



POSGRADOS

Maestría en Vialidad y Transporte

NRO. PQ-0793-022-2024-12-05

Opción de Titulación:

Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo

Tema:

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE
UN SISTEMA DE CONTEO VEHICULAR
BASADO EN VISIÓN POR
COMPUTADORA

Autores

MARCO ESTEBAN BASANTES GUERRERO
YORLENYS SHAKIRA GAIBOR NÚÑEZ

Director:

BYRON IVÁN ALTAMIRANO LEÓN

QUITO - Ecuador
2025



Autores:



Yorlenys Shakira Gaibor Núñez.

Ingeniería Civil

Candidata a Magíster en Vialidad y Transporte por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

ygaiborn@est.ups.edu.ec



Marco Esteban Basantes Guerrero.

Ingeniero Civil

Candidato a Magíster en Vialidad y Transporte por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

mbasanteg1@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Byron Iván Altamirano León.

Ingeniero Civil.

Magister en Ingeniería del Transporte.

baltamirano@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2025 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

Yorlenys Shakira Gaibor Núñez

Marco Esteban Basantes Guerrero

Desarrollo e Implementación de un Sistema de Conteo Vehicular Basado en Visión por Computadora.

DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan significativa en mi vida. A mi familia, en especial a mis padres por su amor constante y apoyo.

Expreso también mi sincero agradecimiento a mis docentes, por su valiosa enseñanza, orientación y acompañamiento a lo largo de este proceso. Su respaldo fue esencial para alcanzar esta meta.

A ti, mi amor, gracias por acompañarme en cada momento, por tu apoyo inquebrantable y por creer en mí incluso cuando me costaba hacerlo. Gracias por ser mi fuerza, mi refugio y mi compañero en este logro.

(Gaibor Núñez Yorlenys Shakira)

Este trabajo es dedicado a Dios ya que él es dueño de nuestras vidas, nuestros sueños y nuestras metas, que sin él nada fuera posible y él es el que nos da la fortaleza y sabiduría necesaria para poder avanzar en cada paso que damos.

Dedicado a mis padres que gracias a ellos he logrado la mayoría de mis sueños y son la motivación y el apoyo que siempre ha estado en cada etapa de mi vida.

A mi novia Shakira, amor, gracias por cada apoyo en cada clase cada trabajo, gracias a ti y a tu paciencia que nos ha permitido culminar la maestría y realizar este trabajo. Gracias por ser mi cable a tierra y mi mayor inspiración.

(Basantes Guerrero Marco Esteban)

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, mis padres, hermanos por el apoyo que me brindaron durante este arduo proceso.

A la Universidad Politécnica Salesiana y por permitirme ser parte de la primera cohorte de dicha maestría, por proporcionarme la formación académica y los conocimientos fundamentales para desarrollarme como profesional.

Finalmente, agradezco a todas las personas que de una u otra manera me brindaron su apoyo, compañía y aliento para alcanzar este logro.

(Gaibor Núñez Yorlenys Shakira)

Primero que nada, agradecer a Dios que sin el nada fuera posible, a mis padres que son el motor de mi día a día, a mis hermanos que han estado ahí siempre en cada paso, a mi abuelita que es la más feliz por cada logro, y un beso y abrazo de agradecimiento al cielo a mi abuelo que es mi motivación y que desde alguna parte es su estrella quien me guía.

A la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme grata experiencia y una gran formación académica y los conocimientos necesarios para el desarrollo profesional.

(Basantes Guerrero Marco Esteban)

Tabla de contenido

Tabla de contenido	5
Resumen	12
Abstract	12
CAPÍTULO I	14
1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	14
1.1. Introducción	14
1.2. Problema de estudio	14
1.2.1. Antecedentes.....	14
1.2.2. Ubicación	16
1.3. Justificación	17
1.4. Objetivos.....	20
1.4.1. Objetivo General.....	20
1.4.2. Objetivos Específicos	20
CAPÍTULO II	20
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1. Infraestructura Vial y Clasificación de las Vías	20
2.1.1. Clasificación según diseño geométrico	21
2.1.2. Clasificación por topografía del terreno.....	21
2.1.3. Clasificación por jurisdicción:	22
2.1.4. Clasificación en función del volumen de tránsito:	22
2.2. Fundamentos del Tráfico Vehicular.....	23
2.2.1. Parámetros fundamentales del flujo vehicular:	23
2.2.2. Volumen de tránsito	23
2.2.3. Volúmenes absolutos o totales	24
2.2.4. Tráfico futuro	25
2.2.5. Densidad vehicular	25
2.2.6. Tipos de conteo	26
2.3. Movilidad Urbana en Quito	26
2.3.1. Composición vehicular típica:.....	27
2.3.2. Problemáticas de movilidad urbana:.....	29
2.4. Elementos del Tránsito y Señalización	31
2.4.1. Infraestructura vial:	31

2.4.2.	Señalización vial.....	32
2.4.3.	Normas	32
2.4.4.	Señalización vertical	32
2.4.4.1.	Señales reglamentarias	32
2.4.4.2.	Señales preventivas	33
2.4.4.3.	Señales informativas.....	33
2.4.5.	Señalización horizontal.....	33
2.5.	Relevancia del Conteo Vehicular	33
2.5.1.	Aplicaciones del conteo.....	34
2.5.2.	Beneficios para la gestión del transporte.....	34
2.6.	Visión por Computadora Aplicada al Tránsito.....	35
2.6.1.	Conceptos básicos	35
2.6.2.	Técnicas comunes.....	35
2.6.3.	Comparativa con métodos tradicionales:	36
2.7.	Sistemas de Conteo Vehicular	36
2.7.1.	Tipología de sistemas	36
2.8.	Procesamiento Digital de Imágenes	37
2.8.1.	Preprocesamiento y segmentación.....	37
2.8.2.	Equipos recomendados.	37
2.8.3.	Consideraciones técnicas: A tomar en cuenta	39
2.9.	Inteligencia Artificial Aplicada al Transporte.....	39
2.9.1.	Aprendizaje automático	40
2.9.2.	Redes neuronales.	40
2.9.3.	Retos técnicos.....	40
2.10.	Diseño e Implementación del Sistema	41
2.10.1.	Metodología de desarrollo.	41
2.10.2.	Componentes.	41
2.10.3.	Funcionamiento.....	42
2.11.	Tecnologías para la Detección del Flujo Vehicular	42
2.11.1.	Sensores intrusivos.....	42
2.11.2.	Sensores no intrusivos.....	42
CAPÍTULO III.....		43
3.	METODOLOGÍA.....	43
3.1.	Enfoque Metodológico	44
3.2.	Sistema de obtención de datos	45

3.2.1.	Conteo automático	45
3.2.2.	Conteo manual	45
3.2.3.	Conteo con cámara por computadora	45
3.3.	Elección del lugar adecuado para la instalación.....	46
3.4.	Factores necesarios para el funcionamiento de los tipos de conteo.....	48
3.4.1.	Factores para el conteo automático	48
3.4.2.	Factores para el conteo manual	48
3.4.3.	Factores para el Conteo con cámara por computadora	49
3.5.	Análisis de diferencias entre los métodos aplicados.....	49
3.6.	Conteo automático.....	49
3.6.1.	Herramientas y componentes usados.....	49
3.6.2.	Software utilizado del MetroCount.....	52
3.6.3.	Clasificación de vehículos según MetroCount.....	57
3.6.4.	Recolección de datos.....	59
3.6.5.	Cálculo del tpda (tráfico promedio diario anual	62
3.7.	Conteo manual	63
3.7.1.	Procesamiento informativo	63
3.7.2.	Obtención del tráfico promedio diario anual (tpda)	70
CAPÍTULO IV.....		70
4.	DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTEO VEHICULAR.....	70
4.1.	Descripción General del Sistema	70
4.1.1.	Funcionamiento del sistema	71
4.1.2.	Componentes y descripción del código.....	72
4.2.	Captura y Procesamiento de Video	76
4.3.	Seguimiento y Conteo Vehicular	80
4.4.	Visualización de Resultados.....	81
4.5.	Evaluación del Sistema	82
4.6.	Limitaciones Detectadas y Posibles Mejoras	82
CAPÍTULO V.....		83
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	83
5.1.	Resultados de Pruebas en Campo	83
5.2.	Precisión del Conteo Vehicular.....	86
5.3.	Rendimiento del Sistema.....	87
5.4.	Comparación con Otros Métodos	88
5.5.	Análisis de Casos Especiales	92

CAPÍTULO VI.....	93
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
6.1. CONCLUSIONES.....	93
6.2. RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	94

Ilustraciones

Ilustración 1 Elaborado por: (Google Maps), ubicación del contador neumático.....	17
Ilustración 2: Clasificación de vehículos según normas MOP.....	22
Ilustración 3 Anuario de estadísticas de transporte-NEC 2021.....	27
Ilustración 4: Clasificación de vehículos-Mtop(2003).....	28
Ilustración 5: Elaboración propia.....	29
Ilustración 6: Infraestructura vial.....	31
Ilustración 7: Ejemplo RTE INEN 004-1:2011.....	32
Ilustración 8: Ejemplo RTE INEN 004-2:2011.....	33
Ilustración 9: Conteo mediante cámara Nikon T5i.....	47
Ilustración 10: Resultado de video obtenido con cámara.....	47
Ilustración 11: Utilización de dron para grabación.....	48
Ilustración 12: Imagen obtenida por grabación del dron.....	48
Ilustración 13: Equipo Metro Count.....	50
Ilustración 14: Kit de instalación Metro Count.....	50
Ilustración 15: Instalación tubos neumáticos-Autores.....	51
Ilustración 16: Fijación a la superficie de la vía-Autores.....	52
Ilustración 17: Cable de descarga de datos USB-MetroCount.....	53
Ilustración 18: Página principal MetroCount Autores.....	53
Ilustración 19: Ventana de comunicación-Autores.....	54
Ilustración 20: Puerto de serie-Autores.....	54
Ilustración 21: Verificación MetroCount.....	55
Ilustración 22: Cable de comunicación al equipo-Autores.....	55
Ilustración 23: Ventana de configuración-Autores.....	56
Ilustración 24: Valor de bloqueo-Autores.....	56
Ilustración 25: Ventana de verificación del contador-Autores.....	57
Ilustración 26: Ventana para descargar los datos-Autores.....	60
Ilustración 27: Venta de reporte-Autores.....	60
Ilustración 28: Ventana de opciones de reportes-Autores.....	61
Ilustración 29: Ventana de reporte individual.....	61
Ilustración 30: Imagen referencial cámaras de seguridad.....	76
Ilustración 31: Imagen referencial grabación con teléfono.....	77
Ilustración 32: Obtención de imágenes con cámara.....	77
Ilustración 33: Resultados de imágenes obtenidos con cámara.....	78
Ilustración 34: Grabación con dron.....	78
Ilustración 35: Resultado de grabación con dron.....	78
Ilustración 36: Resultado de grabación con dron.....	79
Ilustración 37: Imágenes referenciales de conteos por visión artificial.....	79
Ilustración 38: Imagen referencial del conteo vehicular con visión artificial.....	80

Ilustración 39: Imagen referencial de conteo vehicular con visión artificial	80
Ilustración 40: Imagen del programa creado por los maestrantes	81
Ilustración 41: Ejemplo ilustrativo de los resultados de grabaciones	82
Ilustración 42: Imagen obtenida de grabaciones realizadas por cámara	84
Ilustración 43: Imagen obtenida de grabaciones mediante cámara	85
Ilustración 44: Imagen obtenida de grabación con dron	85
Ilustración 45: Imagen del programa creado por los maestrantes – grabación con dron.	86
Ilustración 46: Imagen del programa creado por los maestrantes – grabación con cámara.	86
Ilustración 47 Gráfico representativo día Viernes.....	90
Ilustración 48 Gráfico representativo día Sábado	91
Ilustración 49 Gráfico representativo día Martes	92

Tablas

Tabla 1: Tabla comparativa de métodos de conteo	36
Tabla 2: Características principales de cámaras de grabación.....	38
Tabla 3: Clasificación de vehículos según MetroCount.....	58
Tabla 4: Factor mensual del consumo de combustibles - Elaborado por: Autores	62
Tabla 5: Flujo vehicular por método de conteo manual - Elaborado por: Autores	64
Tabla 6: Flujo vehicular por método de conteo automático - Elaborado por: Autores .	64
Tabla 7: Flujo vehicular por método de conteo con cámara por computadora - Elaborado por: Autores	65
Tabla 8 : Factor horario	66
Tabla 9: Factor Mensual del consumo de combustible - Elaborado por: Autores.....	66
Tabla 10: Datos del conteo manual viernes – Elaborado por: Autores.....	67
Tabla 11: Datos del conteo manual sábado – Elaborado por: Autores.....	68
Tabla 12: Datos del conteo manual martes - Elaborado por: Autores.....	68
Tabla 13: Volumen total diario ajustado por el factor horario	69
Tabla 14: Datos vehiculares por conteo manual, automático y conteo con cámara por computadora – viernes Elaborado por: Autores	90
Tabla 15: Datos vehiculares por conteo manual, automático y conteo con cámara por computadora – Sábado Elaborado por: Autores.....	90
Tabla 16: Datos vehiculares por conteo manual, automático y conteo con cámara por computadora Martes Elaborado por: Autores	91

Ecuaciones

Ecuación 1: Volumen de tránsito	23
Ecuación 2: Transito promedio diario anual	24
Ecuación 3: Flujo vehicular	25
Ecuación 4: Promedio consumo diario	62
Ecuación 5: Factor mensual	63
Ecuación 6: Tráfico promedio diario anual	63
Ecuación 7: Factor horario	65
Ecuación 8: Factor semanal	66
Ecuación 9: Trafico promedio diario semanal	69

Ecuación 10: Trafico promedio diario	69
Ecuación 11: Trafico promedio diario anual	70
Ecuación 12: Precisión del sistema del día 28 de marzo	86
Ecuación 13: Precisión del sistema del día 29 de marzo	87
Ecuación 14: Precisión del sistema del día 01 de abril	87

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTEO VEHICULAR BASADO EN VISIÓN POR COMPUTADORA

Autores:

MARCO ESTEBAN BASANTES GUERRERO
YORLENYS SHAKIRA GAIBOR NÚÑEZ

Resumen

Este proyecto presenta el desarrollo e implementación de un sistema de conteo vehicular utilizando técnicas de visión por computadora. El objetivo principal es implementar un sistema automatizado de conteo y análisis de vehículos que emplee técnicas avanzadas, que sea preciso para el monitoreo del flujo vehicular en el entorno urbano, para poder tomar decisiones de planificación y operación del sistema vial, de igual manera se busca contribuir a la mejora de la movilidad urbana y planificación vial. El sistema opera mediante el análisis de video en tiempo real, utilizando algoritmos especializados en detección y seguimiento de objetos para reconocer y contabilizar los vehículos que cruzan una región específica del área monitoreada.

Las aplicaciones con entrenamiento automático por visión por computadora, han permitido que en años recientes el sistema de conteo vehicular logre progresar y perfeccionar con la implementación de nuevas técnicas para tratar el problema del conteo vehicular. Estudios realizados por Joseph Redmon, que presentó YOLO (You Only Look Once), ha facilitado la identificación de objetos en movimiento en tiempo real permitiendo la clasificación y conteo de los mismos. Estos métodos no solo incrementan la precisión, sino que también facilitan el manejo de datos con procesamiento inmediato, lo que resulta imprescindible y necesario para la administración del tráfico.

El presente trabajo aporta al desarrollo de soluciones basadas en visión artificial para el sector del transporte, proponiendo un sistema automatizado como alternativa a los métodos convencionales de conteo vehicular, que minimizará errores humanos y los costos operativos.

Palabras clave:

Visión por computadora, Yolo, movilidad urbana, detección de objetos, conteo vehicular, análisis de video.

Abstract

This project presents the development and implementation of a vehicle counting system using computer vision techniques. The main objective is to implement an automated vehicle counting and analysis system that employs advanced techniques and is accurate for monitoring vehicle flow in the urban environment, enabling road system planning and operation decisions. It also seeks to contribute to the improvement of urban mobility and road planning. The system operates through real-time video analysis, using specialized object detection and tracking algorithms to recognize and count vehicles crossing a specific region of the monitored area.

Applications with automatic computer vision training have allowed vehicle counting systems to progress and refine in recent years with the implementation of new techniques to address the problem of vehicle counting. Studies conducted by Joseph Redmon, who introduced YOLO (You Only Look Once), have facilitated the identification of moving objects in real time, allowing for their classification and counting. These methods not only increase accuracy but also facilitate data handling with immediate processing, which is essential and necessary for traffic management.

This paper contributes to the development of machine vision-based solutions for the transportation sector, proposing an automated system as an alternative to conventional vehicle counting methods that will minimize human error and operating costs.

Keywords:

Computer vision, Yolo, urban mobility, object detection, vehicle counting, video analysis.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1. Introducción

Para llevar a cabo esta investigación, en el presente marco teórico se presenta un sustento conceptual y metodológico que abordará el tema de estudio. Este capítulo proporciona información sobre teorías, modelos y antecedentes que se usa de base para el desarrollo del estudio, así mismo la interpretación de resultados.

El marco teórico se relaciona directamente con el problema planteado, porque aborda conceptos importantes para poder entender ciertos temas como lo son la visión por computadora, procesamiento de imágenes y técnicas de conteo vehicular. Para implementar un sistema automatizado de recuento de vehículos, es imprescindible entender las herramientas informáticas requeridas para el desarrollo del mismo. Por lo tanto, este capítulo será el fundamento teórico esencial para el avance de la solución sugerida.

La estructura de este capítulo se organiza en varias secciones. Se muestra los conceptos fundamentales sobre visión por computadora, su uso en el conteo vehicular, a continuación, se analiza los principales algoritmos y metodologías que se usa para la detección y reconocimiento de los tipos de vehículos. Luego se analizará investigaciones anteriores y antecedentes significativos que han aportado al desarrollo de sistemas similares. Finalmente, se aborda los desafíos y retos relacionados con la ejecución de un sistema de conteo vehicular basado en visión por computadora, destacando la relevancia de la exactitud y eficacia en estas aplicaciones.

1.2. Problema de estudio

1.2.1. Antecedentes

El desarrollar un programa de conteo vehicular basado en visión por computadora, se crea con el fin de obtener datos vehiculares de una manera rápida y precisa, de esta

forma mejorar la gestión del tránsito, contribuir frente a la demanda vehicular que tienen los entornos urbanos, para solucionar los problemas en la ciudad de Quito, donde existe insuficiencia de infraestructura.

La falta de sincronización en los semáforos y la escasa integración del transporte público, son causantes de problemas que llevan a los usuarios de las vías a ocasionar un malestar. El crecimiento poblacional ha generado un aumento sostenido del parque automotor, esta situación plantea importantes desafíos para garantizar la eficiencia del flujo vehicular en las ciudades.

La expansión urbana, junto con la concentración de actividades en zonas centrales, ha incrementado significativamente la demanda de movilidad, lo que ha extendido progresivamente el área de influencia de las ciudades y ha influido directamente en su estructura y funcionamiento. Como consecuencia, las actividades cotidianas se desarrollan en un entorno caracterizado por infraestructuras viales saturadas, agravando problemas como el tráfico, el ruido ambiental y la contaminación atmosférica. (Merchán, D., & Blanco, E. , 2016)

Hoy en día, los conteos de tráfico son necesarios para poder determinar capas y estructuras de pavimento, para realizar el control del volumen de vehículos y el mejoramiento del tránsito. Los distintos tipos de conteo que se conoce son manual, o mediante sensores. (AMARILLA, DEVINCENZI, RAMOS, & SCHVASTZMAN, 2016).

En el ámbito de los sistemas de recuento y seguimiento del tráfico, se han desarrollado múltiples investigaciones enfocadas en el conteo vehicular mediante técnicas de visión por computadora. Diversos estudios, particularmente aquellos desarrollados en universidades y centros de investigación, han empleado cámaras de vigilancia junto con algoritmos de procesamiento de imágenes para contabilizar vehículos en distintos tipos de vías y condiciones ambientales. Un aporte significativo en este campo es el de Anandhalli & Baligar (2018) "A novel approach in real-time vehicle detection and tracking using Raspberry Pi" , en el cual se implementó un sistema capaz de integrar detección de objetos y seguimiento en video en tiempo real, con el fin de realizar conteos vehiculares precisos y gestionar la información derivada del flujo de tráfico.

