., & Boboc , G. R. (2022). Urban Traffic Monitoring and Analysis Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Systematic Literature Review. *Remote Sens.* doi:10.3390/rs14030620

Cal y Mayor , R., & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de tránsito. Fundamento y aplicaciones*. Bogotá: Alfaomega Grupo Editor, S.A.

De Candia, C., Kopacz, E., & Raggio, N. (2019). USO DE TECNOLOGÍA DE DRONES PARA EL RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL TRÁNSITO. *SI + CAMPOS*, 1660 - 1669. Obtenido de <https://publicacionescientificas.fadu.uba.ar/index.php/actas/article/view/443>

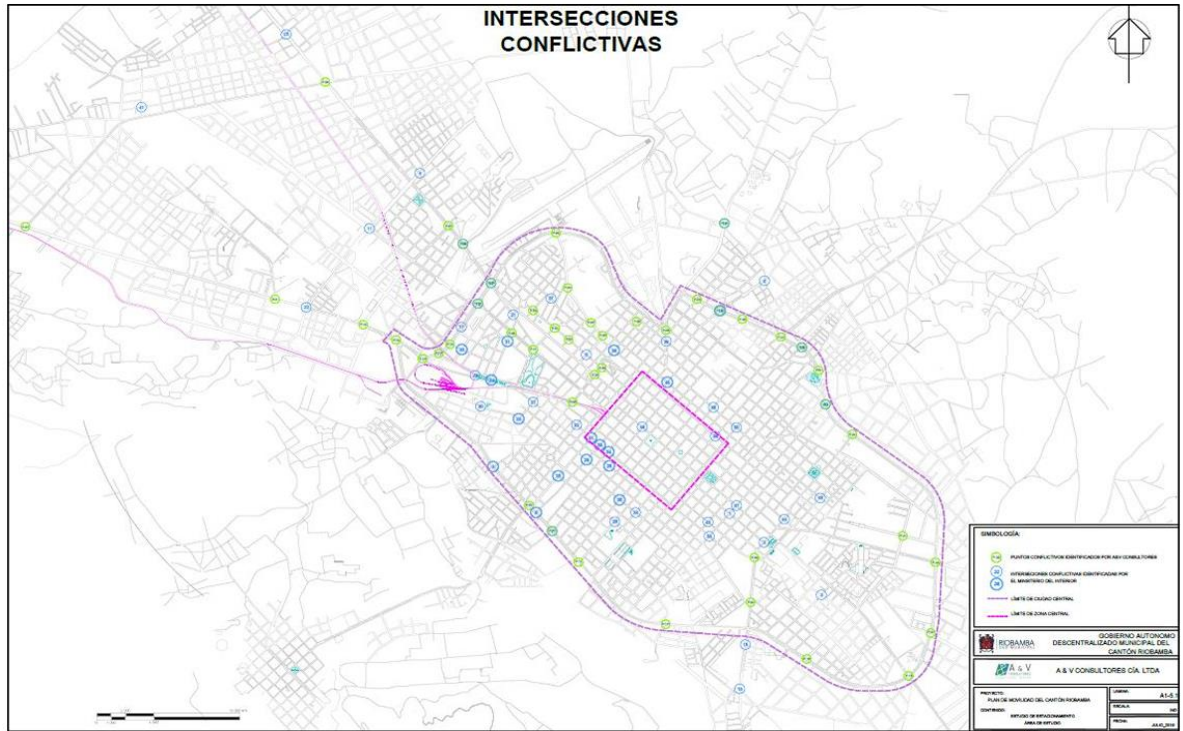
DIRECCIÓN GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL. (04 de Noviembre de 2020). *Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R*. Obtenido de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs): <https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/11/5-DGAC-DGAC-2020-0110-R-Reglamento-de-RPAs.pdf>

Guido, G., Gallelli, V., Rogano, D., & Vitale, A. (2016). Evaluating the accuracy of vehicle tracking data obtained from Unmanned Aerial Vehicles. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 136-151. doi:10.1016/j.ijtst.2016.12.001

