



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA DE AUTOMOTRIZ

CARACTERIZACIÓN DE ESTILOS DE CONDUCCIÓN EN RUTAS URBANAS
PREDETERMINADAS BAJO DIVERSAS CONDICIONES DE TRÁFICO

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero(a) Automotriz

AUTOR: JUSTIN RANDY CARRIEL HOLGUIN
CARLOS MIKE MENESES SAVERIO

TUTOR: ING. REINALDO FAVIO RAMÍREZ CAMBA, MGTR

Guayaquil – Ecuador

2024

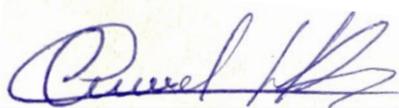
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Justin Randy Carriel Holguin, con documento de identificación N° 0955705959 y Carlos Mike Meneses Saverio con documento de identificación N° 0954511507; manifestamos que:

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

Guayaquil, 30 de Septiembre del año 2024

Atentamente,



Justin Randy Carriel Holguin

0955705959



Carlos Mike Meneses Saverio

0954511507

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

Nosotros, Justin Randy Carriel Holguín con documento de identificación No. 0955705959 y Carlos Mike Meneses Saverio con documento de identificación No. 0954511507 , expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: Caracterización de Estilos de Conducción en Rutas Urbanas Predeterminadas Bajo Diversas Condiciones de Tráfico, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 30 de Septiembre del año 2024

Atentamente,


Justin Randy Carriel Holguín

0955705959


Carlos Mike Meneses Saverio

0954511507

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Reinaldo Favio Ramírez Camba con documento de identificación N° 091582344-7, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **CARACTERIZACIÓN DE ESTILOS DE CONDUCCIÓN EN RUTAS URBANAS PREDETERMINADAS BAJO DIVERSAS CONDICIONES DE TRÁFICO**, realizado por Justin Randy Carriel Holguin, documento de identificación N° 0955705959 y por Carlos Mike Meneses Saverio con documento de identificación N° 0954511507, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 30 de Septiembre del año 2024

Atentamente,



Reinaldo Ramírez Camba

091582344-7

DEDICATORIA

Dedico este proyecto académico a Dios, a mis padres, ya que han sido una parte fundamental de mi vida. Gracias por estar siempre a mi lado, por no ser la familia perfecta, pero sí la familia adecuada y, sin duda, la mejor para mí, al igual a toda mi familia, dedico este trabajo también a mi querida perrita Lazy que, aunque ya no está, fue mi fiel compañera en incontables traspasos a lo largo de mi formación académica. Este logro es también fruto de esfuerzo y dedicación a lo largo de los años.

Justin Randy Carriel Holguín

Dedico el presente proyecto académico, con profundo agradecimiento, a mi madre, a Dios, a mis familiares y compañeros, quienes con su apoyo y aliento me dieron la fortaleza para seguir explotando todo mi potencial y alcanzar mis metas. Dedico también este trabajo a las noches de desvelo, esfuerzo y dedicación que me permitieron llegar a esta instancia final de mi carrera universitaria.

Carlos Mike Meneses Saverio

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, por su incondicional apoyo, paciencia y aliento a lo largo de este proceso. Asimismo, agradezco profundamente a mis docentes, por su guía, dedicación y por compartir conmigo su vasto conocimiento. Sus enseñanzas han sido clave en mi desarrollo académico y personal.

Justin Randy Carriel Holguin

Por la culminación de este proyecto académico, extiendo mis más profundos agradecimientos a quienes fueron mi inspiración, apoyo constante y fortaleza. A mi madre, por su incansable dedicación a guiarme por el camino correcto, levantándose en los momentos más difíciles y mostrándose su apoyo incondicional. A mi padrastro, quien con su generosidad y comprensión se comportó como un verdadero padre, brindándome su respaldo en todo momento. A mis familiares, compañeros y amigos, que estuvieron a mi lado en este largo camino ya recorrido.

Asimismo, expreso mi sincera gratitud a los Ingenieros/Docentes de mi carrera, quienes con paciencia y entusiasmo brindaron sus conocimientos, constituyen la base de mi formación profesional y contribuyendo de manera invaluable a mi desarrollo como futuro ingeniero automotriz.