El desarrollo de aplicaciones con modelos de aprendizaje automático aplicados a visión por computadora ha favorecido, en los últimos años, el perfeccionamiento de los sistemas de conteo vehicular, permitiendo abordar con mayor precisión el desafío de identificar y contabilizar vehículos en escenarios urbanos complejos. Estudios como el realizado por Joseph Redmon (2016) , que presentó YOLO (You Only Look Once), ha facilitado la identificación de objetos en movimiento en tiempo real y así permitir la clasificación y conteo de estos. De igual forma, esto es útil para contar vehículos en tiempo real con gran exactitud. Estos métodos no solo incrementan la precisión, sino que también facilitan el manejo de datos en tiempo real, lo que resulta imprescindible y requerido para la administración del tráfico.

Algunas urbes a nivel global han iniciado la implementación de tecnologías con visión por computadora en el marco de sus proyectos de "ciudad inteligente" (Julian, 2019). Por ejemplo, el proyecto de tráfico inteligente en Singapur ha incorporado cámaras y análisis de datos con el fin de optimizar el tránsito vehicular y disminuir la congestión.

Las soluciones del sistema de conteo por visión por computadora, tienen elevado costo, complejidad de su implementación y la demanda de equipos especializados restringe la adaptación de estas tecnologías. El trabajo propuesto en esta investigación se basa en el concepto de buscar y desarrollar un sistema eficaz y accesible, que pueda ser empleado por autoridades locales y en ciudades congestionadas, para optimizar la recopilación de información sobre el tráfico de vehículos. Además, se plantea la adaptación y mejora de algoritmos ampliamente establecidos en el campo de visión computarizada, con el objetivo de optimizar el funcionamiento del programa en diversas condiciones ambientales, tales como variaciones climáticas o baja iluminación. Esta investigación no solo aporta a los proyectos existentes y actuales, sino que también proporciona un respaldo como instrumento útil para abordar los desafíos del tráfico actual.

1.2.2. Ubicación

El proyecto presente se llevó a cabo en las afueras de la Universidad Politécnica Salesiana – Campus sur “Av. y, Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito 170146” dirección Norte-

Sur, Coordenadas 772753.26 E 9968741.18 S ZONA 17S, donde se ubicó el contador neumático para la toma de datos.



Ilustración 1 Elaborado por: (Google Maps), ubicación del contador neumático

1.3. Justificación

El incremento sostenido de la población, junto con la intensificación de las actividades urbanas cotidianas, que incluyen los desplazamientos laborales, educativos y comerciales, ha generado un incremento notable en el parque vehicular de las ciudades. Este crecimiento, sumado a la limitada capacidad de la infraestructura vial existente, genera congestionamientos frecuentes y prolongados.

Dicha situación impacta de manera directa en la movilidad urbana, generando un incremento en los tiempos de desplazamiento, así como un aumento en los niveles de estrés y una disminución en la calidad de vida de los usuarios del sistema de transporte (Álvarez Mendoza & Padilla Almeida, 2019).

Es fundamental considerar la problemática asociada a la escasez de información, la cual se origina en la presencia de datos incorrectos. Esta situación se traduce en la falta de antecedentes confiables y en la ausencia de información actualizada respecto al flujo de vehículos. En Ecuador la mayoría de las ciudades todavía recurren a métodos de conteo tradicionales, como el conteo manual o sensores físicos, los cuales son costosos y limitados en su habilidad para proporcionar datos en tiempo real. Con la ausencia de información exacta resulta complicado para las autoridades diseñar y aplicar estrategias eficaces, administrar el tráfico y mejorar la infraestructura de las vías. Esta situación resulta en un efecto negativo continuo, en el cual la falta de información confiable contribuye a la persistencia de la congestión y de los problemas asociados al tránsito (Vega & Parra, 2014).

A lo largo de los últimos años la inteligencia artificial ha crecido de una manera exponencial que se han creado programas con un entorno adecuado y eficiente para que computadoras con la ayuda de videos puedan procesar e interpretar imágenes (Branch & Olague, 2001) .

La capacidad de obtener información en tiempo real sobre el flujo vehicular permite establecer directrices más precisas para la gestión eficiente del tránsito y la aplicación de controles dinámicos en función de las condiciones del tráfico. La información procesada debe ser adecuada y precisa para generar estrategias como la optimización de los tiempos semafóricos, el diseño de rutas alternativas y la atención de incidentes viales de forma oportuna. Estas acciones no solo contribuyen a reducir la congestión, sino que también mejoran la experiencia de movilidad de conductores y peatones. La implementación de algoritmos avanzados y herramientas de análisis permite la planificación de rutas más eficientes, la optimización de los desplazamientos y la reducción de los tiempos de viaje. Esto contribuye a minimizar la congestión vehicular y a mejorar el rendimiento general del sistema de transporte urbano (J, J, J, & J, 2019).

El sistema propuesto utiliza tecnologías de visión por computadora que pueden implementarse con cámaras estándar y software accesible (Segarra Lopez, 2022). Esto lo convierte en una opción viable para ciudades pequeñas y en desarrollo, donde los recursos financieros son limitados. Al reducir los costos de implementación, se facilita la

adopción de la tecnología en diversas localidades, ampliando su impacto positivo. (Cruz Toribio & Gutierrez Lazares, 2019).

Al mejorar el flujo vehicular y reducir la congestión, se disminuyen las emisiones de gases contaminantes. Un tráfico más fluido no solo reduce el tiempo de espera en los semáforos y las paradas, sino que también promueve un consumo más eficiente del combustible. (Ordóñez Díaz & Meneses Silva, 2015) Esto contribuye a las iniciativas de sostenibilidad ambiental y al cumplimiento de las normativas de calidad del aire.

La integración de técnicas avanzadas de visión por computadora y aprendizaje automático no solo mejora la precisión del conteo vehicular, sino que también permite el análisis de patrones de tráfico a largo plazo. Estos datos pueden ser utilizados para respaldar futuras decisiones relacionadas con infraestructura vial y para desarrollar modelos predictivos que anticipen situaciones de congestión antes de que se conviertan en un problema.

Este proyecto no solo aborda una necesidad práctica en el ámbito del transporte urbano, sino que también contribuye al desarrollo académico y profesional del área. La documentación del proceso de diseño, implementación y evaluación del sistema ofrecerá información relevante para investigadores y profesionales que se dediquen a la movilidad urbana y a la aplicación de tecnologías fundamentadas en visión por computadora. Además de poder contribuir con la seguridad vial con el fin de reducir accidentes. (Pencue-Fierro, Valencia-Payan, & Muñoz-Ordóñez, 2020).

La flexibilidad del sistema propuesto permite su adaptación a diferentes entornos y condiciones, incluyendo áreas urbanas densas, zonas suburbanas y caminos rurales. Esto lo convierte en una herramienta versátil que puede ser utilizada en una variedad de escenarios, beneficiando a diversas comunidades. (CRUZ, 2021). El fin de este proyecto es el poder desarrollar e implementar un sistema de conteo vehicular, que mediante videos y grabaciones sea posible dar una respuesta a los conflictos generados en las ciudades, que llegan a ser retos bastante grandes para los municipios en especial para centros urbanos tan concurridos como Quito. Al proporcionar datos precisos en tiempo real, este proyecto no solo busca mejorar la movilidad y la infraestructura, sino

también promover el impacto ambiental, el bienestar de la comunidad y usuarios viales. La solución que se propone tiene el potencial de transformar la forma en que las ciudades gestionan el tráfico, contribuyendo a un futuro más eficiente y habitable.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar e implementar un sistema automatizado de conteo y análisis de vehículos que emplee técnicas avanzadas de visión por computadora. Proveen información fidedigna y oportuna sobre el flujo vehicular en el entorno urbano, para informar decisiones estratégicas de planificación y operación del sistema vial. Asimismo, se buscará contribuir a la mejora de la eficiencia y sostenibilidad de la movilidad urbana, satisfaciendo las demandas actuales y futuras de la sociedad.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema capaz de identificar y contar vehículos en tiempo real, o mediante grabaciones que asegure la precisión del conteo.
- Registrar la composición de usuarios viales para determinar la cantidad de personas, vehículos livianos, motocicletas, transporte público y pesado.
- Validar la precisión del sistema de conteo a partir de la comparación con métodos manuales y automáticos, a fin de garantizar sus resultados.
- Obtener datos de tráfico para proyectar tráficos futuros
- Generar reportes de tráfico, con información detallada de cada tipo de vehículo por periodos horarios.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Infraestructura Vial y Clasificación de las Vías

La infraestructura vial se define como el conjunto de elementos físicos y estructurales que constituyen la red de caminos y carreteras. Estos elementos son planificados y

gestionados con el objetivo de asegurar una movilidad eficiente, segura y sostenible, tanto para las personas como para los bienes. La evaluación y el desarrollo de proyectos en este ámbito se fundamentan en diversos criterios técnicos. Estos criterios incluyen el estado del pavimento, el desempeño vial, el flujo vehicular, la capacidad estructural, la seguridad, los impactos en el entorno urbano y rural, la sostenibilidad vial y el uso eficiente de los recursos presupuestarios.

2.1.1. Clasificación según diseño geométrico

- **Autopistas:** Las autopistas son vías especialmente diseñadas, construidas y señalizadas para permitir la circulación vehicular a altas velocidades, garantizando elevados niveles de seguridad y confort durante la conducción.
- **Carreteras:** Vías que cumplen con parámetros técnicos establecidos en las Normas Generales de Diseño. Aunque no poseen las especificaciones avanzadas de una autopista o vía rápida, son adecuadas para conectar regiones de forma segura y funcional.
- **Vías expresas o vías rápidas:** Son carreteras de calzada única y doble carril de circulación, que restringen completamente el acceso directo desde propiedades adyacentes, permitiendo un flujo vehicular continuo y eficiente.
- **Caminos vecinales:** Son aquellas vías que facilitan la comunicación entre comunidades rurales, como recintos y caseríos.

2.1.2. Clasificación por topografía del terreno

- **Llano:** Se considera terreno llano aquel que presenta una topografía uniforme, es decir sin pendientes.
- **Ondulado:** Se caracteriza por la presencia de pendientes apreciables, pero estas no exceden los límites aceptables para el trazado del camino.
- **Montañoso:** Este tipo de terreno montañoso presenta pendientes pronunciadas. Se clasifica en dos tipos:
 - **Montañoso suave:** Se da cuando la pendiente transversal del terreno es igual o inferior al 50%.

- **Montañoso escarpado:** Se da cuando la pendiente transversal supera el 50%.

2.1.3. Clasificación por jurisdicción:

- **Red vial estatal:** Corresponde al conjunto de vías que gestiona el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), entidad encargada de la supervisión y su administración.
- **Red vial provincial:** Corresponden a las vías secundarias que conectan las cabeceras de los caminos locales y parroquias, administradas por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) provinciales.
- **Red vial cantonal:** Corresponde a las vías urbanas e inter parroquiales, administradas por los GAD a nivel cantonal.

2.1.4. Clasificación en función del volumen de tránsito:

Para diseñar las carreteras en el país (Ecuador), se recomienda clasificar en función del tráfico vehicular para periodos de 15 a 20 años.

CLASIFICACION DE CARRETERAS EN FUNCION DEL TRAFICO PROYECTADO	
Clase de Carretera	Tráfico Proyectado TPDA *
R-I o R-II	Más de 8.000
I	De 3.000 a 8.000
II	De 1.000 a 3.000
III	De 300 a 1.000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

* El TPDA indicado es el volumen de tráfico promedio diario anual proyectado a 15 o 20 años. Cuando el pronóstico de tráfico para el año 10 sobrepasa los 7.000 vehículos debe investigarse la posibilidad de construir una autopista. Para la determinación de la capacidad de una carretera, cuando se efectúa el diseño definitivo, debe usarse tráfico en vehículos equivalentes.

Ilustración 2: Clasificación de vehículos según normas MOP

- **Corredores arteriales:** Los corredores arteriales comprenden vías principalmente destinadas al transporte de largo recorrido y volumen alto.
- **Vías colectoras:** Estas vías sirven a poblaciones principales que no están en el sistema arterial nacional.
- **Caminos vecinales:** Estas vías son carreteras de la clase IV y V que incluyen a caminos rurales.

2.2. Fundamentos del Tráfico Vehicular

A continuación, se presenta algunas definiciones técnicas:

2.2.1. Parámetros fundamentales del flujo vehicular:

- **Transportar:** Llevar una cosa de un paraje a otro.
- **Transporte o transportación:** Acción y efecto de transportar o transportarse.
- **Transitar:** Ir o pasar de un punto a otro por calles, vías.
- **Tránsito:** Acción de transitar, sitio por donde se pasa de un lugar a otro.
- **Tráfico:** Es el tránsito de personas y circulación de vehículos por la vía.
- **Capacidad vial:** Es un estudio cuantitativo y cualitativo que permite evaluar la suficiencia y la calidad del servicio que brinda el sistema a los usuarios.
- **Condiciones de tránsito:** Es la distribución del tránsito en el tiempo y espacio, distribución por carril en la carretera.
- **Eje equivalente:** Está constituido por un eje simple rueda doble de carga estandarizada de 8.2 Ton o 18 Kips.

2.2.2. Volumen de tránsito

El volumen de tránsito se define como el número de vehículos que pasan por un punto o sección específica, ya sea de un carril o calzada durante un período determinado. (Rafael Cal, 2018)

$$Q = N/T$$

Ecuación 1: Volumen de tránsito

Donde:

Q: Vehículos que pasan por unidad de tiempo

N: Número total de vehículos que pasan

T: Período determinado

Volumen: Número de vehículos o personas que transitan por un punto durante un tiempo específico.

Tránsito promedio diario anual (TPDA): Representa el tránsito total que circula por la carretera durante un año. (Rafael Cal, 2018)

$$TPDA = TA/365$$

Ecuación 2: Tránsito promedio diario anual

Donde:

TA: Tráfico anual

Tasa de flujo: Es la frecuencia a la cual pasan los vehículos, durante un tiempo específico menor a una hora.

Volumen horario de diseño: Es el volumen horario que se utiliza para diseñar, es decir, para comparar con la capacidad de la carretera de estudio.

2.2.3. Volúmenes absolutos o totales

- **Tránsito anual (TA):** Es el número total de vehículos que pasan durante un año.
- **Tráfico mensual (TM):** Es el número total de vehículos que pasan durante un mes.
- **Tránsito semanal (TS):** Es el número total de vehículos que pasan durante una semana.
- **Tránsito diario (TD):** Es el número total de vehículos que pasan durante un día.
- **Tránsito horario (TH):** Es el número total de vehículos que pasan durante una hora.

2.2.4. Tráfico futuro

El pronóstico del volumen y composición del tráfico se basa en el tráfico actual. Los diseños se basan en una predicción del tráfico a 15 o 20 años y el crecimiento normal del tráfico, el tráfico generado y el crecimiento del tráfico por desarrollo. (MTO, 2003)

2.2.5. Densidad vehicular

La densidad vehicular constituye una de las variables principales en el análisis del tráfico, ya que refleja el grado de ocupación de una vía en un instante específico. Esta se determina como la cantidad de vehículos que se encuentran en un tramo determinado de carretera por unidad de longitud, expresada en vehículos por kilómetro (veh/km). Su análisis es crucial para comprender el comportamiento del tránsito, evaluar niveles de saturación y apoyar en la gestión, planificación y operación del sistema vial.

En términos teóricos, la densidad está directamente vinculada con dos parámetros fundamentales del tránsito: el flujo vehicular (cantidad de vehículos que atraviesan un punto en un período de tiempo) y la velocidad media. Esta interrelación se representa mediante la ecuación fundamental del flujo vehicular (Fred L. Mannering, 2016):

$$q = k * v$$

Ecuación 3: Flujo vehicular

Donde:

- **q:** Es el flujo vehicular (vehículos por hora),
- **k:** Es la densidad vehicular (vehículos por kilómetro),
- **v:** Es la velocidad promedio de los vehículos (kilómetros por hora).

Por otro lado, los sistemas de conteo vehicular basados en visión por computadora generan información útil que, al integrarse con datos sobre la velocidad de los vehículos y la extensión del tramo analizado, permite realizar estimaciones de densidad vehicular en tiempo real.

2.2.6. Tipos de conteo

- **Conteo manual:** Este método proporciona información directa y detallada acerca de los tipos de vehículos y los giros en intersecciones, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para la referencia y validación de otros sistemas de conteo.
- **Conteo automático:** Permite conocer el volumen total de tráfico, pero debe ir acompañado del conteo manual para establecer la composición del tráfico.
- **Conteo con cámara por visión por computadora:** Las cámaras de video para este tipo de conteo se emplea para detectar, contar y clasificar vehículos de acuerdo a la clasificación del país, las cámaras analizan en tiempo real las imágenes y aplican un algoritmo de procesamiento y así extraer datos del tráfico.

2.3. Movilidad Urbana en Quito

Quito enfrenta elevados niveles de congestión vehicular lo que impacta negativamente en la operación eficiente de la red vial. Debido al aumento de la población se ha incrementado la demanda de transporte motorizado, superando la capacidad de las infraestructuras existentes y generando situaciones de saturación en los principales corredores viales.

El crecimiento poblacional y la expansión de las ciudades han incrementado las áreas urbanas y su centralización, afectando directamente su organización. En el ámbito logístico, a mayor población se requieren más actividades, las cuales se desarrollan en entornos cada vez más congestionados, especialmente en el tráfico vial. (Merchán, D., & Blanco, E. , 2016)

En el país, la información sobre la tendencia histórica del tránsito solo está disponible desde 1963, lo que implica una carencia de datos previos sobre el uso de vehículos. Así, las proyecciones a largo plazo del crecimiento del tráfico se basan en las tasas históricas observadas, el consumo de gasolina y diésel, y la evolución del parque automotor. (Normas de diseño geometría de carreteras, 2003)

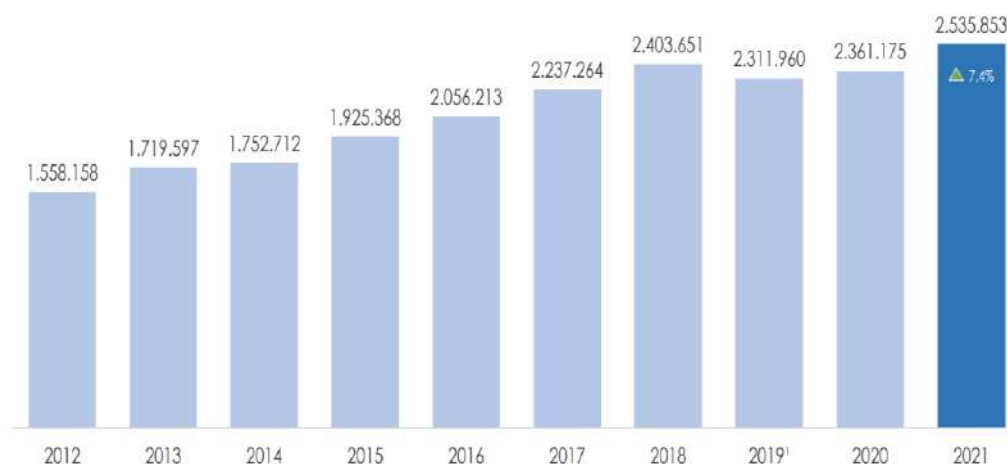


Ilustración 3 Anuario de estadísticas de transporte-NEC 2021

2.3.1. Composición vehicular típica:

En Ecuador la clasificación de ejes de los vehículos se basa en la normativa por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), la cual establece los límites de peso y las dimensiones permitidas para los vehículos que circulan en la red vial del país.

La clasificación es la siguiente:

- **Eje simple:** Está compuesto por una rueda en los extremos del eje o por dos ruedas y son vehículos ligeros.
- **Eje tándem:** Compuesto por 2 ejes simples de rueda doble, llevan una distancia de 1.20 a 1.60 m. Usualmente son vehículos de carga pesada.
- **Eje tridem:** Compuesto por 3 ejes simples de rueda doble, llevan una distancia de 1.20 a 1.40 m. Usualmente son vehículos de carga muy pesada.