- Higuera Cruz, J. F., Barón Rodríguez, D. F., Orduy Rodríguez, J. E., & Araque García, M. D. (2022). Estimación de coeficientes de fricción de vehículos en superficies utilizando drones - Unmanned Aircraft Systems. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 24-40. doi:10.22335/rlct.v14i3.1646
- Khan, M. A., Ectors, W., Bellemans, T., Janssens, D., & Wets, G. (2018). Unmanned Aerial Vehicle-Based Traffic Analysis: A Case Study for Shockwave Identification and Flow Parameters Estimation at Signalized Intersections. *Remote Sens*. doi:10.3390/rs10030458
- Miramontes García, E., Vidaña Bencomo, J., & Rodríguez Esparza, M. (2015). Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 51-60. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7129024>
- Outay, F., Abdullah Mengash, H., & Adnan, M. (2020). Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. doi:10.1016/j.tr.2020.09.018
- Salvo, G., Caruso, L., & Scordo, A. (2014). Urban Traffic Analysis through an UAV. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.143
- Salvo, G., Caruso, L., Scordo, A., Giuseppe, P. G., & Alessandro, V. (2017). Traffic data acquirement by unmanned aerial vehicle. *European Journal of Remote Sensing*, 343-351. doi:10.1080/22797254.2017.1328978
- Vergara Merino, R., Hernández Correas, A., Virués Ortega, D., Bernardo Sanz, S., Ramos Campo, D., & García, J. A. (2016). *Piloto de dron*. Madrid: Ediciones Paraninfo, SA.
- Youssef, Y., & Elshenawy, M. (2021). Automatic Vehicle Counting and Tracking in Aerial Video Feeds using Cascade Region-based Convolutional Neural Networks and Feature Pyramid Networks. *Transportation Research Record*, 304–317. doi:10.1177/0361198121997833

ANEXOS

ANEXO A: MAPA DE INTERSECCIONES CONFLICTIVAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA



ANEXO B: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DRON UTILIZADO

DJI MINI 2 - SPECIFICATIONS - DJI

SPECS

Aircraft

Takeoff Weight	< 249 g
Dimensions	Folded: 138×81×58 mm (L×W×H) Unfolded: 159×203×56 mm (L×W×H) Unfolded (with propellers): 245×289×56 mm (L×W×H)
Diagonal Distance	213 mm
Max Flight Distance	15.7 km
Max Ascent Speed	5 m/s (S Mode) 3 m/s (N Mode) 2 m/s (C Mode)
Max Descent Speed	3.5 m/s (S Mode) 3 m/s (N Mode) 1.5 m/s (C Mode)
Max Service Ceiling Above Sea Level	4000 m
Max Flight Time	31 mins (measured while flying at 4.7 m/s in windless conditions)
Max Wind Speed Resistance	8.5-10.5 m/s (Scale 5)
Max Tilt Angle	40° (S Mode) 25° (N Mode)* 25° (C Mode)* * Up to 40° under strong winds
Max Angular Velocity (by default)*	130°/s (S Mode) 60°/s (N Mode) 30°/s (C Mode) * Can be adjusted to 250°/s with the DJI Fly app
Operating Temperature	0° to 40°C (32° to 104°F)
Operating Frequency	2.400-2.4835 GHz, 5.725-5.850 GHz
Transmitter Power (EIRP)	2.400-2.4835 GHz FCC ≤ 26 dBm CE ≤ 20 dBm SRRC ≤ 20 dBm 5.725-5.850 GHz FCC ≤ 26 dBm

CE ≤ 14 dBm

SRRC ≤ 26 dBm

Hovering Accuracy Range

Vertical: ±0.1 m (with Vision Positioning), ±0.5 m (with GPS Positioning) Horizontal: ±0.3 m (with Vision Positioning), ±1.5 m (with GPS Positioning)

Gimbal

Mechanical Range

Tilt: -110° to 35°

Roll: -35° to 35°

Pan: -20° to 20°

Controllable Range

Tilt: -90° to 0° (default setting) -90° to +20° (extended)