Carlos Mike Meneses Saverio

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen:	1
1. Introducción	2
2. Materiales y Métodos	4
2.1. Montaje experimental.....	4
2.2. Estimación de Factores y Niveles	4
2.3. Metodología experimental.....	5
2.4. Tamaño de la muestra.....	6
2.5. Caracterización de estilos de conducción mediante técnica threshold-based clasificación.....	8
3. Resultados	8
3.1. Análisis comparativos de ocurrencia de ciclos de conducción.....	12
3.2. Análisis comparativos de factores característicos de las rutas	13
4. Discusión	14
5. Conclusiones	15
Referencias	16

Caracterización de estilos de conducción en rutas urbanas predefinidas bajo diversas condiciones de tráfico

Justin Randy Carriel Holguin¹, Carlos Mike Meneses Saverio², Reinaldo Ramírez Camba³

¹ Universidad Politécnica Salesiana; Jcarrielh@est.ups.edu.ec

² Universidad Politécnica Salesiana; cmeneses1@est.ups.edu.ec

³ Universidad Politécnica Salesiana; rramirez@ups.edu.ec

* Correspondencia: mikemeneses14@gmail.com; justincarriel2000@gmail.com

Resumen:

Este estudio tiene como objetivo caracterizar los estilos de conducción en rutas urbanas predeterminadas bajo diversas condiciones de tráfico, identificando los factores del entorno que influyen en el comportamiento al volante, recopilando datos característicos de conducción y analizando parámetros claves. Para lograr esto, se emplean tecnologías OBD-II y GPS para monitorear parámetros esenciales como la velocidad, las RPM, la aceleración y la posición del acelerador en cuatro rutas distintas, durante períodos de tráfico pico y moderado. Además, los datos se recopilan en varios intervalos de tiempo para tener en cuenta las variaciones en la densidad del tráfico y las condiciones del entorno. Se utiliza un sistema de clasificación basado en umbrales para diferenciar los comportamientos de conducción en estilos normal, moderado y agresivo. El estudio revela que la densidad del tráfico, el tipo de ruta y las intersecciones son los principales factores ambientales que afectan el comportamiento de los conductores. En condiciones de tráfico pico, los conductores muestran patrones conservadores de "arranque y frenada", mientras que, en condiciones de tráfico moderado, se observan aceleraciones más agresivas y mayores velocidades.

Palabras clave: Estilos de conducción; Condiciones del tráfico; OBD-II; Monitorización GPS; Rutas urbanas.

Abstract: This study aims to characterize driving styles on predetermined urban routes under various traffic conditions by identifying the relevant environmental factors that influence driving behavior, collecting characteristic driving data, and analyzing driving parameters. To achieve this, OBD-II and GPS technologies are employed to monitor key driving parameters such as speed, RPM, and throttle position across four distinct routes during periods of peak and moderate traffic. Data are collected over multiple time intervals to account for variations in traffic density and environmental conditions. A threshold-based classification system is used to differentiate driving behaviors into normal, moderate, and aggressive styles. The study reveals that traffic density, route type, and intersections are the primary environmental factors influencing driving behavior. During peak traffic, drivers exhibit conservative "starting and braking" patterns, while moderate traffic conditions lead to more aggressive acceleration and higher speeds.

Citation: To be added by editorial staff during production.

Academic Editor: Firstname Lastname

Received: date

Revised: date

Accepted: date

Published: date



Copyright: © 2023 por los autores. Presentado para su posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de Creative Commons Attribution license.

Keywords: Driving styles; Traffic conditions; OBD-II; GPS monitoring; Urban routes.

1. Introducción

El rápido crecimiento de la población y el desarrollo urbano en Guayaquil han llevado a un aumento significativo en el número de vehículos en las carreteras; se estima que la flota vehicular en Guayaquil ha aumentado a una tasa anual promedio del 10% durante los últimos cinco años [1]. Según la AEADE (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador) el parque automotor en Guayas aumenta de manera drástica cada año, donde reporta 37.748 unidades vendidas en 2023, lo que representa el 28,5% del total nacional [2]. En el mismo periodo, las estadísticas de la Agencia Nacional de Tránsito reportan 7.467 siniestros de tránsito, de los cuales el 75% se deben a comportamientos imprudentes del conductor como el exceso de velocidad, conducir desatento, irrespetar señales de tránsito, realizar cambios bruscos de carril, entre otros [3].