Clasificación vehicular según pesos y dimensiones (MTO)

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,00	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,10
3-A			27	12,20	2,60	4,10
4-C			31	12,20	2,60	4,10
4-0 OCTOPUS			32	12,20	2,60	4,10
V2DB			18	12,20	2,60	4,10
V3A			27	12,20	2,60	4,10
VZS			27	12,20	2,60	4,10
T2			18	8,50	2,60	4,10
T3			27	8,50	2,60	4,10
S3			24	13,00	2,60	4,10
S2			20	13,00	2,60	4,10
S1			11	13,00	2,60	4,10
R2			22	10,00	2,60	4,10
R3			31	10,00	2,60	4,10
B1			11	10,00	2,60	4,10
B2			20	10,00	2,60	4,10
B3			24	10,00	2,60	4,10

Ilustración 4: Clasificación de vehículos-Mtop(2003)

Tabla utilizada para el conteo manual vehicular

FORMATO DE CAMPO PARA CONTEO DE TRAFICO

PROYECTO:

FECHA:

HOJA N°:

CONTRATISTA:

CALLE:

TECNICO DE CONTEO:

LOCALIZACION:

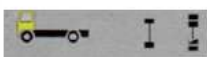
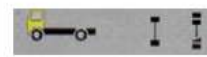

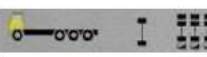
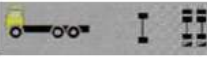



CAMIÓN	HORA	DÍA:											
LIVIANO													
BUSES-2DB 													
CAMION-2DB (EJE SIMPLE ADELANTE Y EJE DOBLE ATRAS) 													
CAMION-3A (EJE SIMPLE ADELANTE Y DOS EJES DOBLES ATRAS) 													
CAMION-4C (EJE SIMPLE ADELANTE Y TRES EJES DOBLES ATRAS) 													
VOLQUETA -V3A 													
TRAILER - 2S2 													
TRAILER - 2S3 													
TRAILER - 2S3 													

Ilustración 5: Elaboración propia

2.3.2. Problemáticas de movilidad urbana:

Quito, capital del Ecuador es una ciudad caracterizada por su alta densidad poblacional, lo que supone múltiples retos para la movilidad urbana. A pesar de

los avances logrados como el Metro de Quito, continúan existiendo dificultades que afectan la funcionalidad del transporte.

- **Alta Congestión Vehicular**

Uno de los problemas más críticos en Quito es la congestión vehicular, especialmente durante las horas de mayor demanda. Vías principales como la avenida Mariscal Sucre, la avenida Simón Bolívar y la avenida 6 de diciembre suelen presentar altos volúmenes de tráfico, generando tiempos de traslado prolongados.

- **Expansión del Parque Vehicular**

La ciudad ha experimentado un incremento sostenido en la cantidad de vehículos particulares. Este fenómeno ha generado una sobrecarga en las principales arterias viales y ha disminuido la eficiencia de los sistemas de transporte público existentes.

- **Limitaciones en la Infraestructura Vial**

Quito presenta deficiencias en la calidad y continuidad de su infraestructura vial. En diversos sectores, la disposición de calzadas e intersecciones no se ajusta a la demanda actual de movilidad, lo que ocasiona cuellos de botella, disminuye la eficiencia operativa del tránsito y aumenta la exposición al riesgo para todos los usuarios.

- **Movilidad No Motorizada Descuidada**

La infraestructura destinada a peatones y ciclistas presenta discontinuidades, ocupación inadecuada del espacio de circulación y una señalización que resulta incompleta. La interacción de estos factores influye en la continuidad de los desplazamientos, limita la accesibilidad universal y disminuye la preferencia por caminar o utilizar la bicicleta como alternativas habituales al vehículo motorizado.

2.4. Elementos del Tránsito y Señalización

La movilidad en el Ecuador se organiza mediante un conjunto de instrumentos normativos y técnicos que regulan la interacción entre todos los actores viales. Estos componentes están establecidos principalmente en la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (LOTTTSV) y en el Reglamento de Señalización Vial del Ecuador, documento técnico emitido por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP).

Una planificación adecuada, y la correcta implementación de dichos elementos, resultan fundamentales para mejorar la seguridad en las vías, facilitar una movilidad eficiente y disminuir la incidencia de accidentes de tránsito a nivel nacional.

2.4.1. Infraestructura vial:

- Consistencia del diseño geométrico
- Superficie de los pavimentos
- Reductores de velocidad
- Bermas
- Bandas alertadoras
- Iluminación
- Señalización vertical
- Señalización horizontal
- Sistemas de contención vehicular



Ilustración 6: Infraestructura vial, Imagen obtenida de: <https://www.pucesa.edu.ec/infraestructura-vial-en-ecuador/>

2.4.2. Señalización vial

Estos dispositivos tienen como función principal evitar accidentes, ordenar el tránsito y orientar tanto a conductores como a peatones. Su objetivo es informar a los usuarios sobre las restricciones, reglas y normativas específicas aplicables en la vía.

2.4.3. Normas

-INEN. (2011). *Señalización vial parte 1. Señalización vertical. RTE INEN 004-1:2011*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

- INEN. (2011). *Señalización vial parte 1. Señalización horizontal. RTE INEN 004-2:2011*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

2.4.4. Señalización vertical

La señalización vertical se refiere a los dispositivos que se encuentran instalados en postes u otras estructuras situadas en los márgenes de la vía. De acuerdo con su función, se clasifica en señales reglamentarias, señales preventivas y señales informativas.



Ilustración 7: Ejemplo RTE INEN 004-1:2011

2.4.4.1. Señales reglamentarias

Definen obligaciones y restricciones a la circulación, las cuales se identifican por sus formas y esquemas cromáticos estandarizados, predominantemente en blanco, negro y rojo.

2.4.4.2. Señales preventivas

Las señales preventivas informan a los conductores acerca de la existencia de riesgos potenciales o cambios en las condiciones de la vía. Se distinguen por su diseño y coloración particular, que generalmente presenta tonalidades de amarillo y negro, lo que permite una identificación y comprensión rápida.

2.4.4.3. Señales informativas

Las señales informativas transmiten información relevante acerca de servicios, direcciones, destinos y lugares de interés. El diseño utiliza combinaciones de colores que facilitan la identificación de su propósito: blanco con azul para servicios, verde con blanco para direcciones, y blanco con celeste o marrón para turismo.

2.4.5. Señalización horizontal

Incluye señales gráficas aplicadas directamente sobre el pavimento, tales como líneas divisorias de carril, pasos cebra, indicaciones direccionales, zonas de cruce y marcas de detención. Las señalizaciones guían la circulación de vehículos y definen los espacios destinados al tránsito.

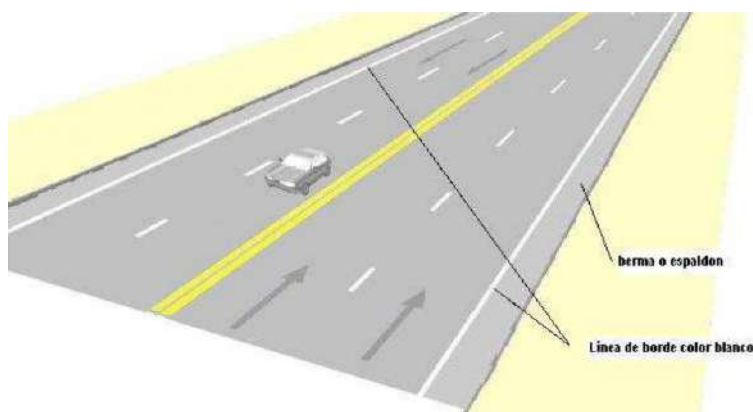


Ilustración 8: Ejemplo RTE INEN 004-2:2011

2.5. Relevancia del Conteo Vehicular

El conteo vehicular representa una herramienta fundamental para la recopilación de información, ya que permite analizar el comportamiento del tráfico en una vía determinada. Esta técnica presenta diversas aplicaciones, entre las cuales se destacan la identificación de problemas de congestión, el diseño y la mejora de infraestructuras

viales, la optimización de los servicios de transporte público y el análisis de la seguridad vial. Además, resulta fundamental en la ejecución de estudios de impacto derivados de nuevos desarrollos urbanos. La información obtenida también constituye una base para el desarrollo de políticas públicas que promuevan una movilidad más eficiente. De igual manera, permite prever el crecimiento del parque vehicular y su impacto en la red vial, lo que facilita la planificación y la toma de decisiones basadas en datos precisos.

2.5.1. Aplicaciones del conteo

- **Estudios de capacidad y demanda vial:** Permiten comprobar si una vía opera dentro de sus parámetros óptimos o, en su defecto, si es necesario ampliarla o reconfigurarla para satisfacer la demanda actual.
- **Diseño geométrico de intersecciones:** Facilita el dimensionamiento adecuado de elementos como semáforos, carriles de giro, cruces peatonales, rotondas y pasos a desnivel, en función del flujo vehicular.
- **Evaluación de niveles de servicio (LOS):** Es el desempeño de una vía basándose en el volumen de tránsito, y clasifica su eficiencia operativa en distintos niveles.
- **Planificación del transporte público:** Contribuye a mejorar la organización de rutas, horarios y frecuencias del transporte colectivo, adaptándose a los patrones reales de movilidad.
- **Estudios de impacto vial (EIV):** Son exigidos por las normativas locales, para analizar, cómo un nuevo proyecto urbanístico puede alterar la circulación existente y proponer medidas correctivas.
- **Proyecciones de tráfico a futuro:** Permiten anticipar las tendencias del tránsito en los próximos años, lo cual es crucial para el desarrollo urbano planificado.
- **Análisis de seguridad vial:** Ayuda a detectar zonas con alto flujo vehicular que podrían presentar riesgos, y facilita la implementación de acciones orientadas a reducir la siniestralidad.

2.5.2. Beneficios para la gestión del transporte

La implementación de sistemas de conteo vehicular, en particular aquellos que emplean tecnología de visión por computadora, proporciona diversos beneficios para la gestión eficiente del transporte. Entre los aspectos más relevantes se encuentra la optimización

de rutas. Al contar con información precisa sobre los volúmenes de tráfico en función de los tramos y horarios, se puede rediseñar los recorridos y redistribuir los flujos vehiculares con el objetivo de reducir la congestión. Asimismo, permite una distribución más eficiente de los recursos, lo que facilita la planificación estratégica en la ubicación de agentes de tránsito, semáforos inteligentes y dispositivos de control vial. Este tipo de tecnología también facilita la toma de decisiones fundamentadas en datos concretos, lo cual es esencial para la implementación de políticas públicas vinculadas a restricciones vehiculares, cobro de peajes o mejoras en la infraestructura. Finalmente, el seguimiento en tiempo real que ofrecen estos sistemas permite una gestión dinámica del tránsito, facilitando una respuesta ágil ante variaciones imprevistas en el flujo vehicular.

2.6. Visión por Computadora Aplicada al Tránsito

2.6.1. Conceptos básicos

La visión por computadora facilita el análisis de imágenes y videos con el fin de obtener información acertada. En el transcurso del tiempo la ingeniería vial ha ido implementando la tecnología de vanguardia.

Con respecto al tráfico, este se emplea para identificar y registrar vehículos, reconocer patrones de tráfico y optimizar la administración de las vías. Los fundamentos principales comprenden métodos de procesamiento de imágenes, tales como la identificación de bordes, el filtrado y la transformación de imágenes, que equipan los datos visuales para análisis más sofisticados.

2.6.2. Técnicas comunes

- **Segmentación de objetos:** La segmentación de imágenes permite la división en áreas, lo que facilita la obtención de información sobre zonas específicas en lugar de considerar la totalidad de la imagen. Esto, a su vez, permite una identificación más precisa de ciertos objetos.
- **Seguimiento de objetos:** Monitorea el movimiento de los objetos a lo largo de secuencias de video, esto es fundamental para contar vehículos y además sirve para analizar el flujo del tráfico.

- **Detección de objetos:** Localiza y determina objetos de forma precisa, depende del objeto que se desea analizar, se carga las bibliotecas necesarias en el programa para identificarlo.

2.6.3. Comparativa con métodos tradicionales:

Entre los métodos tradicionales reconocidos se encuentran el conteo manual y el uso de sensores físicos, entre otros. Las diferencias entre estos sistemas tradicionales de conteo son diversas; sin embargo, entre las más significativas se destaca su mayor precisión, la cual contribuye a la reducción de errores humanos y a la capacidad de operar en tiempo real. El siguiente aspecto para considerar es la automatización, la cual se refiere al procesamiento continuo sin la intervención humana. Por último, se destaca la flexibilidad que proporciona, permitiendo la adaptación a diversos entornos y condiciones climáticas.

2.7. Sistemas de Conteo Vehicular

Los sistemas de conteo vehicular previamente mencionados y clasificados incluyen sistemas manuales, sensores y visión artificial, cada uno de los cuales presenta ventajas y limitaciones.

2.7.1. Tipología de sistemas

A continuación, se presenta una tabla que permite ver las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas de conteo vehicular.

Tabla 1: Tabla comparativa de métodos de conteo

Tipo de sistema	Descripción	Ejemplos	Ventajas principales	Limitaciones o desventajas
1. Manual	Conteo realizado por operadores humanos, generalmente con ayuda de planillas o clics.	Observación directa o cámaras grabadas.	Bajo costo inicial. No requiere tecnología compleja.	Alto margen de error, baja eficiencia, no escalable. Fatiga humana.
2. Sensores intrusivos	Se colocan en o bajo la superficie de la vía. Detectan	Bucles inductivos, sensores piezoeléctrico	Alta precisión. Operación en tiempo real.	Costosa y compleja instalación. Requiere

	vehículos al pasar sobre ellos.	s, tubos neumáticos.		mantenimiento frecuente.
3. Sensores no intrusivos	Se instalan fuera de la calzada y detectan vehículos sin contacto físico.	Radars, cámaras, sensores infrarrojos.	Instalación rápida. Menor interrupción del tráfico.	Precisión variable según condiciones ambientales (lluvia, niebla).
4. Visión por computadora / IA	Usa cámaras y algoritmos para detectar, seguir y contar vehículos automáticamente.	Sistemas con YOLO, OpenCV, DeepStream.	Alta automatización, análisis avanzado (tipo de vehículo, dirección).	Requiere buena calidad de imagen y capacidad de cómputo.

2.8. Procesamiento Digital de Imágenes

2.8.1. Preprocesamiento y segmentación.

En el ámbito del preprocesamiento de imágenes, se encuentran diversas técnicas que permiten mejorar la calidad de la imagen con el fin de resaltar los objetos presentes. Estas técnicas incluyen la conversión a escala de grises, la normalización del contraste, así como la eliminación de fondos y bordes.

2.8.2. Equipos recomendados.

Para garantizar un procesamiento eficiente y preciso en el sistema de recuento de vehículos basado en visión computacional, es fundamental contar con equipos que cumplan con determinados requisitos técnicos, tanto en lo que respecta al hardware computacional como a la calidad en la recolección de datos en formato de vídeo.

Características Recomendadas del Equipo de Cómputo

La manipulación de imágenes, la identificación de objetos y la creación o implementación de modelos de inteligencia artificial requieren una cantidad significativa de recursos computacionales. Por esta razón, se recomienda el uso de un ordenador que posea las siguientes características:

- **Procesador:** Intel Core i9-12900H (Alta capacidad de procesamiento multinúcleo, ideal para tareas en paralelo como análisis de video y modelos IA)
- **Memoria RAM:** 16 GB DDR4 3200 MHz (expandible hasta 64 GB) (Permite manejar múltiples procesos simultáneos sin pérdida de rendimiento)
- **Almacenamiento:** 1 TB SSD NVMe (Alta velocidad de lectura y escritura, fundamental para manejar archivos de video pesados)
- **Tarjeta Gráfica (GPU):** NVIDIA GeForce RTX 3070 Ti de 8 GB GDDR6 (Soporte CUDA para procesamiento paralelo, ideal para librerías como TensorFlow, PyTorch, OpenCV)
- **Conectividad:** Wi-Fi 6 (802.11ax) + Bluetooth 5.2 (Estabilidad en transferencia de datos inalámbricos)
- **Audio:** Tecnología de cancelación de ruido (Útil en caso de futuras integraciones con reconocimiento de audio o comandos por voz)
- **Pantalla:** 15.6" FHD (1920 x 1080), 144 Hz IPS

Características Recomendadas de cámara.

Tabla 2: Características principales de cámaras de grabación.

Característica	Especificaciones recomendables
Resolución	Full HD (1920 x 1080) o superior (ideal: 4K 3840 x 2160)
Cuadros por segundo	Mínimo 30 fps (ideal: 60 fps para capturar movimiento rápido)
Sensor de imagen	CMOS de buena calidad, con capacidad para grabar en condiciones de poca luz
Ángulo de visión	Gran angular (mínimo 90° – ideal 120° o más para abarcar varios carriles)
Estabilización	Estabilización óptica o digital de imagen (OIS o EIS)
Formato de grabación	MP4 (H.264 o H.265) para compatibilidad y eficiencia
Duración de grabación continua	Al menos 30 minutos sin sobrecalentamiento o pérdida de calidad
Conectividad	

	Wi-Fi o USB para descarga rápida de datos
Soporte para trípode o montura fija	Para asegurar estabilidad en tomas prolongadas

Ejemplos de dispositivos adecuados

- **Teléfonos inteligentes gama alta:**
 - iPhone 13 Pro o superior
 - Samsung Galaxy S22/S23 Ultra
 - Google Pixel 7 o superior
- **Cámaras profesionales y semiprofesionales:**
 - Nikon Z6/Z7, Canon EOS R5/R6, Sony Alpha A7 III/IV
 - Cámaras deportivas como **GoPro Hero 11** (ideal por su tamaño y resistencia)
- **Cámaras de seguridad IP avanzadas:**
 - Dahua, Hikvision o Reolink con soporte para Full HD/4K y visión nocturna

2.8.3. Consideraciones técnicas: A tomar en cuenta

- Es recomendable realizar grabaciones desde **múltiples ángulos** (frontal, lateral, cenital si es posible) para entrenar modelos más robustos.
- Las grabaciones deben hacerse en condiciones de **luz natural y artificial**, durante diferentes horas del día.
- Siempre que sea posible, se debe asegurar la **estabilidad física** de la cámara mediante un trípode o soporte fijo, evitando grabaciones en movimiento o temblorosas.
- Si se graban videos largos, se debe verificar que el dispositivo no **sobrecaliente** ni pierda calidad con el tiempo.

2.9. Inteligencia Artificial Aplicada al Transporte

2.9.1. Aprendizaje automático

El aprendizaje automático (Machine Learning) permite a los sistemas informáticos adquirir conocimientos sobre tareas específicas, como la identificación y clasificación de vehículos, a través del análisis de datos. En el ámbito del tráfico vehicular, se utilizan algoritmos de aprendizaje supervisado para entrenar modelos que son capaces de identificar diversas categorías de vehículos, como automóviles, motocicletas, autobuses o camiones, fundamentándose en características visuales extraídas de imágenes o vídeos. Entre los algoritmos tradicionales destacan Support Vector Machines (SVM), Decision Trees, y K-Nearest Neighbors (KNN).

2.9.2. Redes neuronales

Las redes neuronales convolucionales (CNNs), han transformado el ámbito de la visión computacional, debido a su habilidad para adquirir propiedades complejas directamente de las imágenes. YOLO (You Only Look Once), uno de los modelos más destacados para la detección de objetos en tiempo real, ha demostrado ser altamente eficaz en el conteo y seguimiento de vehículos. A diferencia de otros modelos que generan inicialmente áreas de interés y posteriormente realizan la clasificación, YOLO analiza toda la imagen en una única instancia, lo que permite una identificación más eficiente y precisa. Modelos como YOLOv4, YOLOv5 y YOLOv8 se han empleado extensamente para reconocer diversos objetos en contextos urbanos, categorizando vehículos por categoría y siguiendo su desplazamiento.