Stabilization

3-axis (tilt, roll, pan)

Max Control Speed (tilt)

100°/s Angular

Vibration Range

±0.01°

Sensing System

Downward

Hovering Range: 0.5-10 m

Operating Environment

Non-reflective, discernable surfaces Diffuse reflectivity (> 20%, such as cement pavement) Adequate lighting (lux > 15, Normal exposure environment of indoor fluorescent lamp)

Camera

Lens

FOV: 83°

35 mm format equivalent: 24 mm

Aperture: f/2.8

Focus range: 1 m to ∞

ISO

Video:

100-3200 (Auto)

100-3200 (Manual)

Photos:

100-3200 (Auto)

100-3200 (Manual)

Shutter Speed

Electronic Shutter: 4-1/8000 s

Max Image Size

4:3: 4000×3000

16:9: 4000×2250

Still Photography Modes

Single Shot

Interval: JPEG: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s JPEG+RAW: 5/7/10/15/20/30/60 s

Auto Exposure Bracketing (AEB): 3 bracketed frames at 2/3 EV Bias

Panorama: Sphere, 180°, and Wide-angle

Video Resolution

4K: 3840×2160 @ 24/25/30fps

2.7K: 2720×1530 @ 24/25/30/48/50/60fps FHD: 1920×1080 @ 24/25/30/48/50/60fps Max

Video Bitrate	100 Mbps
Zoom Range	4K: 2x 2.7K: 3x
QuickShot Modes	Dronie, Helix, Rocket, Circle, Boomerang
Supported File Formats	FAT32 (≤ 32 GB) exFAT (> 32 GB)
Photo Formats J	PEG/DNG (RAW)
Video Formats	MP4 (H.264/MPEG-4 AVC)

Remote Controller & Video Transmission

Operating Frequency	2.400-2.4835 GHz, 5.725-5.850 GHz
Max Transmission Distance (unobstructed, free of interference)	10 km (FCC) 6 km (CE) 6 km (SRRC) 6 km (MIC)
Signal Transmission Ranges (FCC)	Strong Interference (urban landscape, limited line of sight, many competing signals): Approx. 3 km Medium Interference (suburban landscape, open line of sight, some competing signals): Approx. 6 km Low Interference (open landscape abundant line of sight, few competing signals): Approx. 10 km
Operating Temperature	-10° to 40° C (14° to 104° F)
Transmission Power (EIRP)	2.400-2.4835 GHz:
Battery Capacity	5200 mAh
Voltage	1200 mA 3.6 V (Android) 700 mA 3.6 V (iOS)
Supported Mobile Device Size	180×86×10 mm (Height×Width×Thickness)
Supported USB Port Types	Lightning Micro USB (Type-B) USB-C
Video Transmission System	When used with different aircraft hardware configurations, both remote controllers will automatically select the corresponding firmware version for updating and support the following transmission technologies enabled by the hardware performance of the linked aircraft models: <ul style="list-style-type: none"> a. DJI Mini 2/ DJI Mavic Air 2: O2 b. DJI Air 2S: O3 c. DJI Mavic 3: O3+
Live View Quality	Remote Controller: 720p/30fps
Max Bitrate	8 Mbps
Latency (depending on environmental conditions and mobile device)	About 200 ms