Esta situación subraya la importancia de entender cómo los conductores ajustan sus estilos de conducción en respuesta a las diversas condiciones de tráfico, un aspecto necesario para mejorar la seguridad vial y reducir las emisiones de CO₂. Según la Organización Mundial de la Salud, se espera que los accidentes de tráfico se conviertan en la quinta causa principal de mortalidad para el año 2030 [4]. En particular, la ciudad de Guayaquil ha experimentado un notable incremento vehicular, planteando desafíos únicos en términos de gestión del tráfico y seguridad vial [5], [6].

La identificación de estilos de conducción en rutas urbanas predeterminadas bajo diversas condiciones de tráfico es fundamental para comprender el comportamiento de los conductores y mejorar la seguridad vial [7]. De hecho, las investigaciones han revelado una considerable variabilidad en el comportamiento de los conductores dependiendo de factores como el tipo de vía, la densidad del tráfico y las condiciones ambientales [8]. Por ejemplo, se ha demostrado que los estilos de conducción agresivos incrementan el riesgo de accidentes en áreas urbanas hasta en un 28% [9].

Asimismo, el análisis de datos de aceleración revela que los conductores muestran una aceleración hasta un 15% mayor en autopistas en comparación con vías urbanas [8]. Además, las condiciones de tráfico en horas pico provocan un comportamiento de conducción más conservador, disminuyendo las maniobras de cambio de carril en aproximadamente un 20% [10]. Comprender estos patrones es necesario para el desarrollo de sistemas avanzados de asistencia al conductor y la mejora de la eficiencia del flujo vehicular.

En cuanto a la monitorización, los estilos de conducción en rutas urbanas predeterminadas bajo diversas condiciones de tráfico requieren la integración de tecnologías avanzadas como el OBD-II (Diagnóstico a Bordo) y el GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para la recolección de datos en tiempo real. Específicamente, el OBD-II proporciona métricas de rendimiento del vehículo como velocidad, aceleración, carga del motor y consumo de combustible, que son esenciales para evaluar los comportamientos al volante [11].

Por su parte, el GPS permite un seguimiento preciso de los movimientos del vehículo, lo que facilita el análisis de los patrones de conducción en relación con la ubicación y las condiciones de la vía [12]. En conjunto, la combinación de estas tecnologías mejora la capacidad para caracterizar los estilos de conducción al correlacionar los datos del vehículo con factores espaciales y ambientales, como la densidad del tráfico y el tipo de carretera [13].

En efecto, tanto el OBD-II como el GPS son esenciales para el desarrollo de modelos de aprendizaje automático que clasifiquen los comportamientos de conducción en categorías como agresivo, normal y moderado. Además, la integración del aprendizaje profundo con los datos de OBD-II puede mejorar las predicciones de consumo de combustible con una precisión superior al 96%, lo cual es fundamental para aplicaciones como la conducción ecológica y las evaluaciones de seguridad vial [14].

A su vez, estos sistemas también contribuyen a los sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS) al proporcionar retroalimentación en tiempo real sobre comportamientos peligrosos, como frenadas repentinas o exceso de velocidad [15]. Por último, las investigaciones han demostrado que combinar los datos de GPS y OBD-II mejora la

capacidad de detectar eventos de conducción peligrosa en un 90%, lo que incrementa notablemente la seguridad en las carreteras [7].

Este estudio se centra en analizar los estilos de conducción en rutas urbanas bajo diversas condiciones de tráfico. En ciudades con alta congestión vehicular, como Guayaquil, la manera en que los conductores responden a las circunstancias del tráfico tiene un impacto directo en la seguridad vial y el medio ambiente. Durante la investigación, se recopilan datos en tiempo real sobre las aceleraciones, RPM, TPS y control de la velocidad por parte de los conductores. El objetivo es identificar patrones que muestren cómo las características de las vías y las condiciones de tráfico influyen en las decisiones al volante, como se ilustra en la Figura 1 que ofrece una perspectiva detallada sobre los comportamientos de conducción en entornos urbanos.

La relevancia de este análisis reside en su potencial para mejorar tanto la seguridad como la sostenibilidad. En un escenario donde los accidentes viales y las emisiones de CO2 son temas de creciente preocupación, identificar tendencias en los estilos de conducción puede ayudar a desarrollar estrategias que aumenten la eficiencia y minimicen los riesgos. Los resultados del estudio permitirán sugerir mejoras en la infraestructura vial y en la gestión del tráfico, promoviendo una movilidad más eficiente y fomentando hábitos de conducción más seguros y sostenibles.