2.9.3. Retos técnicos

La utilización de inteligencia artificial para la identificación y el recuento de vehículos enfrenta diversos desafíos técnicos en áreas urbanas, caracterizadas por su alta densidad, dinamismo e imprevisibilidad. Uno de los desafíos más significativos es la presencia de obstrucciones parciales o completas, en las cuales un vehículo cubre parcialmente a otro, lo que dificulta la identificación individual. Asimismo, las variaciones en la iluminación, tales como sombras, reflejos, condiciones nocturnas o condiciones climáticas adversas, afectan negativamente la precisión de los modelos, especialmente si no han sido entrenados en situaciones similares. Otro

obstáculo común es la diversidad de tipos de vehículos, así como sus dimensiones, colores y comportamientos, tales como giros abruptos o cambios de carril. Esta situación exige la implementación de modelos que sean altamente robustos y versátiles.

2.10. Diseño e Implementación del Sistema

2.10.1. Metodología de desarrollo

La evolución del sistema se organiza en etapas metodológicas que aseguran un procedimiento eficaz y validado. Primero, se lleva a cabo la determinación de requerimientos técnicos y funcionales que incluyen las metas del sistema, la clase de vía a supervisar y las condiciones del entorno. Luego, se inicia la etapa de diseño, en la que se escogen los algoritmos, las arquitecturas de red neuronal y el equipo necesario. Durante la etapa de implementación, se incorporan los módulos de captura de video, preprocesamiento de imágenes, identificación y recuento de vehículos, utilizando marcos de trabajo como OpenCV, TensorFlow o PyTorch. Después, se realizan ensayos en ambientes reales o simulados para hacer modificaciones. Rutinas de conservación para garantizar su funcionamiento a largo plazo. Finalmente, durante la etapa de validación y mantenimiento, se mide el desempeño del sistema (precisión, rapidez, robustez) y se definen las características del sistema.

2.10.2. Componentes

- **Hardware:** incluye cámaras IP o CCTV de alta resolución, preferentemente con visión nocturna, montadas en ubicaciones estratégicas (puentes, postes, semáforos). Además, se requiere una unidad de procesamiento (como un PC con GPU NVIDIA o un dispositivo embebido como NVIDIA Jetson Nano o Xavier) para ejecutar los modelos de IA.
- **Software:** abarca herramientas y bibliotecas para visión por computadora y aprendizaje profundo, tales como OpenCV, YOLO (You Only Look Once), DeepStream SDK, TensorFlow o PyTorch. También se desarrollan scripts de control para la gestión del flujo de datos y visualización de resultados.

- **Flujo de datos:** inicia con la captura de video en tiempo real, seguida del preprocesamiento de las imágenes, detección de vehículos usando modelos entrenados, seguimiento (tracking) de los objetos detectados y, finalmente, el conteo y registro de resultados en una base de datos o interfaz visual.

2.10.3. Funcionamiento

El funcionamiento del sistema sigue una secuencia lógica de procesamiento. Primero, la cámara captura un flujo continuo de imágenes o video de una vía específica. Luego, el sistema realiza un preprocesamiento de los cuadros (frames), aplicando técnicas como eliminación de ruido, normalización y segmentación. A continuación, se ejecuta el modelo de detección de objetos (por ejemplo, YOLOv5) para identificar los vehículos presentes en la escena. Cada vehículo detectado se rastrea a lo largo de múltiples cuadros mediante algoritmos de seguimiento como Deep SORT, lo que permite evitar contarlos varias veces. Una vez que el vehículo cruza una línea virtual predefinida (línea de conteo), se registra el evento y se incrementa el contador. Finalmente, los datos recolectados se almacenan y pueden visualizarse mediante dashboards, informes estadísticos o integrarse con plataformas de gestión de tránsito.

2.11. Tecnologías para la Detección del Flujo Vehicular

2.11.1. Sensores intrusivos

Identificar el flujo de vehículos es una labor esencial para la organización y administración del tráfico en la ciudad. Hay varias tecnologías creadas para calcular el volumen, la velocidad, el tipo de vehículos y otras variables vinculadas al tráfico. Estas tecnologías se clasifican en dos categorías principales: sensores intrusivos y sensores no intrusivos, en función de si su instalación demanda una intervención directa en la superficie del camino o no.

2.11.2. Sensores no intrusivos

Los sensores no intrusivos se colocan más allá de la superficie de la vía y proporcionan beneficios en aspectos de instalación, mantenimiento y capacidad de análisis. En esta

categoría, sobresalen las cámaras de video que, en conjunto con algoritmos de visión computacional, facilitan la identificación y recuento de vehículos, la estimación de su velocidad, el seguimiento de rutas y la categorización de tipos de vehículos. Igualmente, los radares Doppler y sensores LIDAR se emplean para calcular con gran exactitud la velocidad y distancia de los objetos, incluso en situaciones meteorológicas desfavorables. Estas tecnologías no interfieren en el tránsito vehicular durante su implementación y facilitan la cobertura de varios carriles con un único aparato. Específicamente, los sistemas fundamentados en inteligencia artificial y aprendizaje, como los modelos YOLO o SSD, han potenciado notablemente la exactitud e independencia de los sensores no intrusivos, transformándolos en una elección predilecta en contextos urbanos contemporáneos.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

1. Definir un sistema que realice el conteo de vehículos de manera precisa y eficiente, utilizando imágenes o grabaciones que permitan realizar el conteo mediante visión por computadora.
2. Definición de una zona estratégica, segura sin inconvenientes y que se pueda tener una recolección de datos suficiente para realizar la investigación necesaria y comprobar la validez del funcionamiento del programa.
3. Desarrollo de un sistema, creando una interfaz para que se pueda ingresar los datos, poder cargar las imágenes y que se realice el conteo, se realizará un sistema que permita la interacción a personas ajenas del proyecto.
4. Recolección de datos para sustentar al sistema, entrenarlo con técnicas y procesos de visión por computadora e ir cargando lo necesario para poder detectar las imágenes y que se lleve a cabo el reconocimiento y conteo de vehículos.
5. Clasificación de datos de manera manual con imágenes que permitan definir el tipo de vehículos.
6. Utilización de técnicas para mejorar y enseñar al sistema a reconocer vehículos con distintas condiciones ya sean por falta de iluminación o que se tenga un mal tiempo en relación a condiciones climáticas.

7. Creación de la presentación de los resultados obtenidos arrojando los datos de conteo de manera clara y concisa.
8. Colocación de cámaras para la grabación en un punto estratégico estudiado de manera previa para llevar a cabo la investigación.
9. Prueba del programa cargando las grabaciones obtenidas.
10. Utilizar datos seleccionados para poder entrenar los algoritmos que permitan detectar y contar los vehículos, permitiendo eliminar errores y ajustar ciertas características del programa para mejorar el rendimiento del mismo.
11. Realización de pruebas mediante otros sistemas de conteo para ver que precisión se tiene con el programa y como se puede mejorar, además que se pueda utilizar en cualquier tipo de escenario posible.
12. Recolección de información de usuarios que ya han probado el sistema y que brinden una experiencia para así mejorar el sistema.
13. Creación de un plan de mantenimiento y depuración de datos para que el programa no llegue a colapsar y se mantenga con una calibración precisa, realizar actividades periódicas de acuerdo a nuevas necesidades.
14. Obtener datos del programa para procesamiento de información de tal forma que estos datos ayuden para la solución de congestiones en lugares de estudios críticos y así brindar un apoyo a cualquier entidad solicitante.

3.1. Enfoque Metodológico

La propuesta metodológica busca garantizar un proceso de trabajo ordenado, coherente y efectivo; procurando dotar al equipo de un marco de acción claro y las pautas necesarias para articular cada fase del proyecto de manera eficiente. Cada etapa y tarea planteada se concibe como un paso esencial en el desarrollo del sistema, a fin de construir un producto confiable y valuado por los diferentes actores involucrados en gestión del tráfico. La idea es implementar un camino lógico y progresivo, que permita alcanzar los objetivos trazados de la mejor forma posible, y en el que cada logro parcial sirva de base para los desafíos siguientes. Se apuesta por un proceso dominado por la planificación, la experimentación continua con los conceptos y una movilidad ágil hacia la rectificación al detectar problemas. De esta forma, se procura evitar la ocurrencia de

contratiempos y propiciar el camino más corto hacia la implementación exitosa del sistema de detección y conteo vehicular.

3.2. Sistema de obtención de datos

La obtención de datos se llevará a cabo mediante tres métodos: el conteo automático, el conteo manual y el conteo con cámara por computadora. Estos tres procedimientos se harán de forma simultánea en franjas horarias representativas del comportamiento del tráfico con el fin de asegurar la comparabilidad y consistencia entre los resultados obtenidos.

3.2.1. Conteo automático

Para la recolección de datos en campo, se seleccionó como punto de estudio de la Av. Rumichaca Ñan s/n, sector Quitumbe, en dirección Norte-Sur, en la ciudad de Quito. En este sitio se implementó el uso del equipo MetroCount VT4 5904, el cual emplea un sistema de conteo neumático para registrar el flujo vehicular. Este dispositivo permitió obtener registros continuos durante un periodo de 3 días, clasificando automáticamente los vehículos en categorías específicas definidas por el sistema MetroCount.

3.2.2. Conteo manual

El conteo manual se basa en la observación en campo, acompañado del registro sistemático de los vehículos que circulan por la vía durante un periodo de tiempo determinado. En este proyecto, dicha actividad se llevó a cabo durante tres días. Para ello, los observadores estuvieron provistos de herramientas de conteo manual y plantillas de registro elaborada por los autores permitiendo así anotar los datos en tiempo real. Esta labor se ejecutó de forma simultánea al conteo automático y al conteo con cámara por computadora, con el fin de mantener la equivalencia en las condiciones de recolección de datos.

3.2.3. Conteo con cámara por computadora

El recuento de vehículos a través de visión por computadora implica el empleo de métodos de procesamiento de imágenes y algoritmos de inteligencia artificial para identificar, categorizar y registrar vehículos basándose en secuencias de video o

fotografías. Este método necesita instrumentos especializados para la recolección, estudio y administración de datos visuales, lo que posibilita la interpretación automatizada del flujo de vehículos en contextos urbanos o de carreteras. Para la creación del sistema sugerido se puso en marcha un software en el lenguaje de programación Python, utilizando el entorno de desarrollo Visual Studio Code.

El sistema se creó para gestionar tanto videos en tiempo real como grabaciones previamente guardadas, a través de bibliotecas de visión computacional como OpenCV, y modelos de detección fundamentados en aprendizaje profundo (como YOLO o TensorFlow Object Detection API).

El programa no solo facilita el recuento de vehículos, sino también su clasificación en categorías concretas como autos, motocicletas, autobuses, camiones y bicicletas, basándose en los atributos visuales identificados. Esto ofrece una solución automatizada y eficaz para la recolección de información del tráfico, que usualmente necesitarían procedimientos manuales o la utilización de sensores físicos.

3.3. Elección del lugar adecuado para la instalación

El conteo vehicular mediante los tres métodos se llevó a cabo conforme a lo previamente expuesto en la Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito a la altura del ingreso principal de la Universidad Politécnica Salesiana – Campus sur, dirección Norte-Sur, Coordenadas 772753.26 E 9968741.18 S ZONA 17S.

Para el conteo de vehículos mediante visión artificial se utilizó dos tipos de videos uno grabado por una cámara Nikon T5i utilizada para la grabación de vehículos a

nivel de calle y a una altura de 1.2cm como se muestra en la siguiente ilustración.



Ilustración 9: Conteo mediante cámara Nikon T5i Elaborado por: Autores



Ilustración 10: Resultado de video obtenido con cámara. Elaborado por: Autores

Y a parte un video obtenido por el dron de la universidad manejado por técnicos designados para el manejo de este.



Ilustración 11: Utilización de dron para grabación. Elaborado por: Autores



Ilustración 12: Imagen obtenida por grabación del dron. Elaborado por: Autores

3.4. Factores necesarios para el funcionamiento de los tipos de conteo

3.4.1. Factores para el conteo automático

- Configurar la sensibilidad del sistema de acuerdo con las condiciones específicas de la vía.
- Realizar controles diarios para asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo, de igual manera revisar las mangueras y las entradas de las mismas para evitar el ingreso agua.

3.4.2. Factores para el conteo manual

- Tener los materiales necesarios para el conteo, como es la hoja de registro.
- Ver oportunamente el sitio donde se realizará el conteo, para evitar imprevistos.

3.4.3. Factores para el conteo con cámara por computadora

- Tener una computadora con tarjeta gráfica que permita el procesamiento adecuado de imágenes.
- Colocar la cámara en un lugar donde no existan obstáculos y que pueda hacer grabaciones sin ningún problema.
- Dependiendo del dispositivo a grabar que puede ser un dron, cámara o un celular, se recomienda que el dispositivo esté configurado para que pueda grabar dependiendo la hora y el tipo de clima.

3.5. Análisis de diferencias entre los métodos aplicados

Una vez finalizado el proceso de conteo, se realizará el análisis de la información recolectada, considerando principalmente los siguientes aspectos:

- Organización y tabulación de los datos obtenidos mediante los tres métodos.
- Determinación del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) para cada método, junto con un análisis de su variación.
- Análisis de la exactitud y fiabilidad de cada método con el fin de validar los resultados obtenidos.

3.6. Conteo automático

3.6.1. Herramientas y componentes usados

- **Equipo utilizado**

Para llevar a cabo el conteo automático, se usó el equipo RoadPod VT-5900 para la medición de tráfico, en la Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito a la altura del ingreso principal de la Universidad Politécnica Salesiana – Campus sur dirección Norte-Sur. Este sistema combina componentes de software y hardware.



Ilustración 13: Equipo Metro Count Obtenida de: <https://www.youtube.com/watch?v=924R11bbiOM>

- **Kit de instalación Metro Count**

Para trabajar con el equipo es necesario contar los sensores necesarios, como el tubo de goma neumática para garantizar la recopilación precisa de datos, también se necesita los clavos para la calle, grapas estándar, altas de goma neumática y tapones de ventilación, como se muestra en la siguiente imagen.



Ilustración 14: Kit de instalación Metro Count Obtenida de: <https://www.youtube.com/watch?v=924R11bbiOM>

- **Configuración del equipo**

Antes de proceder con la instalación en campo, es fundamental realizar una inspección previa del equipo ROADPOD VT4-5904. Esta revisión debe incluir el estado de los componentes de la máquina, como la batería, los tubos neumáticos

y la configuración del software MetroCount Traffic Executive. Asimismo, es necesario calibrar los sensores conforme a las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante.

Finalmente, se debe configurar el equipo según el tipo de datos que se desea recolectar, ya sea volumen de tránsito, velocidad, clasificación de vehículos o una combinación de todos estos parámetros. Y tener en cuenta que el indicador luminoso (foco) parpadee cada 8 segundos.

- **Montaje del dispositivo ROADPOD VT4-5904 en el sitio seleccionado**

-**Instalación de los tubos neumáticos (4):** Estos deben ubicarse en posición perpendicular al sentido del tránsito vehicular. La separación entre ellos debe ser de 1 metro para garantizar una detección precisa de los ejes de los vehículos y una clasificación correcta.

Adicionalmente, se recomienda poner tampones en los extremos de las mangueras para evitar el ingreso de agua y altere los resultados.



Ilustración 15: Instalación tubos neumáticos. Elaborador por:Autores

-Fijación a la superficie de la vía: Los extremos de los tubos deben asegurarse firmemente a ambos lados de la calzada mediante ganchos de sujeción resistentes, con el fin de evitar desplazamientos durante el proceso de conteo.

Por último, se debe comprobar que el indicador luminoso (foco) parpadee cada 3 segundos, lo cual indica que el contador está funcionando correctamente y registrando los datos de manera adecuada.

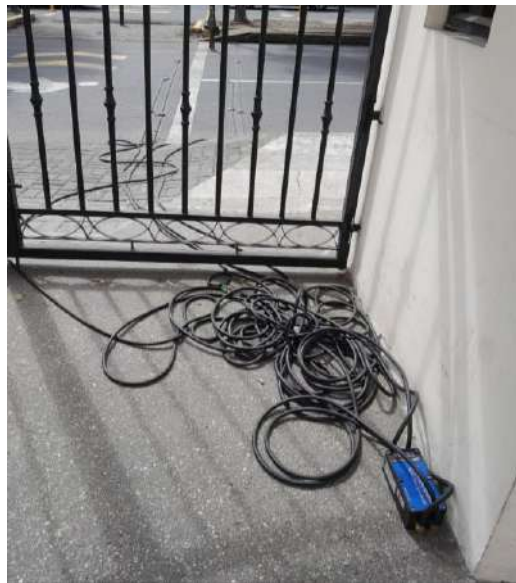


Ilustración 16: Fijación a la superficie de la vía. Elaborado por: Autores

3.6.2. Software utilizado del MetroCount

El software empleado para este método de conteo automático fue MetroCount Traffic Executive. Cabe mencionar que todo este equipo fue facilitado por la UPS.

A. Establecimiento de comunicación USB con el contador de tráfico MetroCount

Para configurar adecuadamente el cable de comunicación con el contador vehicular, en primer lugar, se debe conectar el adaptador USB al computador. Es importante tener en cuenta que, en esta etapa, no se debe conectar aún el equipo ROAD POD VT-5900, ya que se realizará primero la configuración del adaptador.



Ilustración 17: Cable de descarga de datos USB-MetroCount Obtenida de:
<https://www.youtube.com/watch?v=924R11bbiOM>

Después se procede a abrir el programa, se da clic en “View”, posteriormente se da clic en “Settings” y para finalizar en “Communication”.

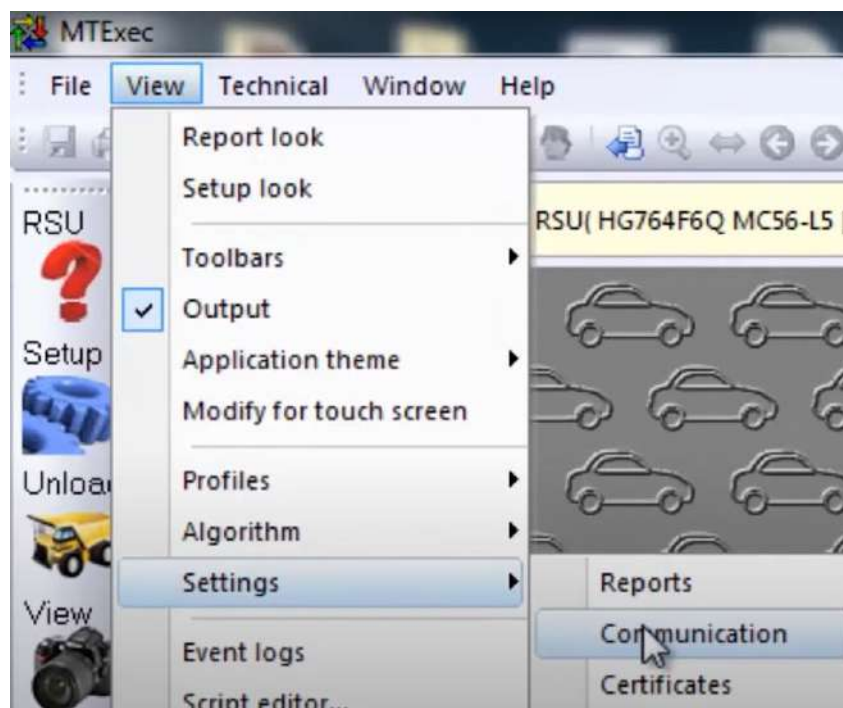


Ilustración 18: Página principal MetroCount. Elaborado por: Autores

A continuación, se despliega la pantalla “Communicate Settings”, se da clic en los tres puntos del COM5 y OK.