ANEXO C: SCRIPT DE PROGRAMA DE ANALISIS DE DATOS

30/7/23, 19:37

Sky.py

~\Desktop\Python\Sky\Sky.py

```
1 import cv2
2 import numpy as np
3 import time
4 from scipy.spatial import distance as dist
5
6 drawing = False
7 region_poligonal = []
8 regions_to_hide = []
9
10 def draw_polygon(event, x, y, flags, param):
11     global drawing, region_poligonal, frame
12
13     if event == cv2.EVENT_LBUTTONDOWN:
14         drawing = True
15         region_poligonal.append((x, y))
16
17     elif event == cv2.EVENT_MOUSEMOVE:
18         if drawing:
19             region_poligonal.append((x, y))
20             cv2.circle(frame, (x, y), 1, (0, 0, 255), -1) # Dibuja un punto.
21             if len(region_poligonal) > 1: # Dibuja una línea entre el último y el penúltimo punto.
22                 cv2.line(frame, region_poligonal[-2], region_poligonal[-1], (0, 255, 0), 1)
23
24     elif event == cv2.EVENT_LBUTTONUP:
25         drawing = False
26
27 def point_in_rect(point, rect):
28     (x, y, w, h) = rect
29     (cx, cy) = point
30     return x < cx < x + w and y < cy < y + h
31
32 class CentroidTracker:
33     def __init__(self, maxDisappeared=50):
34         self.nextObjectID = 0
35         self.objects = {}
36         self.disappeared = {}
37         self.maxDisappeared = maxDisappeared
```

localhost:57669@localhost:~\Desktop\Python\Sky\Sky.py

1/7

30/7/23, 19:37

Sky.py

```
38
39 def register(self, centroid):
40     self.objects[self.nextObjectID] = centroid
41     self.disappeared[self.nextObjectID] = 0
42     self.nextObjectID += 1
43
44 def deregister(self, objectID):
45     del self.objects[objectID]
46     del self.disappeared[objectID]
47
48 def update(self, rects):
49     if len(rects) == 0:
50         for objectID in list(self.disappeared.keys()):
51             self.disappeared[objectID] += 1
52             if self.disappeared[objectID] > self.maxDisappeared:
53                 self.deregister(objectID)
54         return self.objects
55     inputCentroids = np.zeros((len(rects), 2), dtype="int")
56     for (i, (startX, startY, endX, endY)) in enumerate(rects):
57         cx = int((startX + endX) / 2.0)
58         cy = int((startY + endY) / 2.0)
59         inputCentroids[i] = (cx, cy)
60     if len(self.objects) == 0:
61         for i in range(0, len(inputCentroids)):
62             self.register(inputCentroids[i])
63     else:
64         objectIDs = list(self.objects.keys())
65         objectCentroids = list(self.objects.values())
66         D = dist.cdist(np.array(objectCentroids), inputCentroids)
67         rows = D.min(axis=1).argsort()
68         cols = D.argmin(axis=1)[rows]
69         usedRows = set()
70         usedCols = set()
71         for (row, col) in zip(rows, cols):
72             if row in usedRows or col in usedCols:
73                 continue
74             objectID = objectIDs[row]
75             self.objects[objectID] = inputCentroids[col]
76             self.disappeared[objectID] = 0
77             usedRows.add(row)
78             usedCols.add(col)
```

localhost:57669@localhost:~\Desktop\Python\Sky\Sky.py

2/7

30/7/23, 19:37

Sky.py

```
79 unusedRows = set(range(0, D.shape[0]).difference(usedRows))
80 unusedCols = set(range(0, D.shape[1]).difference(usedCols))
81 if D.shape[0] > D.shape[1]:
82     for row in unusedRows:
83         objectID = objectIDs[row]
84         self.disappeared[objectID] += 1
85         if self.disappeared[objectID] > self.maxDisappeared:
86             self.deregister(objectID)
87     else:
88         for col in unusedCols:
89             self.register(inputCentroids[col])
90     return self.objects
91
92 def mask_regions(frame, regions):
93     mask = np.ones(frame.shape[:2], dtype="uint8") * 255
94     for region in regions:
95         cv2.fillPoly(mask, [np.array(region, dtype=np.int32)], 0)
96     mask = cv2.GaussianBlur(mask, (9, 9), 0) # Suavizado de la máscara.
97     masked = cv2.bitwise_and(frame, frame, mask=mask)
98     return masked
99
100 cap = cv2.VideoCapture(r"C:\Users\Johan\Desktop\Python\CR180.mp4")
101
102 if not cap.isOpened():
103     print("No se pudo abrir el video")
104     exit()
105
106 ret, frame = cap.read()
107 if not ret:
108     print("No se pudo obtener el frame")
109     exit()
110
111 cv2.namedWindow("Seleccionar regiones", cv2.WINDOW_NORMAL)
112 cv2.resizeWindow("Seleccionar regiones", 800, 600)
113 cv2.setMouseCallback("Seleccionar regiones", draw_polygon)
114
115 while True:
116     cv2.imshow("Seleccionar regiones", frame)
117     k = cv2.waitKey(1) & 0xFF
118
119     if k == ord('a'): # Cuando se presiona 'a', agregamos la región poligonal a la lista
```