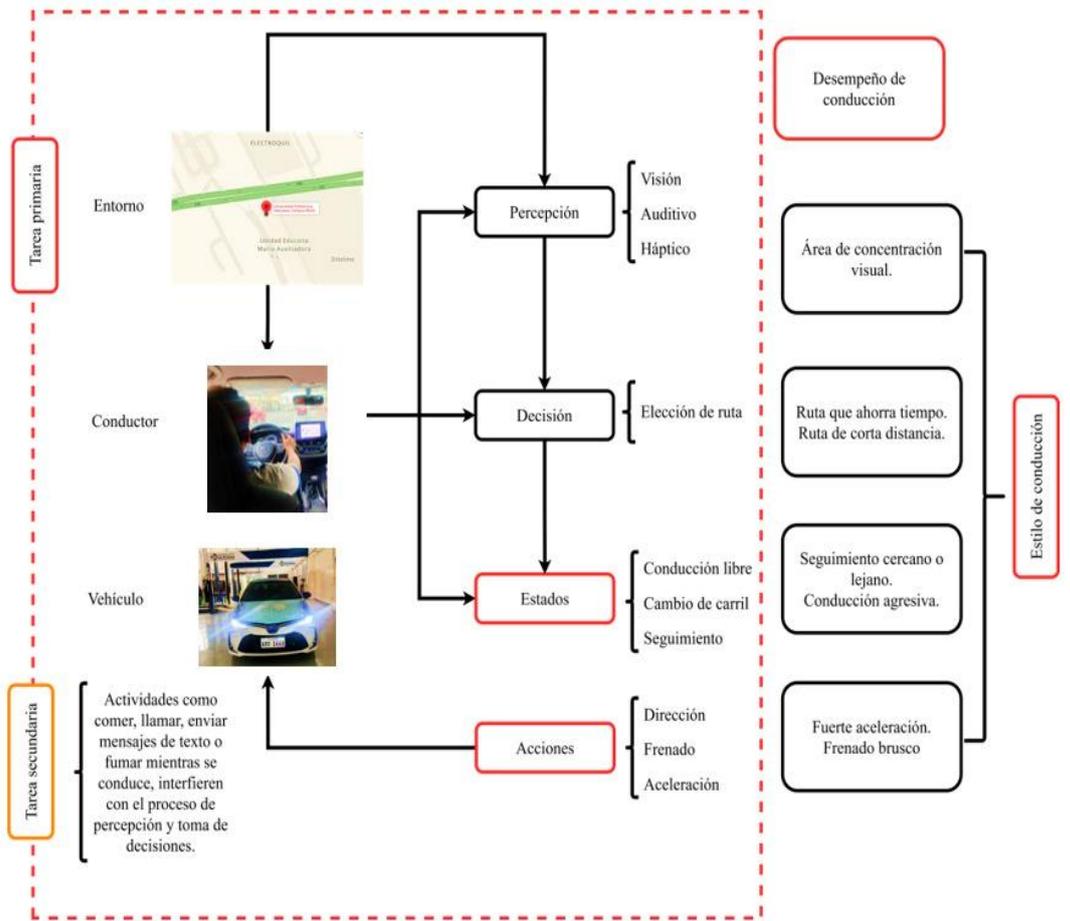


Figura 1. Problema asociado a los estilos de conducción

2. Materiales y Métodos

2.1. Montaje experimental

Como se muestra en la Figura 2, el montaje experimental incluye el uso de un módulo OBDLink y un registrador GPS para la recopilación de datos. Específicamente, el OBDLink MX+ se conecta al puerto OBD-II del vehículo, ubicado cerca del área de los pies del conductor, y se sincroniza con el software OBDwiz para monitorear en tiempo real parámetros del vehículo, como la velocidad, las revoluciones del motor (RPM) y la posición del acelerador (TPS). Por otro lado, el registrador GPS Logger se coloca en el salpicadero o en el parabrisas para capturar los datos de ubicación, asegurando un seguimiento preciso de las rutas del vehículo durante el experimento.