Ilustración 19: Ventana de comunicación Elaborado por: Autores

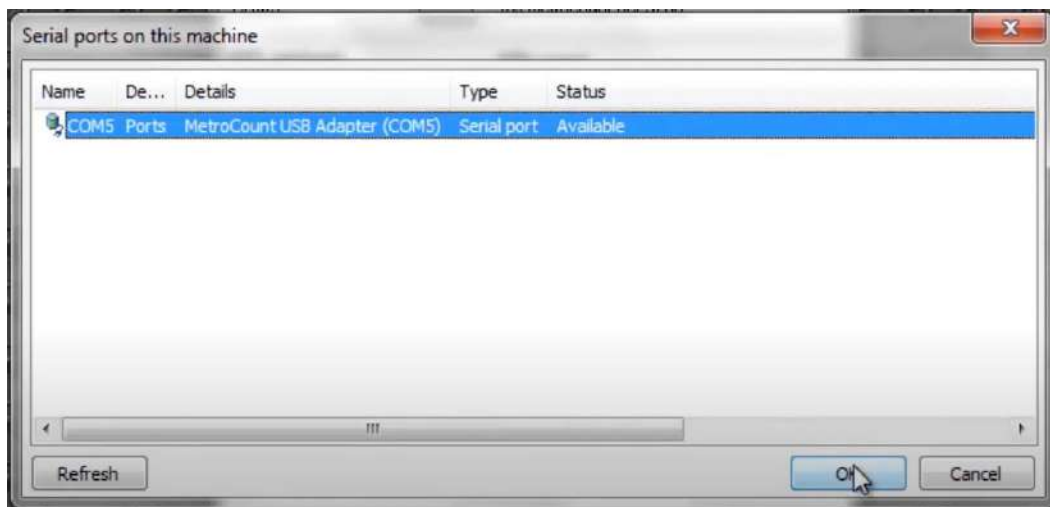


Ilustración 20: Puerto de serie. Elaborado por: Autores

Como se mencionó anteriormente se comprueba que el corazón parpadee cada 8 segundos, el contador se encuentra en modo reposo.



Ilustración 21: Verificación MetroCount Obtenida de: <https://www.youtube.com/watch?v=924R11bbiOM>

Se conecta el cable de comunicación al equipo MetroCount y para verificar que está funcionando, se ingresa al programa y se da clic en RSU y si está en color verde el equipo está listo.



Ilustración 22: Cable de comunicación al equipo. Elaborado por: Autores

En el programa, se da clic a “File”, “New site list”, guardar los archivos en la ubicación de preferencia y así comenzar con una pantalla nueva para configurar los dos canales en la lista de sitios.

Hacer clic derecho y se elige “New site”, seleccionar Next y se abrirá la pantalla a continuación:

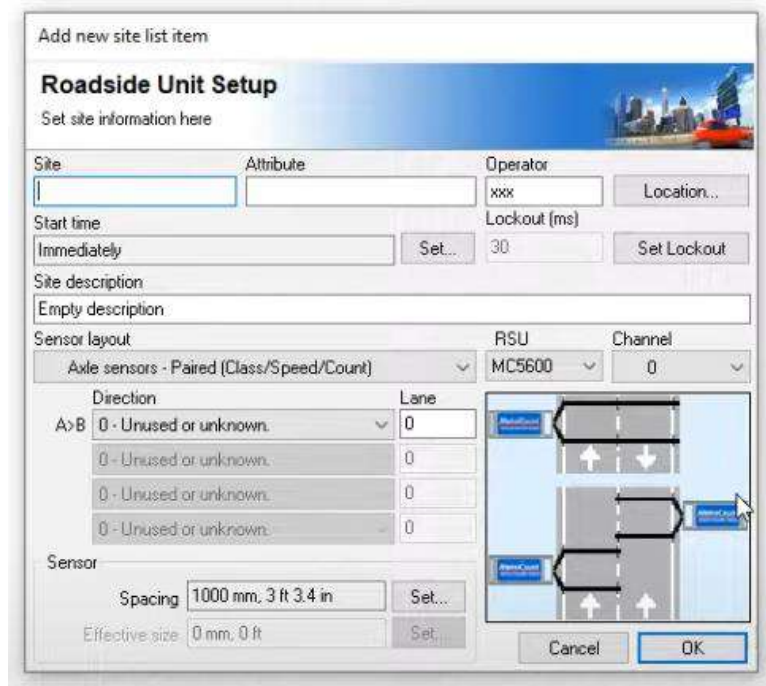


Ilustración 23: Ventana de configuración. Elaborado por: Autores

Aquí se debe completar toda la información correspondiente al proyecto y tener en cuenta el nombre del equipo para colocar en el RSU.

Importante: en Set lockout se debe asegurar que use el valor de bloqueo de 10ms para ambos, el valor de bloqueo y el bloqueo cruzado.

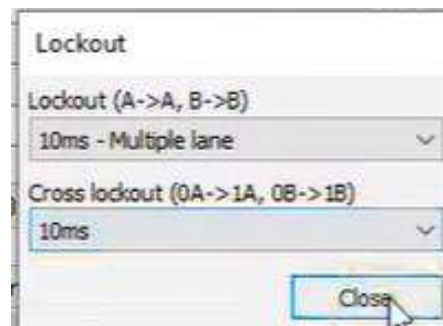


Ilustración 24: Valor de bloqueo. Elaborado por: Autores

Espacio entre los sensores: Asegurarse de que el espacio para cada par de tubos debe ser de 1000 mm.

Después de llenar todos estos campos se debe guardar otra vez.

Como se mencionó anteriormente, se verifica en la pantalla principal el "RSU ACTIVE", esto indica que el contador está trabajando.

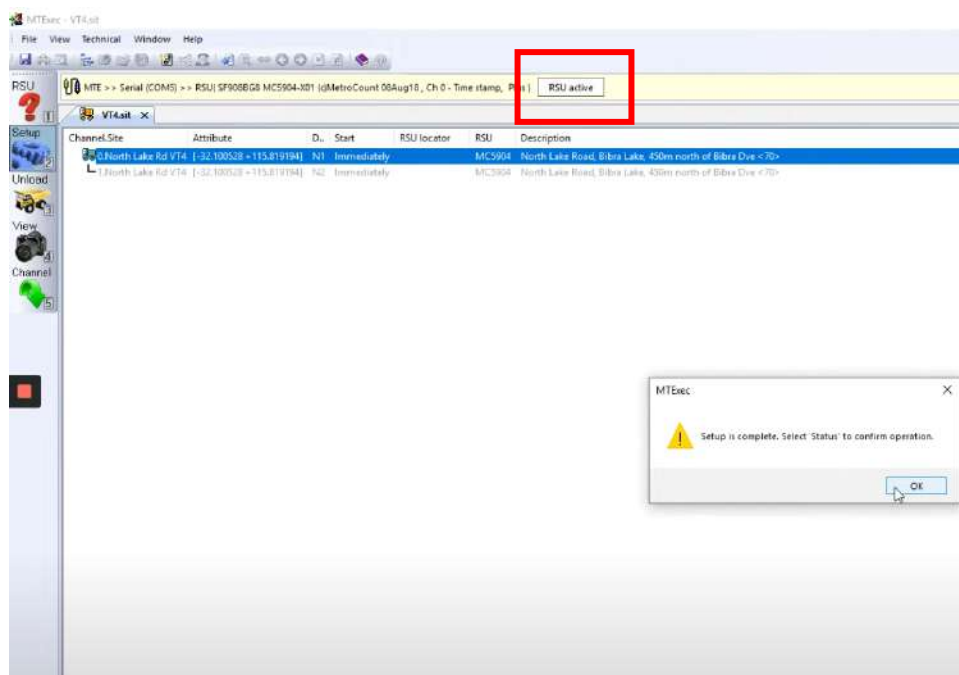


Ilustración 25: Ventana de verificación del contador Elaborado por: Autores

El contador ya se encuentra configurado y empezará a contar los vehículos cuando se coloque las mangueras de goma adecuadamente, como se configuró el equipo para evitar datos erróneos.

Este dispositivo automático determina las intensidades horarias y la composición vehicular de acuerdo donde se instala el equipo.















3.6.3. Clasificación de vehículos según MetroCount

Dentro del ámbito de la ingeniería civil, particularmente en el área de transporte y tránsito, la correcta clasificación de los vehículos es un componente esencial para el análisis estructurado del flujo vehicular y la planificación vial. En este sentido, los sistemas automáticos de conteo y clasificación, como el ROADPOD VT-5900, han optimizado significativamente los procesos de recolección y procesamiento de datos en campo.

Este equipo emplea sensores de alta precisión combinados con algoritmos de procesamiento digital que permiten identificar y clasificar de manera automática los vehículos que circulan por una determinada vía. El software que acompaña al dispositivo ofrece distintos esquemas de clasificación vehicular, los cuales varían según el contexto geográfico y las normativas locales. Para el presente estudio, se seleccionó la

clasificación **VRX**, dado que se ajusta de manera más adecuada a las características del entorno evaluado. Dicha clasificación permite diferenciar 12 tipos de vehículos, e incluye además la detección de motocicletas y bicicletas, lo cual resulta relevante para obtener un diagnóstico integral del tránsito en la zona de estudio.

Tabla 3: Clasificación de vehículos según MetroCount

CLASE	EJE	DESCRIPCION	REFERENCIA GRÁFICA	
1	SV	2	Short- Car, Light Van	
2	SVT	3, 4 OR 5	Short Towing-Trailer, Caravan, Boat, etc.	
3	TB2	2	Two axie truck or Bus	
4	TB3	3	Three axie truck or Bus	
5	T4	>3	Four axie truck	
6	ART3	3	Three axie articulated vehicle or Rigid vehicle and Trailer	
7	ART4	4	Four axie articulated vehicle or Rigid vehicle and Trailer	
8	ART5	5	Five axie articulated vehicle or Rigid vehicle and Trailer	
9	ART6	≥6	Six (or more) axie articulated vehicle or Rigid vehicle and Trailer	
10	BD	≥6	B-Double or Heavy truck and Trailer	
11	DRT	≥6	Double road train or Heavy truck and two trailers	
12	TRT	≥6	Triple road train or Heavy truck and three (or more) trailers	
14	M/C	2	Motocycle	
15	BICYCLE	2	Bicycle	

Considerando la clasificación que brinda el programa es diferente a la clasificación según el MTOP.

Diccionario del tipo de clase:

SV: Vehículo liviano – Camioneta Ligera.

SVT: Remolque ligero, Caravana, Bote.

TB2: Camión o bus de dos ejes.

TB3: Camión o bus de tres ejes.

T4: Camión o bus de cuatro ejes.

ART3: Vehículo Articulado de tres ejes o Vehículo Rígido y Remolque.

ART4: Vehículo Articulado de cuatro ejes o Vehículo Rígido y Remolque.

ART5: Vehículo Articulado de cinco ejes o Vehículo Rígido y Remolque.

ART6: Vehículo Articulado de seis (o más) ejes o Vehículo Rígido y Remolque.

BD: Camión Pesado y Remolque.

DRT: Tren de carretera doble o Camión pesado y dos remolques.

TRT: Tren de carretera triple o camión pesado y tres (o más) remolques.

M/C: Motocicleta.

BICYCLE: Bicicleta.

3.6.4. Recolección de datos

- **Obtención de registros**

Conectar el cable USB a la computadora, para extraer los datos obtenidos del conteo automático realizado.

Después dar clic en *“Unload”*, escoger la opción *“Stop the RSU after unloading data”* y para finalizar poner *“Next”*.

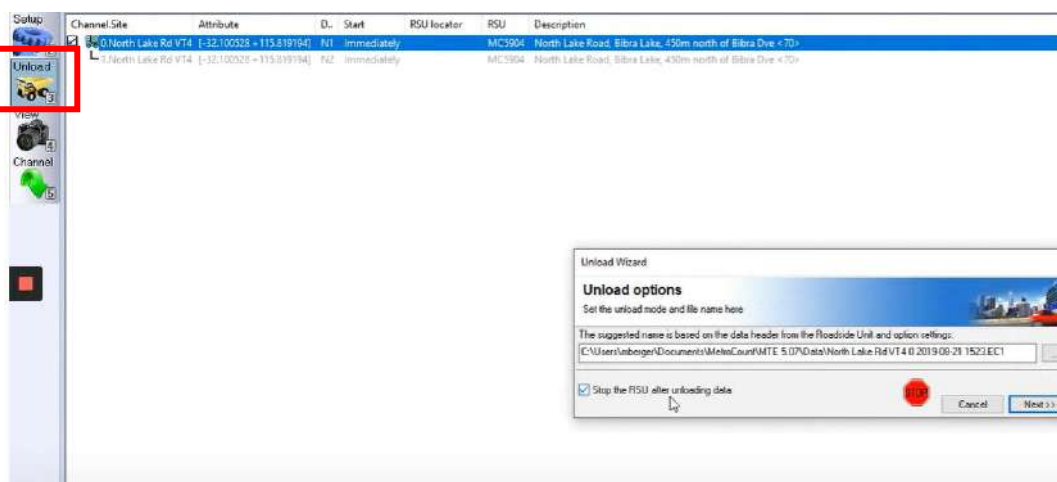


Ilustración 26: Ventana para descargar los datos Elaborado por :Autores

Con este paso dado, ya no se recopilarán más datos hasta que se haga una nueva programación.

La ventana que sale, indicará la carpeta que fue creada para almacenar la información, dar clic en “Start unload”, se iniciará la descarga de los datos recopilados y para finalizar clic en “close”.

Importante: Descargar todos los canales.

- **Generador de reportes**

Ahora con los datos descargados, se debe de generar los reportes recopilados, en la pantalla principal, ir al menú superior y dar clic en “New report”.

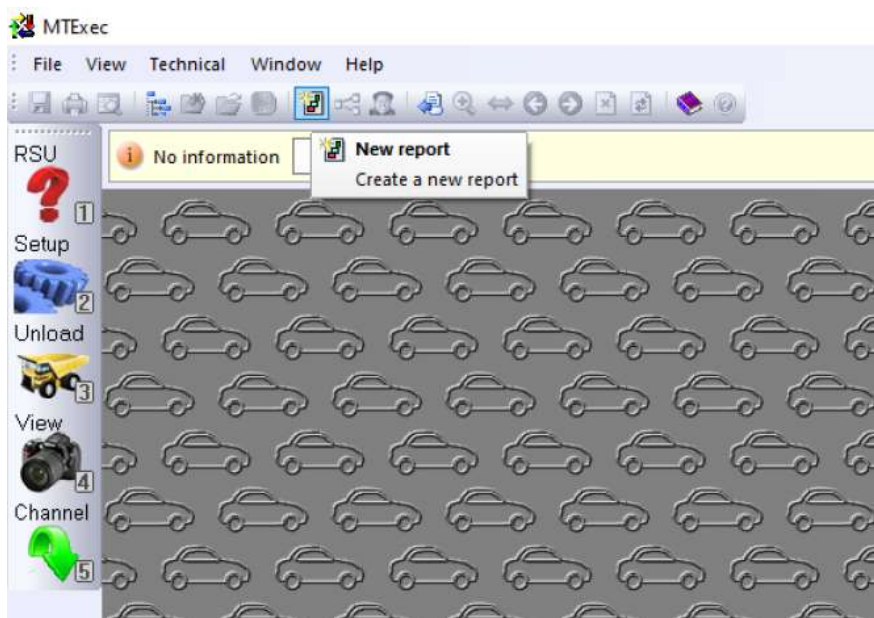


Ilustración 27: Venta de reporte. Elaborado por: Autores

Después se da clic en “Add files”, se despliega una ventana donde se escoge la carpeta que está la información, dar clic en “Abrir” después “Next”.

A continuación, se abre una nueva pantalla, en la cual se presentan diversas opciones para la generación de reportes, permitiendo seleccionar el formato y tipo de informe más adecuado según los requerimientos específicos del proyecto.

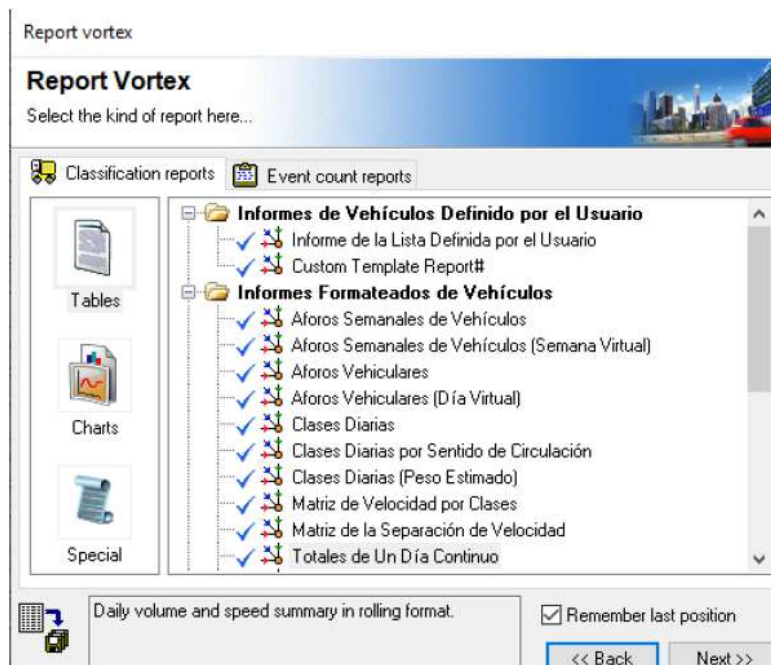


Ilustración 28: Ventana de opciones de reportes Elaborado por: Autores

Reporte, se realizó el conteo vehicular por 3 días.

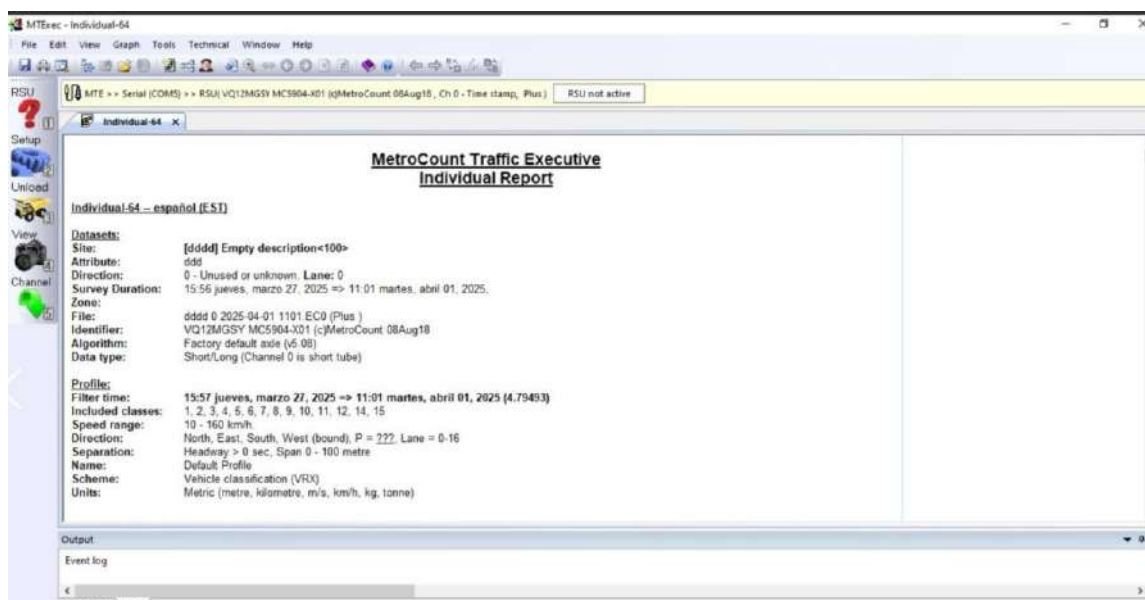


Ilustración 29: Ventana de reporte individual. Elaborado por: Autores

3.6.5. Cálculo del tpda (tráfico promedio diario anual)

A. Cálculo del factor mensual (FM)

Para este parámetro se ocupará como dato el consumo de combustible total de Quito, esta información debe convertirse en un consumo promedio diario para cada mes, dividiendo el total mensual entre el número de días que tiene ese mes.