localhost:57669@localhost:~\Desktop\Python\Sky\Sky.py

3/7

```

307/23, 19:37                                Skyp
120     regions_to_hide.append(region_poligonal)
121     region_poligonal = []
122
123     elif k == ord('q'): # Cuando se presiona 'q', salimos del ciclo
124         break
125
126     cv2.destroyAllWindows("Seleccionar regiones")
127
128     cv2.namedWindow("Video", cv2.WINDOW_NORMAL)
129     cv2.resizeWindow("Video", 500, 400)
130
131     detection_rects = []
132     counters = []
133     counted_objects = []
134     objects = {}
135     prev_objects = {}
136     prev_locations = {}
137     objectID = 0
138     trackers = []
139
140     trajectories = {} # Store the trajectories of each object
141     started_tracking = {} # Store whether tracking has started for each object
142
143     ct = CentroidTracker()
144
145     cap = cv2.VideoCapture(r'C:\Users\Johan\Desktop\Python\CR100.mp4')
146
147     if not cap.isOpened():
148         print("No se pudo abrir el video")
149         exit()
150
151     ret, frame = cap.read()
152     if not ret:
153         print("No se pudo obtener el frame")
154         exit()
155
156     cv2.namedWindow("Seleccionar objeto Horizontal", cv2.WINDOW_NORMAL)
157     cv2.resizeWindow("Seleccionar objeto Horizontal", 800, 600)
158
159     r_h = cv2.selectROI("Seleccionar objeto Horizontal", frame, False)
160     refWidth = r_h[2]

```

localhost:57669@fadc6a1-f741-42bd-831a-94b8368c20e/

4/7

```

307/23, 19:37                                Skyp
161
162     cv2.destroyAllWindows("Seleccionar objeto Horizontal")
163
164     cv2.namedWindow("Seleccionar objeto Vertical", cv2.WINDOW_NORMAL)
165     cv2.resizeWindow("Seleccionar objeto Vertical", 800, 600)
166
167     r_v = cv2.selectROI("Seleccionar objeto Vertical", frame, False)
168     refHeight = r_v[3]
169
170     cv2.destroyAllWindows("Seleccionar objeto Vertical")
171
172     fgbg = cv2.createBackgroundSubtractorMOG2()
173
174     detection_rects = []
175     counters = []
176     counted_objects = []
177     objects = {}
178     prev_objects = {}
179     prev_locations = {}
180     objectID = 0
181     trackers = []
182
183     trajectories = {} # Store the trajectories of each object
184     started_tracking = {} # Store whether tracking has started for each object
185
186     ct = CentroidTracker()
187
188     while True:
189         ret, frame = cap.read()
190         if frame is None:
191             break
192
193         cv2.namedWindow("seleccionar rectángulo", cv2.WINDOW_NORMAL)
194         cv2.resizeWindow("seleccionar rectángulo", 800, 600)
195         r = cv2.selectROI("seleccionar rectángulo", frame)
196         cv2.destroyAllWindows("seleccionar rectángulo")
197         if r[2] > 0 and r[3] > 0:
198             detection_rects.append(r)
199             counters.append(0)
200             counted_objects.append(set())
201             tracker = cv2.LegacyTrackerMOSSE_create()