El consumo promedio diario correspondiente al mes de marzo se puede determinar utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Promedio consumo diario} = \frac{\text{Total de consumo mensual}}{\text{Número de días del mes}}$$

Ecuación 4: Promedio consumo diario

$$\text{Promedio consumo diario} = \frac{1610694}{31}$$

$$\text{Promedio consumo diario} = 51957.87 \frac{\text{Gl}}{\text{Día}}$$

Factor Mensual del consumo de combustible

Tabla 4: Factor mensual del consumo de combustibles - Elaborado por: Autores

Mes del Año	Total Consumo Mensual (Galones)	Promedio Consumo Diario (Galones)	Fm
Enero	1546230	49878.39	1.087
Febrero	1434347	51226.68	1.059
Marzo	1610694	51957.87	1.044
Abril	1557435	51914.5	1.045
Mayo	1661249	53588.68	1.012
Junio	1643068	54768.93	0.990
Julio	1687367	54431.19	0.996
Agosto	1625045	52420.81	1.035
Septiembre	1730170	57672.33	0.94
Octubre	1783433	57530.1	0.943
Noviembre	1709556	56985.2	0.952
Diciembre	1810362	58398.77	0.929
PROMEDIO DE CONSUMO		54231.12	

El factor mensual correspondiente al mes de marzo se puede determinar utilizando la siguiente fórmula:

$$Fm = \frac{\text{Promedio de consumo diario}}{\text{Mes del consumo diario}}$$

Ecuación 5: Factor mensual

$$Fm = \frac{54231.12}{51957.87}$$

$$Fm = 1.044$$

B. Cálculo del tráfico promedio diario anual (TPDA)

A partir del conteo realizado y los reportes generados por el programa MetroCount durante tres días en horarios específicos, se registró un total de 1942 vehículos.

$$TPDA = \frac{TPDS}{7} * Fm$$

Ecuación 6: Tráfico promedio diario anual

$$TPDA = \frac{1942}{7} * 1.044$$

$$TPDA = 290 \frac{Veh}{Dia}$$

3.7. Conteo manual

3.7.1. Procesamiento informativo

A. Obtención del factor de ajuste horario

Durante los tres días en los que se efectuó el conteo manual, se registró un volumen total de 2040 vehículos en un período de una hora por día, lo que equivale a un promedio diario de 680 vehículos/día.

Tabla 5: Flujo vehicular por método de conteo manual - Elaborado por: Autores

CONTEO MANUAL						
Sector	Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito a la altura del ingreso principal de la UPS – Campus sur					
Sentido	Norte-Sur					
Mes	Marzo-Abril					
Hora			Viernes 28	Sábado 29	Martes 01	TOTAL
2h30	a	3h00	441			441
3h30	a	4h00	302			302
11h21	a	11h50		387		387
12h21	a	12h51		487		487
08h41	a	8h59			296	296
09h03	a	09h14			127	127
			743	874	423	2040

A lo largo de los tres días en los que se realizó el conteo automático durante la 1 hora del día, se registró un volumen total de 1942 vehículos, lo que representa un promedio diario de 647 vehículos.

Tabla 6: Flujo vehicular por método de conteo automático - Elaborado por: Autores

CONTEO AUTOMATICO						
Sector	Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito a la altura del ingreso principal de la UPS – Campus sur					
Sentido	Norte-Sur					
Mes	Marzo-Abril					
Hora			Viernes 28	Sábado 29	Martes 01	TOTAL
2h30	a	3h00	425			425
3h30	a	4h00	280			280
11h21	a	11h50		382		382
12h21	a	12h51		461		461
08h41	a	8h59			279	279
09h03	a	09h14			115	115
			705	843	394	1942

A lo largo de los tres días en los que se realizó el conteo con cámara por computadora durante la 1 hora del día, se registró un volumen total de 2109 vehículos, lo que representa un promedio diario de 703 vehículos.

Tabla 7: Flujo vehicular por método de conteo con cámara por computadora - Elaborado por: Autores

CONTEO CON CÁMARA POR COMPUTADORA					
Sector	Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito a la altura del ingreso principal de la UPS – Campus sur				
Sentido	Norte-Sur				
Mes	Marzo-Abril				
Hora		Viernes 28	Sábado 29	Martes 01	TOTAL
2h30	a	3h00	445		445
3h30	a	4h00	357		357
11h21	a	11h50		393	393
12h21	a	12h51		488	488
08h41	a	8h59		296	296
09h03	a	09h14		130	130
		802	881	426	2109

Nota: Se organizaron y tabularon los datos obtenidos durante tres días de conteo automático, conteo con cámara por computadora con el propósito de compararlos y evaluarlos frente al conteo manual.

A través de la siguiente fórmula se calcula el Factor Horario (Fh) correspondiente a cada uno de los tres días de estudio, tanto para el conteo manual como para el automático

$$Fh = \frac{\text{Volumen de tráfico viernes}}{\text{Volumen de tráfico viernes 2h30 a 3h00}}$$

Ecuación 7: Factor horario

$$Fh = \frac{705 \text{ veh/día}}{425 \text{ veh/día}}$$

$$Fh = 1.66$$

Factor horario de los cuatro días de conteo manual

Tabla 8 : Factor horario

Día	Fh
Viernes	1.66
Sábado	1.83
Martes	1.41
PROMEDIO	1.63

B. Obtención del factor de ajuste semanal

El Factor Semanal representa la relación entre el volumen total de vehículos registrados durante los tres días mediante el conteo automático y el volumen obtenido en los tres días, que también se realizó el conteo manual, pero utilizando únicamente los datos automáticos correspondientes al mismo periodo de 1 hora.

$$Fs = \frac{\text{Volumen total vehicular manual de los 3 días}}{\text{Volumen total vehicular automático de los 3 días}}$$

Ecuación 8: Factor semanal

$$Fs = \frac{2109 \text{ veh}}{1942 \text{ veh}}$$

$$Fs = 1.09$$

C. Obtención del factor de ajuste mensual

El Factor Mensual (Fm) permite convertir el volumen promedio de tráfico mensual en el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), ajustando así las variaciones mensuales para estimar el comportamiento anual del flujo vehicular.

Tabla 9: Factor Mensual del consumo de combustible - Elaborado por: Autores

Mes del Año	Total Consumo Mensual (Galones)	Promedio Consumo Diario (Galones)	Fm
Enero	1546230	49878.39	1.087
Febrero	1434347	51226.68	1.059

Marzo	1610694	51957.87	1.044
Abril	1557435	51914.5	1.045
Mayo	1661249	53588.68	1.012
Junio	1643068	54768.93	0.990
Julio	1687367	54431.19	0.996
Agosto	1625045	52420.81	1.035
Septiembre	1730170	57672.33	0.94
Octubre	1783433	57530.1	0.943
Noviembre	1709556	56985.2	0.952
Diciembre	1810362	58398.77	0.929
PROMEDIO DE CONSUMO		54231.12	

D. Volumen de tráfico promedio diario

Corresponde al volumen de tráfico medido durante un intervalo horario específico en cada uno de los siete días de la semana, cuyo resultado se presenta como un promedio representativo del comportamiento semanal.

Tabla 10: Datos del conteo manual viernes – Elaborado por: Autores

CONTEO MANUAL	
VIERNES	
Sector	Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito a la altura del ingreso principal de la UPS – Campus sur
Sentido	Norte-Sur
Mes	Marzo
HORA	VEHICULOS
2h30 a 3h00	441
3h30 a 4h00	302
TOTAL	743

Tabla 11: Datos del conteo manual sábado – Elaborado por: Autores

CONTEO MANUAL	
SABADO	
Sector	Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito a la altura del ingreso principal de la UPS – Campus sur
Sentido	Norte-Sur
Mes	Marzo
HORA	VEHICULOS
11h21 a 11h50	387
12h21 a 12h51	487
TOTAL	874

Tabla 12: Datos del conteo manual martes - Elaborado por: Autores

CONTEO MANUAL	
MARTES	
Sector	Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito a la altura del ingreso principal de la UPS – Campus sur
Sentido	Norte-Sur
Mes	Abril
HORA	VEHICULOS
08h41 a 8h59	296
09h03 a 09h14	127
TOTAL	423

Se determinó el volumen total diario correspondiente a cada uno de los tres días en los que se realizó el conteo manual. Cada uno de estos valores fue ajustado mediante la aplicación del respectivo Factor Horario (Fh) previamente calculado. La sumatoria de los resultados obtenidos se multiplicó posteriormente por el Factor Semanal (Fs), lo que permitió estimar el Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS).

Esta estimación se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

*Volumen Total Martes *Factor Horario Promedio*

$$423 = \frac{veh}{día} * 1.63 = 689 \frac{veh}{día}$$

Tabla 13: Volumen total diario ajustado por el factor horario

Día	Producto
Viernes	1211.09
Sábado	1424.62
Martes	689.49
SUMATORIA	3325

Volumen total de vehículos = 3325 Veh

Para obtener el Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS) se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$TPDS = \text{Volumen Total} * \text{Factor Semanal}$$

Ecuación 9: Trafico promedio diario semanal

$$TPDS = 3325 \text{ vehículos} * 1.09$$

$$TPDS = 3624 \text{ vehículos}$$

El Tráfico Promedio Diario (TPD) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$TPD = \frac{TPDS}{7 \text{ días}}$$

Ecuación 10: Trafico promedio diario

$$TPD = \frac{3624}{7 \text{ días}}$$

$$TPD = 517 \frac{veh}{día}$$

3.7.2. Obtención del tráfico promedio diario anual (tpda)

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se obtiene multiplicando el Tráfico Promedio Diario (TPD) por el Factor Mensual (Fm), lo cual permite ajustar el valor diario a una estimación representativa del comportamiento anual del flujo vehicular.

$$TPDA = TPD * Fm$$

Ecuación 11: Trafico promedio diario anual

Donde:

TPD: Tráfico promedio diario

Fm: Factor mensual

$$TPDA = 517 \frac{veh}{dia} * 1.044$$

$$TPDA = 540 \frac{veh}{dia}$$

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTEO VEHICULAR

4.1. Descripción General del Sistema

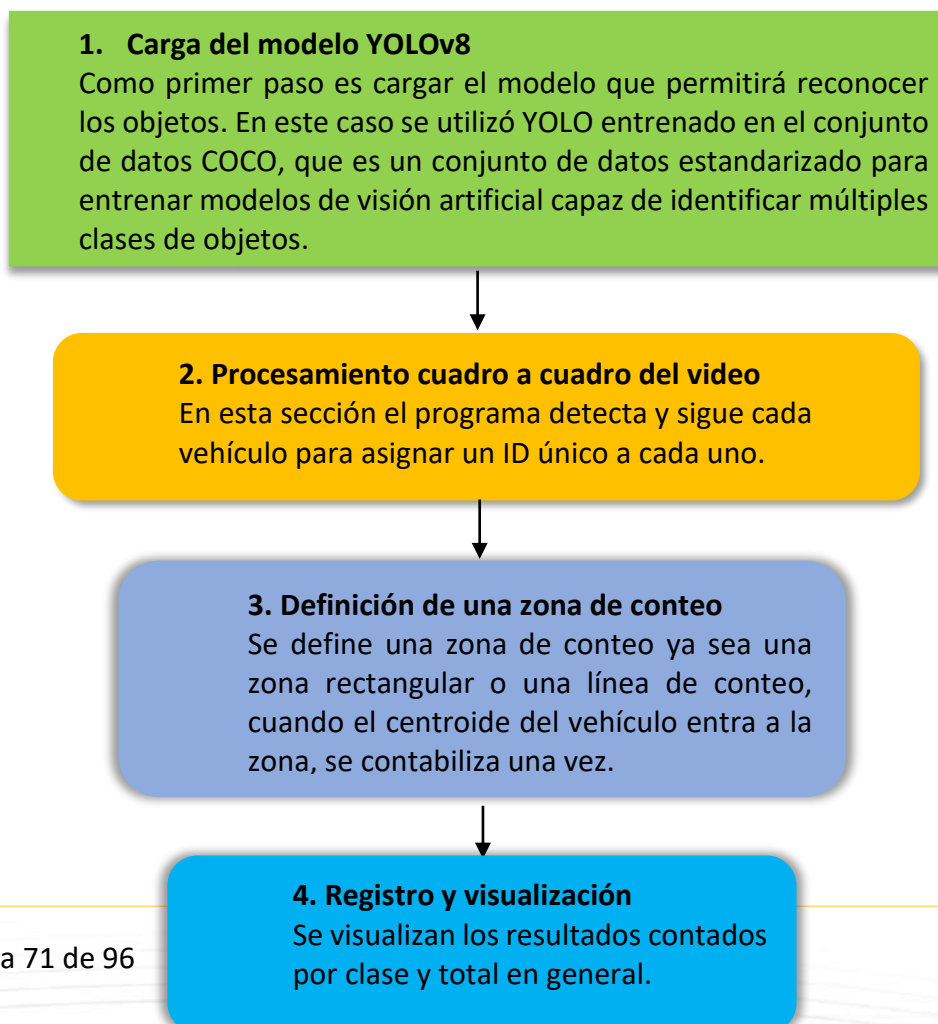
El sistema general funciona a través de una programación que facilita el manejo de videos, ya sean previamente grabados o derivados de una transmisión en directo. Cuando el programa se ejecuta, este registra automáticamente los vehículos identificados en la escena. Hay múltiples métodos para llevar a cabo el recuento de vehículos: uno de los más habituales es a través de una línea virtual, por la que deben transitar los vehículos para ser registrados; otra opción implica establecer una área rectangular o cuadrada dentro del video, de tal forma que el recuento se efectúe cuando los vehículos entran en esa zona. Estas configuraciones pueden ajustarse de acuerdo a las demandas particulares del usuario o las circunstancias del ambiente.

La identificación de vehículos se realiza con modelos entrenados previamente como YOLOv8, que facilitan la identificación de diferentes clases de vehículos, como autos, autobuses, camiones, motocicletas, entre otros. Una vez identificados, los vehículos son monitoreados a través de un algoritmo de seguimiento por identificación, lo que implica que a cada vehículo se le otorga un número único que se conserva a lo largo del tiempo. Esto previene conteos repetidos y asegura una precisión superior en las estadísticas logradas.

Además, el sistema facilita la identificación de la dirección del movimiento de los vehículos, lo que se consigue mediante el estudio de su trayectoria en comparación con dos líneas de referencia previamente fijadas. Finalmente, el sistema produce una síntesis completa del número total de vehículos que han pasado por la escena, y si se quiere, también organiza y muestra el conteo individual por cada tipo de vehículo identificado.

4.1.1. Funcionamiento del sistema

El sistema está compuesto por cuatro fases que serán explicadas en el siguiente esquema:



4.1.2. Componentes y descripción del código

El código presentado a continuación fue desarrollado en el lenguaje de programación Python, debido a que es uno de los más utilizados en el campo de la visión por computadora y la inteligencia artificial. En un proyecto de investigación como el presente, se requiere registrar, modificar y ampliar constantemente el código, esta característica representa un beneficio esencial en comparación con lenguajes más verbosos como C++ o Java.

Python es un lenguaje interpretativo, de tipado dinámico y multiplataforma, lo que posibilita la ejecución del código en varios sistemas **operativos** sin modificaciones relevantes. Además, su conexión con bibliotecas como OpenCV, NumPy, Ultralytics e YOLOv8 simplifica la puesta en marcha de algoritmos sofisticados de procesamiento de imágenes, identificación de objetos y seguimiento del movimiento con un elevado grado de abstracción. Este lenguaje también es referencia en el desarrollo de modelos de Deep Learning gracias a su integración con frameworks como TensorFlow, PyTorch y Ultralytics. Esto permite garantizar que el sistema se adapte a ciertas condiciones en el futuro o entrenarlo para modelos personalizados en contextos urbanos específicos.

En este proyecto se utilizó:

- Python 3.10 como versión base para garantizar la compatibilidad con librerías más actuales.
- Entorno de desarrollo Visual Studio Code, por su soporte para depuración, control de versiones y ejecución directa de scripts de Python
- **Librerías Principales:**
 - **Open CV:** Captura de video, procesamiento de imágenes y visualización de resultados.
 - **NumPy:** Manejo eficiente de arreglos y operaciones matemáticas.
 - **Ultralytics YOLO:** Implementación del modelo YOLOv8 para detección y seguimiento.

Este conjunto de librerías permite implementar soluciones avanzadas, no es necesario programar desde cero algoritmos de bajo nivel, además ofrece facilidad de mantenimiento, aspectos esenciales para proyectos de investigación que pueden

evolucionar a aplicaciones más avanzadas, para el ámbito del transporte y movilidad urbana.

A continuación, se detalla el código y las funciones utilizadas en el mismo.

1. Importación de librerías

```
import cv2
import numpy as np
from ultralytics import YOLO
```

Ilustración 30: Fragmento de código. Elaborado por: Autores

- **cv2** : Manejo de imágenes y videos, dibujar rectángulos, textos y manipular fotogramas.
- **Numpy**: Operaciones matemáticas y manejo de arreglos, usado aquí para crear la imagen resumen
- **ultralytics.YOLO**: Implementación del modelo YOLOv8 para detección y seguimiento.

2. Configuración Inicial

```
# Configuración
VIDEO_PATH = 'Secuencia 07.mp4'
CLASES_TO_DETECT = [2, 3, 5, 7] # car, motorcycle, bus, truck
CLASS_NAMES = {2: 'Car', 3: 'Motorcycle', 5: 'Bus', 7: 'Truck'}
# Zona rectangular (x1, y1, x2, y2)
ZONE_RECT = (600, 0, 600, 1000)
```

Ilustración 31: Fragmento de código. Elaborado por: Autores

- En esta sección se carga el video es decir la ruta del video a analizar.
- Se define las clases de vehículos que se van a contar y a analizar, además se les coloca un ID de nombres de clases más legibles.
- Por último se define las coordenadas de la zona de conteo.

3. Carga del Modelo Yolov8

```
model = YOLO('yolov8n.pt')
```

Ilustración 32: Fragmento de código. Elaborado por: Autores

- Se carga el modelo en la variable “**model**”

4. Inicialización de variables de seguimiento

```

tracked_objects = {}           # id -> posición previa
counted_ids = set()           # IDs ya contados
vehicle_counts = {2: 0, 3: 0, 5: 0, 7: 0} # Conteo por clase
directions = {}               # id -> 'up' o 'down'

```

Ilustración 33: Fragmento de código. Elaborado por: Autores

- **tracked_objects**: Guarda última posición de cada ID.
- **counted_ids**: IDs ya contados para evitar duplicados.
- **vehicle_counts**: Acumulador por tipo de vehículo.
- **directions**: Dirección estimada de movimiento ("up" o "down").

5. Funciones auxiliares

```

def draw_zone(frame):
    x1, y1, x2, y2 = ZONE_RECT
    cv2.rectangle(frame, (x1, y1), (x2, y2), (0, 255, 255), 2)
    cv2.putText(frame, "ZONA DE CONTEO", (x1, y1 - 10), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 255, 255), 2)

def is_inside_zone(cx, cy):
    x1, y1, x2, y2 = ZONE_RECT
    return x1 <= cx <= x2 and y1 <= cy <= y2

```

Ilustración 34: Fragmento de código. Elaborado por: Autores

- La primera función dibuja la zona rectangular de conteo.
- La segunda función define si el centroide de la función está dentro de la zona de conteo.

6. Procesamiento del video

```

while cap.isOpened():
    ret, frame = cap.read()
    if not ret:
        break

    results = model.track(frame, persist=True, classes=CLASSES_TO_DETECT, conf=0.3)
    frame_copy = frame.copy()
    draw_zone(frame_copy)

    if results[0].boxes.id is not None:
        boxes = results[0].boxes.xyxy.cpu().numpy()
        ids = results[0].boxes.id.int().cpu().numpy()
        classes = results[0].boxes.cls.int().cpu().numpy()

        for box, id, cls in zip(boxes, ids, classes):
            x1, y1, x2, y2 = box.astype(int)
            cx, cy = int((x1 + x2) / 2), int((y1 + y2) / 2)

            prev_pos = tracked_objects.get(id, None)
            tracked_objects[id] = (cx, cy)

            direction = ''
            if id not in counted_ids and is_inside_zone(cx, cy):
                if prev_pos:
                    if prev_pos[1] < ZONE_RECT[1]:
                        direction = 'down'
                    elif prev_pos[1] > ZONE_RECT[3]:
                        direction = 'up'
                    else:
                        direction = 'unknown'

            directions[id] = direction
            counted_ids.add(id)
            vehicle_counts[cls] += 1

```

Ilustración 35: Fragmento de código. Elaborado por: Autores

- **cap.read():** Obtiene cada fotograma.
- **model.track():** Aplica detección y tracking persistente de YOLOv8. El parámetro **persist=True** asegura que cada vehículo conserve su ID único a lo largo de los cuadros.
- Calcula centroide (cx, cy) de cada vehículo.
- Comprueba si el centroide entra a la zona de conteo y registra el conteo en **vehicle_counts**.

7. Visualización en tiempo real

```
label = f'{CLASS_NAMES[cls]} ID {id} {dir_label}'  
  
cv2.rectangle(frame_copy, (x1, y1), (x2, y2), (0, 255, 0), 2)  
cv2.circle(frame_copy, (cx, cy), 3, (0, 0, 255), -1)  
cv2.putText(frame_copy, label, (x1, y1 - 10), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,  
            0.6, (255, 255, 255), 2)
```

Ilustración 36: Fragmento de código. Elaborado por: Autores

- Etiqueta las clases de vehículos, el centroide y dirección, dibuja cuadros en cada uno de los objetos.

8. Muestra resultados del conteo por clases

```
# Mostrar conteos totales por clase  
x, y0, dy = 10, 30, 30  
for i, cls in enumerate(CLASSES_TO_DETECT):  
    text = f'{CLASS_NAMES[cls]}s: {vehicle_counts[cls]}'  
    y = y0 + i * dy  
    cv2.putText(frame_copy, text, (x, y), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.8, (0, 255, 255), 2)  
  
frame_resized = cv2.resize(frame_copy, None, fx=0.5, fy=0.5)  
cv2.imshow("Conteo por zona", frame_resized)  
  
if cv2.waitKey(1) & 0xFF == 27:  
    break
```

Ilustración 37: Fragmento de código. Elaborado por: Autores

- Se muestra el conteo de los vehículos por cada clase detectada y el total de cada una de las clases.

9. Resumen final

```
# Mostrar resumen final al terminar el video
print("\n--- RESULTADOS FINALES ---")
total_vehiculos = 0
for cls in CLASSES_TO_DETECT:
    count = vehicle_counts[cls]
    print(f"{CLASS_NAMES[cls]}s detectados: {count}")
    total_vehiculos += count

print(f"total general de vehiculos: {total_vehiculos}")

# Mostrar en ventana final con resumen visual
resumen_frame = np.zeros((300, 600, 3), dtype=np.uint8)
cv2.putText(resumen_frame, "RESULTADOS FINALES", (50, 50), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1.2, (0, 255, 255), 3)

y_offset = 100
for cls in CLASSES_TO_DETECT:
    text = f"{CLASS_NAMES[cls]}s: {vehicle_counts[cls]}"
    cv2.putText(resumen_frame, text, (50, y_offset), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, (0, 255, 0), 2)
    y_offset += 50

cv2.putText(resumen_frame, f"Total: {total_vehiculos}", (50, y_offset + 10), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1.1, (255, 255, 0), 3)

cv2.imshow("Resumen Final", resumen_frame)
cv2.waitKey(0) # Esperar hasta que se presione una tecla
cv2.destroyAllWindows()
```

Ilustración 38: Fragmento de código. Elaborado por: Autores

- Al finalizar el video, imprime y visualiza los resultados en una imagen con los totales de cada vehículo.

4.2. Captura y Procesamiento de Video

Esta es la etapa inicial del sistema la cual consiste en la captura del video, puede provenir de dos fuentes principales: grabaciones previamente almacenadas y transmisiones en tiempo real desde cámaras existentes o instaladas en el entorno urbano. La elección entre una u otra es de acuerdo a que resultados se espera, ya sea aplicaciones que se necesitan operar en tiempo real o estudios que se puede realizar con material grabado.



Ilustración 39: Imagen referencial cámaras de seguridad Obtenida de: <https://www.pulsiam.com/es/seguridad-publica/>



Ilustración 40: Imagen referencial grabación con teléfono Obtenida de:
<https://www.travelandleisureasia.com/sg/travel-tips/trip-planning/future-of-ai-in-travel-artificial-intelligence/>

Captura

Para la obtención de los videos de este estudio se utilizó una cámara de grabación, la cual fue configurada y manipulada por los tesisistas, quienes obtuvieron imágenes para sus respectivos estudios, además se utilizó un dron para la obtención de más videos desde otro ángulo de grabación.



Ilustración 41: Obtención de imágenes con cámara Elaborado por: Autores



Ilustración 42: Resultados de imágenes obtenidos con cámara Elaborado por: Autores



Ilustración 43: Grabación con dron Elaborado por: Autores



Ilustración 44: Resultado de grabación con dron. Elaborado por: Autores



Ilustración 45: Resultado de grabación con dron. Elaborado por: Autores

Procesamiento

Ya sea por cualquiera de los métodos que se obtuvo el video, se procede al procesamiento digital del mismo, que incluye la conversión de formatos compatibles, el ajuste de su resolución en caso de ser necesario o la estabilización del video. Este proceso es fundamental para garantizar la calidad de la detección de etapas posteriores, ya que los modelos entrenados para el reconocimiento de vehículos como YOLOv8 son sensibles a la nitidez, iluminación y dimensiones.



Ilustración 46: Imágenes referenciales de conteos por visión artificial. Obtenido de: <https://www.youtube.com/watch?v=ClhuBnpHFBg>

Adicionalmente se define una región de interés, es decir, un área específica del video en la que se centrará en la captación y análisis de vehículos. Esto permite mejorar las

funciones computacionales y enfocarse en la parte más relevante de cada característica del vehículo.

4.3. Seguimiento y Conteo Vehicular

Ya mencionado anteriormente el modelo utilizado para la identificación y clasificación del tipo de vehículo es el modelo YOLOv8, este ya está previamente entrenado para reconocer objetos tales como automóviles, motocicletas, camiones y buses.

Una vez detectados, los vehículos son monitoreados mediante un algoritmo de seguimiento por ID, el cual asigna a cada uno un identificador único que permite diferenciarlos y rastrear su trayectoria de manera individual.

Dependiendo la zona de ubicación y el ángulo de la cámara se puede realizar el conteo de distintas maneras, por ejemplo:

- **Línea de conteo:** se establece una línea horizontal o vertical en el plano de la imagen y el conteo se realiza cuando un vehículo cruza dicha línea en una dirección específica.
- **Zona de conteo:** se define un área rectangular o poligonal, cada vez que un vehículo ingresa a esta zona, se considera como un evento de conteo.



Ilustración 47: Imagen referencial del conteo vehicular con visión artificial. Obtenido de: <https://www.youtube.com/watch?v=EzLKys61deQ>

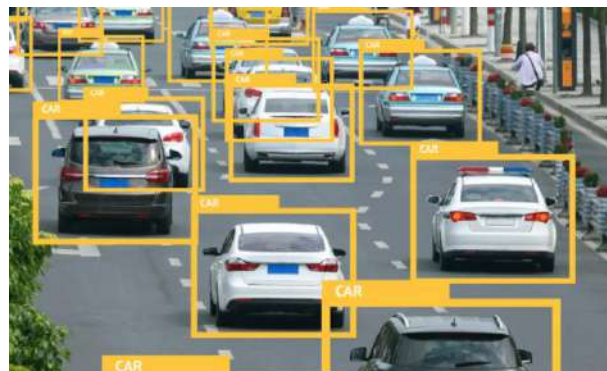


Ilustración 48: Imagen referencial de conteo vehicular con visión artificial Obtenido de: https://www.projektwoche.jku.at/2021/projekt2021_proj05.shtml

Esto además se puede configurar para ver la dirección del movimiento, ofreciendo una clasificación según el flujo vehicular.

4.4. Visualización de Resultados

Para la visualización de resultados, el programa permite observar el total de vehículos que han circulado mientras el video está en ejecución. Una característica clave es la capacidad de mostrar en tiempo real la información directamente sobre el propio video. A través de un marco gráfico superpuesto (overlay), se presenta las siguientes capas de información:

- Cajas delimitadoras (bounding boxes) que encierran cada vehículo detectado.
- Centroides que marcan el punto medio de cada vehículo.
- Etiquetas con el tipo de vehículo, ID asignado y dirección del movimiento (si aplica).
- Contadores dinámicos, que muestran en pantalla el total acumulado por clase de vehículo.

Al finalizar el conteo, el programa genera el número total de vehículos que circularon, así como el desglose por cada categoría. Estos datos pueden exportarse a un archivo de Excel y organizarse para su posterior análisis.

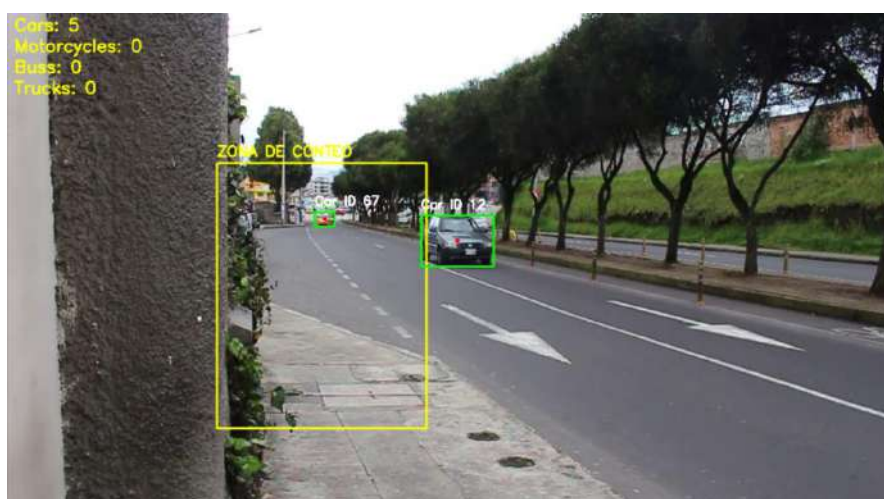


Ilustración 49: Imagen del programa creado por los maestrantes. Elaborado por: Autores

RESULTADOS FINALES

Cars: 616

Motorcycles: 12

Buss: 16

Trucks: 56

Ilustración 50: Ejemplo ilustrativo de los resultados de grabaciones Elaborado por: Autores

4.5. Evaluación del Sistema

Para corroborar la eficacia del sistema, se llevaron a cabo ensayos con vídeos capturados en diversos contextos: carreteras urbanas con gran congestionamiento, avenidas principales y calles secundarias. Los resultados logrados se compararon con conteos manuales efectuados por los tesisistas, utilizados como punto de referencia para determinar métricas de desempeño como:

Precisión: porcentaje de vehículos correctamente registrados en relación al total real.

Recall: habilidad del sistema para evitar la exclusión de vehículos ya existentes.

Tasa de error: ratio de falsificaciones positivas y negativas.

Los ensayos evidenciaron que el sistema logra una exactitud adecuada en circunstancias de buena iluminación y visibilidad, en particular cuando el flujo de vehículos no muestra oclusiones graves.

4.6. Limitaciones Detectadas y Posibles Mejoras

El sistema presenta un rendimiento satisfactorio en escenarios completamente controlados, se identificaron algunas limitaciones que pueden impactar su uso a gran escala:

- **Colocación de la cámara:** La cámara debe estar bien ubicada y centrada sin movimiento y con un buen ángulo para que sea de fácil reconocimiento.
- **Obstrucción visual:** entre vehículos dificultan el seguimiento continuo y pueden ocasionar conteos erróneos.

- **Conteos dobles:** debido a la velocidad del video o vehículos que se estacionan, causan un conteo doble, de igual manera la cámara graba otro carril que cuenta los vehículos que no debería.
- **Ángulos de cámara:** muy elevados o extremos pueden distorsionar la percepción del movimiento y dificultar la definición de líneas o zonas de conteo efectivas.

Como parte de las mejoras futuras se proponen:

- Ajustar los parámetros del modelo y entrenar versiones personalizadas con datos locales.
- Aplicar análisis estadísticos sobre los conteos para detectar patrones de tráfico, congestión o comportamientos atípicos.
- Desarrollar una interfaz gráfica amigable para facilitar el uso por parte de operadores no técnicos.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados de Pruebas en Campo

Para validar el sistema de conteo vehicular se realizaron pruebas de campo empleando videos previamente registrados mediante una cámara fija y un dron, con el fin de obtener diferentes perspectivas. Las grabaciones se efectuaron los días 28, 29 de marzo y el 1 de abril del 2025, en distintos horarios, con el objetivo de recopilar datos representativos del flujo vehicular. El lugar seleccionado para la toma de las muestras fue la Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito a la altura del ingreso principal de la Universidad Politécnica Salesiana – Campus sur dirección Norte-Sur. Los horarios establecidos para cada jornada fueron los siguientes:

Día	Hora
Viernes, 28 de marzo de 2025	14h30-15h00 y 15h30-16h00
Sábado, 29 de marzo de 2025	11h20-11h50 y 12h20-12h50
Martes, 01 de abril de 2025	8h40-9h00 y 9h00-9h14

La elección de los horarios de recolección de datos de tráfico, se fundamenta en la necesidad de tener muestras representativas, para observar el flujo de vehículos en

distintos días y horas. Se realizaron mediciones tanto en días de trabajo (viernes y martes) como el fin de semana (sábado), con el objetivo de registrar las variaciones de los patrones de movilidad vinculados a actividades de trabajo, escolares y de ocio, que inciden directamente en el volumen y tipo de vehículos en movimiento. Se tuvo en cuenta lo siguiente:

- El viernes se escogió el horario en la jornada vespertina porque empieza el periodo asociado a la salida laboral, de estudiantes de universidad y de colegios.
- El sábado se eligió el horario del medio día, ya que en este momento se registra un flujo de tránsito de nivel intermedio con presencia principalmente de vehículos particulares.
- El martes se optó por la hora pico matutina, porque empiezan las jornadas laborales y académicas.

En estos días se observó climas variables, los cuales se detallan a continuación:

Viernes 28 de marzo de 2025

- **Estado del clima:** Lluvioso/Nublado



Ilustración 51: Imagen obtenida de grabaciones realizadas por cámara Elaborado por: Autores

Sábado 29 de marzo de 2025

- **Estado del clima:** Despejado/Soleado



Ilustración 52: Imagen obtenida de grabaciones mediante cámara Elaborado por: Autores

Martes 01 de abril de 2025

- **Estado de clima:** Despejado/Soleado



Ilustración 53: Imagen obtenida de grabación con dron Elaborado por: Autores

Con las grabaciones obtenidas se llevó a cabo el procesamiento del programa, con las debidas configuraciones se colocaron líneas de referencia de cruce, así como zonas rectangulares de conteo para registrar el paso de vehículos. Se logró identificar correctamente múltiples tipos de vehículos, como automóviles, buses, camiones y motocicletas, utilizando el modelo YOLOv8.

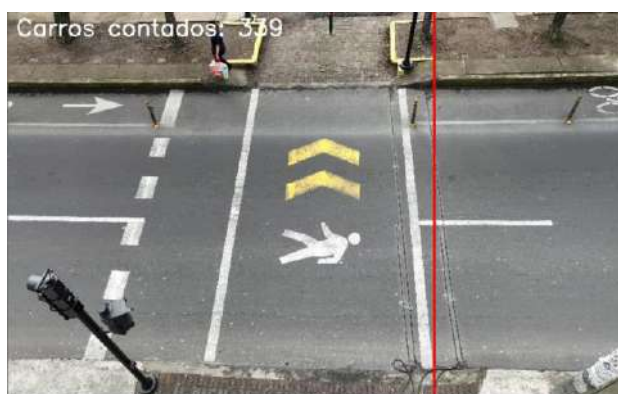


Ilustración 54: Imagen del programa creado por los maestrantes – grabación con dron. Elaborado por: Autores

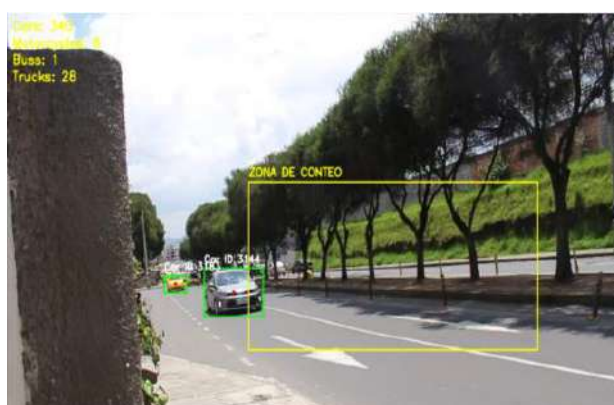


Ilustración 55: Imagen del programa creado por los maestrantes – grabación con cámara. Elaborado por: Autores

El sistema mostró una adecuada capacidad para detectar vehículos de manera individual pese a eso existió algunos errores de procesamiento, en ciertos casos se evitó dobles conteos, pero en otros debido a la posición de la cámara se realizó un conteo erróneo.

5.2. Precisión del Conteo Vehicular

Para medir la precisión del conteo vehicular, se comparó el sistema de conteo por visión por computadora con el conteo manual:

28 de marzo de 2025

El 28 de marzo, el conteo manual registró un total de **743** vehículos, mientras que el sistema basado en visión por computadora contabilizó **802** vehículos. Sin embargo, debido a ciertas limitaciones en la configuración del software y a condiciones particulares durante la toma de datos, el conteo automatizado presentó un margen de error, afectando la precisión de los resultados. Los datos obtenidos se detallan a continuación:

$$\text{Precisión} = \frac{\#Vehículos \text{ Conteo Manual}}{\#Vehículos \text{ Conteo por computadora}} = \frac{743}{802} = 0.9264$$

Ecuación 12: Precisión del sistema del día 28 de marzo

Esto quiere decir que se tiene una efectividad del 92% en el primer día de conteo.

29 de marzo de 2025

En este día se registró en el conteo manual **874** vehículos en total, en el sistema basado en visión por computadora contabilizó **881** vehículos, por lo que el valor de precisión sería el siguiente:

$$\text{Precisión} = \frac{\#Vehículos\ Conteo\ Manual}{\#Vehículos\ Conteo\ por\ computadora} = \frac{874}{881} = 0.9920$$

Ecuación 13: Precisión del sistema del día 29 de marzo

En este día tenemos una precisión del 99,2% que quiere decir que hay una mejora notable en el programa.

01 de abril de 2025

En este día se registró en el conteo manual **423** vehículos que circularon, y en sistema basado en visión por computadora contabilizó **426** vehículos, la precisión en este día sería la siguiente.

$$\text{Precisión} = \frac{\#Vehículos\ Conteo\ Manual}{\#Vehículos\ Conteo\ por\ computadora} = \frac{423}{426} = 0.9929$$

Ecuación 14: Precisión del sistema del día 01 de abril

En el último día de conteo, nuestra precisión fue del 99,29%. Esto es un valor mucho más acertado y casi igual, lo que indica que nuestro modelo de programa tiene una precisión media del 96%; sin embargo, en realidad depende de múltiples factores como la ubicación de la cámara, la iluminación y otros.

La mayor parte de los errores observados están en:

- Vehículos que no cruzaban la línea de referencia
- Vehículos que se contaban dos veces por estar muy alejados o en otros carriles
- Reconocimiento erróneo de objetos como motocicletas o bicicletas.

Sin embargo, el algoritmo permite corregir estos errores y realizar un mejor conteo con datos exactos y asegurando un registro confiable.

5.3. Rendimiento del Sistema

Para el análisis del sistema desde un punto de vista computacional se necesita una computadora con características de gama media-alta ya que se necesita un procesador

i7 o i9 de última generación, tarjeta gráfica de video, almacenamiento SSD de alta velocidad con capacidades desde 512Gb hasta los 2TB, entre otras características.

Esto no quiere decir que en computadoras con otras características no funcione solo que sería un proceso más demorado el poder analizar los videos.

La mejora del código, a través de la eliminación de cuadros intermedios y la modificación de la resolución, posibilitó mantener un balance entre exactitud y eficacia. Para videos de resolución 720p, el sistema funcionó sin interrupciones notables de rendimiento.