```

localhost:57669@fadc6a1-f741-42bd-831a-94b8368c20e/

5/7

```

307/23, 19:37                                Skyp
202         tracker.init(frame, tuple(map(int, r)))
203         trackers.append(tracker)
204     else:
205         break
206
207     while True:
208         ret, frame = cap.read()
209         if frame is None:
210             break
211
212     # Aplica la máscara a la región seleccionada en el frame
213     frame = mask_regions(frame, regions_to_hide)
214     fgmask = fgbg.apply(frame)
215     fgmask = cv2.medianBlur(fgmask, 5)
216
217     kernel = cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_RECT, (5,5))
218     fgmask = cv2.morphologyEx(fgmask, cv2.MORPH_CLOSE, kernel)
219
220     contours, _ = cv2.findContours(fgmask, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
221
222     current_frame_centroids = []
223     rects = []
224     for i, contour in enumerate(contours):
225         if cv2.contourArea(contour) > 400:
226             (x, y, w, h) = cv2.boundingRect(contour)
227             area = w * h
228
229             refArea = refWidth * refHeight
230
231             if area < 0.5 * refArea or area > 2.0 * refArea:
232                 continue
233
234             cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h), (0, 255, 0), 2)
235
236             cx = int((x + x + w) / 2.0)
237             cy = int((y + y + h) / 2.0)
238             current_frame_centroids.append((cx, cy, time.time()))
239             rects.append((x, y, x+w, y+h))
240
241     objects = ct.update(rects)
242

```

localhost:57669@fadc6a1-f741-42bd-831a-94b8368c20e/

6/7

```

30723.1937                               Skyzy
243 for objectID, centroid in objects.items():
244     for i, rect in enumerate(detection_rects):
245         if point_in_rect(centroid, rect) and objectID not in counted_objects[i]:
246             counters[i] += 1
247             counted_objects[i].add(objectID)
248
249             if objectID not in started_tracking:
250                 started_tracking[objectID] = True
251
252     if objectID in started_tracking and started_tracking[objectID]:
253         if objectID not in trajectories:
254             trajectories[objectID] = [tuple(centroid[:2])]
255         else:
256             trajectories[objectID].append(tuple(centroid[:2]))
257
258     prev_locations[objectID] = centroid[:2]
259
260 for i, rect in enumerate(detection_rects):
261     (x, y, w, h) = rect
262     cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h), (0, 0, 255), 2)
263     cv2.putText(frame, str(counters[i]), (x, y - 10), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (0, 0, 255), 2)
264
265
266
267 # Resize frame maintaining aspect ratio
268 height, width, _ = frame.shape
269 new_width = 800
270 new_height = int((new_width/width) * height)
271 frame = cv2.resize(frame, (new_width, new_height))
272
273 cv2.imshow('frame', frame)
274
275 if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
276     break
277
278 cap.release()
279 cv2.destroyAllWindows()
280

```


10:45 - 11:00									
11:00 - 11:15									
11:15 - 11:30									
11:30 - 11:45									
11:45 - 12:00									
12:00 - 12:15									
12:15 - 12:30									
12:30 - 12:45									
12:45 - 13:00									
13:00 - 13:15									
13:15 - 13:30									
13:30 - 13:45									
13:45 - 14:00									
14:00 - 14:15									
14:15 - 14:30									
14:30 - 14:45									
14:45 - 15:00									
15:00 - 15:15									
15:15 - 15:30									
15:30 - 15:45									
15:45 - 16:00									
16:00 - 16:15									
16:15 - 16:30									
16:30 - 16:45									
16:45 - 17:00									
17:00 - 17:15									
17:15 - 17:30									
17:30 - 17:45									
17:45 - 18:00									
18:00 - 18:15									
18:15 - 18:30									
18:30 - 18:45									
18:45 - 19:00									



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 26 / 01 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Johan Geovanett Zapata Verdezoto</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
<i>Instituto de Posgrado y Educación Continua</i>
Título a optar: <i>Magíster en Transporte y Logística</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.



firmado electrónicamente por:
LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS



0173-DBRA-UTP-IPEC-2023