5.4. Comparación con Otros Métodos

Existen algunas ventajas y desventajas de cada uno de ellos. A continuación, se presentan ventajas y desventajas del sistema:

Ventajas:

- A diferencia del conteo manual o mediante cables neumáticos (que requieren personal para instalación, supervisión o registro), el sistema por visión artificial puede operar de forma completamente autónoma una vez configurado.
- El conteo manual es propenso a errores por fatiga o distracción. Con modelos bien entrenados como YOLOv8 y algoritmos de seguimiento como ByteTrack o Centroid Tracking, se mejora la precisión del conteo y se evitan duplicaciones u omisiones.
- A diferencia de los cables neumáticos (que solo detectan ejes o presencia), este sistema puede diferenciar entre autos, buses, motos, camiones, entre otros, proporcionando estadísticas más detalladas.
- Permite visualizar y registrar el conteo en tiempo real, útil para centros de control de tráfico o análisis instantáneo de flujo vehicular.
- Se conserva evidencia en video que puede ser revisada posteriormente para verificar los datos, detectar patrones, o validar resultados.
- No se necesita invadir la vía pública ni interrumpir el tránsito para instalar sensores, cables o personal.
- El sistema se puede adaptar fácilmente a diferentes tipos de vías, ángulos de cámara, condiciones climáticas o flujos de tráfico.

- El mismo sistema puede ser replicado en múltiples puntos de control con poco esfuerzo técnico.

Desventajas:

- El reconocimiento puede verse afectado por baja iluminación, sombras intensas, o deslumbramientos durante el amanecer o anochecer, lo que puede disminuir la precisión del conteo.
- Lluvia intensa, neblina, o suciedad en el lente de la cámara pueden dificultar la detección correcta de vehículos.
- Si la cámara no está ubicada en una posición estratégica o su ángulo de visión es limitado, ciertos vehículos podrían no ser detectados o contados.
- Es necesario contar con una cámara de buena calidad, una computadora con GPU adecuada y una instalación que permita grabar o procesar en tiempo real.
- Para un nuevo proyecto, es necesario calibrar las zonas de detección, líneas de conteo y ajustar parámetros del modelo según las características de la vía.
- En tráfico denso, un vehículo puede tapar parcial o completamente a otro, generando conteos incompletos o erróneos.
- Aunque modelos como YOLOv8 son muy potentes, pueden no estar optimizados al 100% para todas las condiciones locales, lo que puede requerir ajustes finos o entrenamiento adicional.
- El procesamiento en tiempo real de video con algoritmos de detección y tracking requiere hardware relativamente potente, especialmente si se desea alto rendimiento.

Comparación de resultados entre los 3 métodos

Tabla 14: Datos vehiculares por conteo manual, automático y conteo con cámara por computadora – Viernes
Elaborado por: Autores

VIERNES					
Sector		Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito a la altura del ingreso principal de la UPS – Campus sur			
Sentido		Norte - Sur			
Mes		Marzo			
CONTEO MANUAL		CONTEO AUTOMÁTICO		CONTEO CON CÁMARA POR COMPUTADORA	
HORA	VEHICULOS	HORA	VEHICULOS	HORA	VEHICULOS
2h30 a 3h00	441	2h30 a 3h00	425	2h30 a 3h00	445
3h30 a 4h00	302	3h30 a 4h00	280	3h30 a 4h00	357

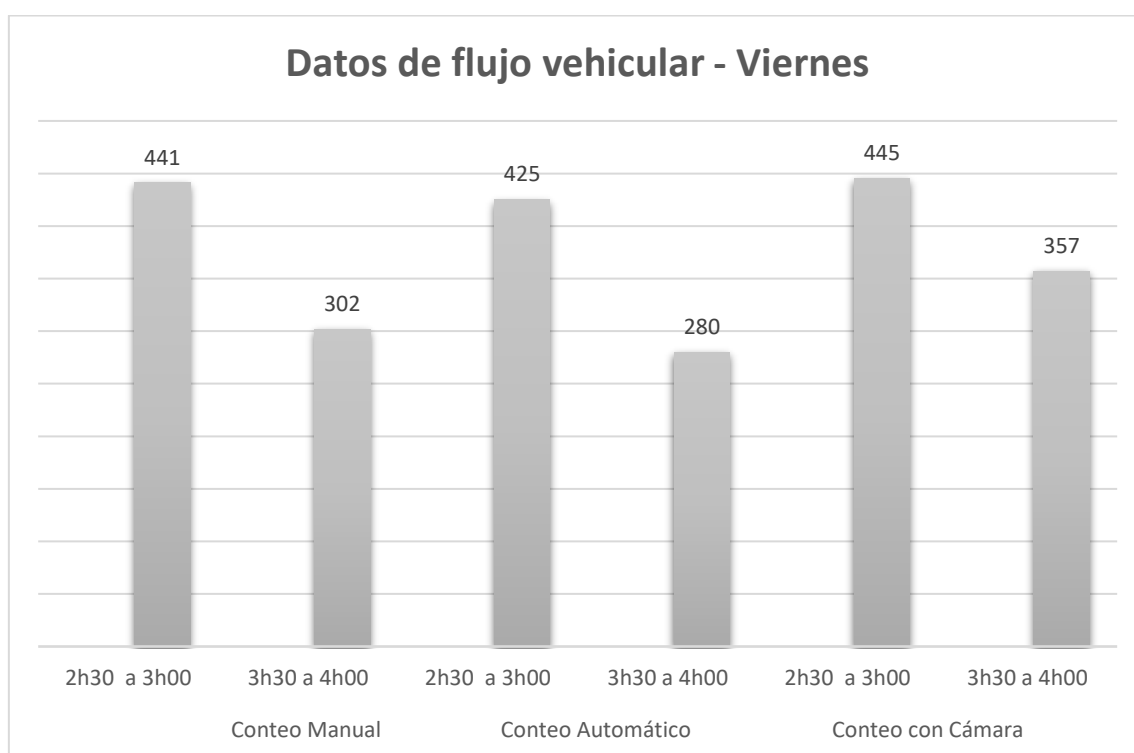


Ilustración 56 Gráfico representativo día Viernes

Tabla 15: Datos vehiculares por conteo manual, automático y conteo con cámara por computadora – Sábado
Elaborado por: Autores

SÁBADO					
Sector		Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito a la altura del ingreso principal de la UPS – Campus sur			
Sentido		Norte - Sur			
Mes		Marzo			
CONTEO MANUAL		CONTEO AUTOMÁTICO		CONTEO CON CÁMARA POR COMPUTADORA	
HORA	VEHICULOS	HORA	VEHICULOS	HORA	VEHICULOS
11h21 a 11h50	387	11h21 a 11h50	382	11h21 a 11h50	393
12h21 a 12h51	487	12h21 a 12h51	461	12h21 a 12h51	488

Datos de flujo vehicular - Sábado

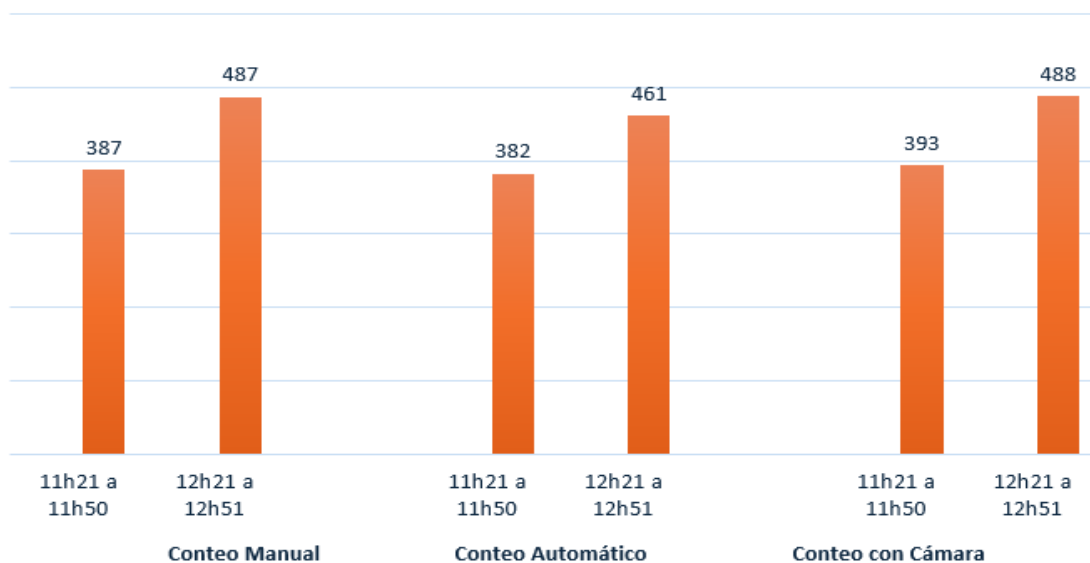


Ilustración 57 Gráfico representativo día Sábado

Tabla 16: Datos vehiculares por conteo manual, automático y conteo con cámara por computadora - Martes
Elaborado por: Autores

MARTES					
Sector		Av. Rumichaca Ñan s/n, Quito a la altura del ingreso principal de la UPS – Campus sur			
Sentido		Norte - Sur			
Mes		Abril			
CONTEO MANUAL		CONTEO AUTOMÁTICO		CONTEO CON CÁMARA POR COMPUTADORA	
HORA	VEHICULOS	HORA	VEHICULOS	HORA	VEHICULOS
08h41 a 8h59	296	08h41 a 8h59	279	08h41 a 8h59	296
09h03 a 09h14	127	09h03 a 09h14	115	09h03 a 09h14	130

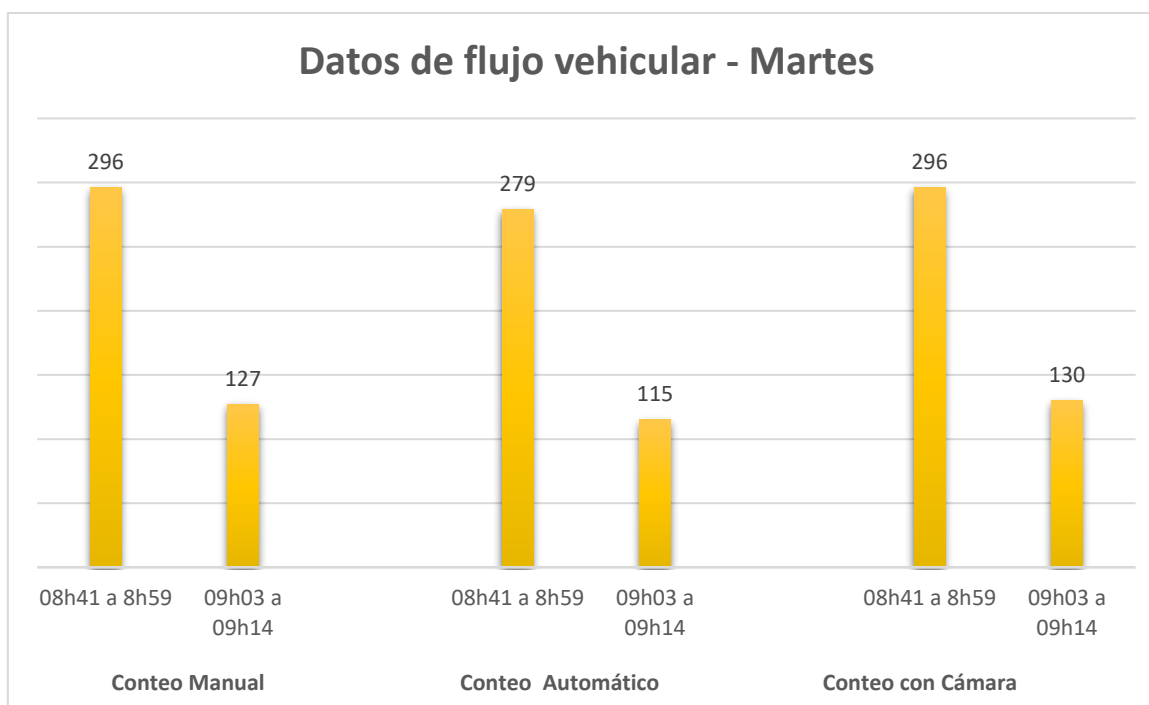


Ilustración 58 Gráfico representativo día Martes

5.5. Análisis de Casos Especiales

En las pruebas, se reconocieron circunstancias específicas que requieren debate:

- Vehículos detenidos sobre la línea de conteo: En algunos escenarios, cuando un automóvil se detiene frente a un semáforo ubicado sobre la línea de conteo, se generan inconsistencias debido a los movimientos de retroceso o avance del vehículo. Este comportamiento produce errores puntuales en el registro, principalmente duplicidades o pérdidas temporales en el conteo.
- Cruce sincronizado de varios vehículos: Cuando dos automóviles transitan simultáneamente por la línea y en carriles juntos, se producen problemas menores de superposición, particularmente en situaciones de iluminación insuficiente.
- La clasificación equivocada del modelo YOLO: Aunque la tasa de detección fue elevada, en ocasiones se registraron confusiones entre distintos tipos de vehículos, particularmente cuando las dimensiones eran inciertas (como entre SUV y camionetas de tamaño reducido).

Estos ejemplos subrayan la importancia de continuar mejorando el sistema a través de la implementación de algoritmos de seguimiento más sólidos (como ByteTrack o DeepSort) y modelos de detección específicos entrenados en contextos locales.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La implementación del sistema automatizado de conteo y análisis vehicular demuestra la efectividad de las técnicas de visión por computadora para el monitoreo del tránsito. El modelo logró identificar, clasificar y contabilizar vehículos de forma precisa, mediante grabaciones, demostrando su potencial como herramienta tecnológica de apoyo para la gestión y futura planificación del transporte.
- El sistema fue capaz de distinguir con un nivel aceptable de precisión los tipos de vehículos como autos, motocicletas, autobuses, camiones y bicicletas, lo que permitió registrar la composición del flujo vehicular en los escenarios evaluados. Esta funcionalidad aporta un valor significativo al análisis del comportamiento vial y al diseño de estrategias orientadas a la movilidad sostenible.
- La comparación entre los resultados obtenidos por el sistema automatizado y los registros manuales permitió validar su confiabilidad. Se observó una similitud considerable entre ambos métodos, confirmando que la solución propuesta puede considerarse un instrumento de medición confiable. Sin embargo, también se detectaron discrepancias en condiciones específicas, como variaciones de iluminación, entre otros.
- Las principales limitaciones del sistema se asociaron con las condiciones de captura de video, como el cruce simultáneo de vehículos o los cambios de iluminación. Asimismo, el modelo YOLO presentó confusiones en la clasificación de vehículos con características similares por ejemplo, SUV y camionetas compactas. Estas observaciones abren la posibilidad de incorporar modelos más especializados o entrenados con bases de datos ampliadas y adaptadas al contexto local.
- El sistema propuesto generó reportes detallados de tráfico, lo que facilita la proyección de flujos vehiculares y la planificación de políticas de movilidad. En este sentido, la herramienta constituye un aporte significativo para entidades

encargadas de la gestión del tránsito, contribuyendo a la toma de decisiones informadas y a la optimización de la infraestructura vial.

- En conjunto, el trabajo desarrollado aporta una base tecnológica aplicable a entornos reales, promoviendo la modernización de los métodos de conteo vehicular y reforzando la transición hacia sistemas de movilidad más eficientes, sostenibles e inteligentes. De esta manera, se cumple con el objetivo del proyecto, para futuras investigaciones orientadas al perfeccionamiento del conteo automatizado.

6.2. RECOMENDACIONES

- Emplear cámaras de alta resolución, colocadas en lugares altos y con un ángulo amplio, preferiblemente resguardadas de las condiciones climáticas adversas y dotadas de visión nocturna si se busca trabajar en periodos prolongados.
- A pesar de que se emplearon modelos ya entrenados, es necesario modificar o afinar el modelo con imágenes locales (aprendizaje transferencial) para mejorar la exactitud bajo las condiciones particulares del contexto urbano específico.
- Como parte de una mejora futura, es posible implementar una interfaz que exhiba gráficos, comparativas y patrones de tráfico en tiempo real, facilitando así la toma de decisiones en sistemas de transporte inteligente.
- Para fortalecer el sistema, es necesario llevar a cabo ensayos extra en diversas circunstancias (nocturnas, lluviosas, con tráfico pesado) y en distintas estructuras viales como cruces, rotondas y áreas escolares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Alonso, A. D. (2016). *Visión por computadora: identificación, clasificación y seguimiento de objetos*. CIUDAD DEL ESTE: FPUNE.
- Álvarez Mendoza, C. I., & Padilla Almeida, O. (2019). Estimación de la contaminación del aire por PM10 en Quito a través de índices ambientales con imágenes LANDSAT ETM+. *Revista Cartográfica*, 92.
- AMARILLA, M., DEVINCENZI, G., RAMOS, R. C., & SCHVASTZMAN, V. (2016). *CONTEO VEHICULAR UTILIZANDO*. From <http://congresodevialidad.org.ar/congreso2016/TRA/TRA-064.pdf>
- Anandhalli, M., & Baligar, V. P. (2018). *SCIENCE DIRECT*. From A novel approach in real-time vehicle detection and tracking using Raspberry Pi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111001681730203X>

- Bradski, G. &. (2000). *OPENCV*. Dr. Dobb's journal of software tools.
- Branch, J., & Olague, G. (2001). La visión por computadora . *Revista Dyna*, 133.
- Calles-García, J., & González-Pérez, P. (2011). *La Biblia del Footprinting*.
- Cruz Toribio, J. O., & Gutierrez Lazares, J. W. (2019). Evaluación Superficial de Vías Urbanas empleando Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT). *Metodos y Materiales*.
- CRUZ, M. d. (2021). LA VISIÓN POR COMPUTADORA Y LAS FUTURAS APLICACIONES TECNOLÓGICAS EN DIVERSOS ESCENARIOS. *Revista de la Academia del Guerra del Ejército Ecuatoriano*, 1.
- Fred L. Mannering, S. S. (2016). *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis*. New Jersey: Wiley.
- j, L. O., J, L. S., J, C., & J, S. (2019). Método de construcción de dígrafos a partir de redes viales reales en mapas digitales con aplicaciones en la búsqueda de rutas óptimas. *Informe de la construcción* , 556.
- Julian, C. (2019, 03 06). *Repositorio institucional , Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. From Ciudad inteligente y sostenible: Singapur, caso de éxito: <https://repository.udistrital.edu.co/items/1312ae19-714e-4e89-92bc-911b9abe4408>
- Merchán, D., & Blanco, E. . (2016). Desafíos para la Movilidad de Carga en Zonas de Alta Congestión.
- Morales Aguilar, S. (n.d.). *Diseno y validacion de un sistema de procesamiento de imagenes para el reconocimiento vehicular en intersecciones viales* . BOGOTA. MTOP. (2003). *Normas de diseño geometrico de carreteras*.
- Normas de diseño geometrio de carreteras*. (2003). Ecuador.
- Ordóñez Díaz, M. M., & Meneses Silva, L. C. (2015). Criterios e indicadores de sostenibilidad en el subsector vial. *Ciencia e Ingeniería Neogranandina*, 2.
- Pencue-Fierro, L., Valencia-Payan, C., & Muñoz-Ordóñez, J. (2020). Sistema de asistencia a la conducción usando visión por computadora y aprendizaje máquina. *Revista facultad de ingeniería* , 54.
- Rafael Cal, M. R. (2018). *Ingeniería de Transito. Fundamentos y aplicaciones*. Mexico: Alfaomega.
- Redmon, J. (2016). *CVF*. From You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection: https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/papers/Redmon_You_Only_Look_CVPR_2016_paper.pdf
- Segarra Lopez, J. F. (2022). Clasificación y conteo vehicular mediante análisis de imágenes. *Revista multidisciplinaria arbitrada de investigación científica*, 313-334.
- Terven, J. C.-E.-G. (2023). *A comprehensive review of yolo architectures in computer vision*.
- Vega, D., & Parra, R. (2014). Caracterización de la intensidad media diaria y de los perfiles horarios del tráfico vehicular. *AVANCES EN CIENCIAS E INGENIERÍA* , 40-44.
- www.elhacker.net. (n.d.). *www.elhacker.net*. From https://www.elhacker.net/trucos_google.html