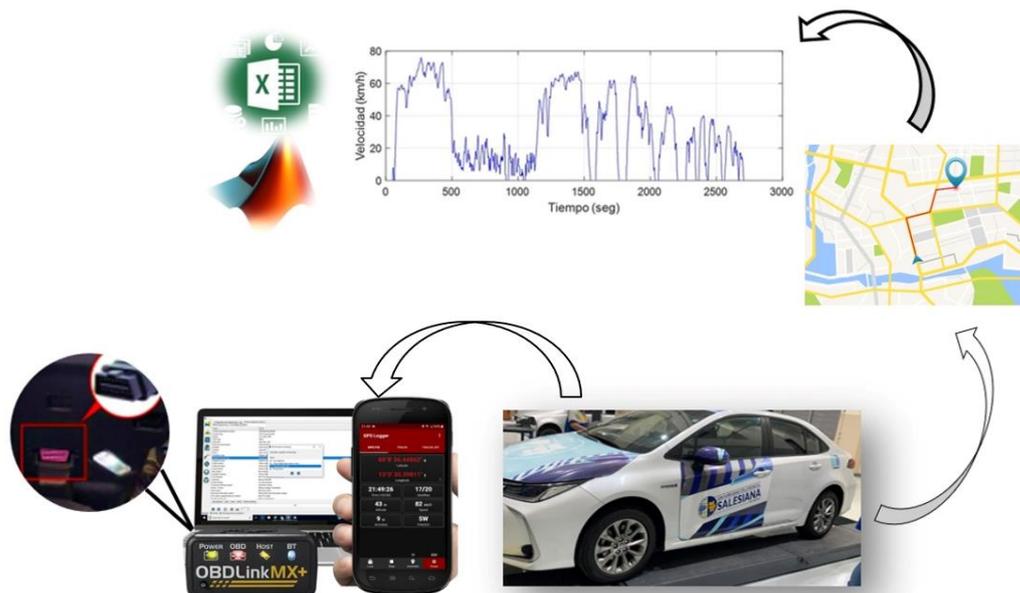


Figura 2. Montaje experimental del estudio

2.2. Estimación de Factores y Niveles

Se realizó un diseño factorial, en donde se busca la interacción de los factores y niveles que se requieren para el desarrollo del experimento, se utilizó el Software Minitab mediante la herramienta de estadísticas, seleccionando el diseño factorial DOE [16], para obtener la matriz del diseño experimental completo. En la Tabla 1, se observa que se determinaron 4 rutas y 2 niveles de tráfico característicos, para representar condiciones específicas de manejo, en áreas urbanas y carreteras de alta velocidad.

Tabla 1. Diseño factorial de múltiples niveles

Factores	Niveles	Valores de Niveles			
		Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 4
Rutas	4	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 4
Niveles de Tráfico	2	Tráfico Pico		Tráfico Moderado	

En la Figura 3, se obtuvo como resultado estos factores combinados generaron 8 recorridos, donde se definen los factores: Rutas (4 niveles) y Niveles de Tráfico (2 niveles), para capturar la variabilidad de las condiciones reales.

Resumen del diseño

Factores: 2
Corridos base: 8 Total de corridas: 8

Figura 3. Resumen del diseño factorial completo

2.3. Metodología experimental.

En cuanto a las rutas, descritas en la Tabla 2, tienen un punto de inicio y un destino específico, alternando entre los campus Centenario y María Auxiliadora. Específicamente, las rutas 1 y 2 recorren la Vía Perimetral, mientras que las rutas 3 y 4 transitan por la Avenida Portete, lo que permite un análisis más amplio de los estilos de conducción en entornos urbanos. La selección de estas rutas se justifica por la variedad de condiciones de tráfico y tipos de vías, así como por la disponibilidad de datos detallados sobre los vehículos, según el estudio descrito en [17], [18]. Además, la Agencia de Tránsito y Movilidad de Guayaquil destaca estas áreas por su elevado flujo vehicular durante las horas pico, lo que refuerza la importancia de analizar estos períodos para la recolección de datos [19].

Tabla 2. Rutas planteadas para las pruebas

Rutas	Origen	Destino	Vía
Ruta 1	Campus Centenario	Campus Ma. Auxiliadora	Vía Perimetral
Ruta 2	Campus Ma. Auxiliadora	Campus Centenario	Vía Perimetral
Ruta 3	Campus Centenario	Campus Ma. Auxiliadora	Av. Portete
Ruta 4	Campus Ma. Auxiliadora	Campus Centenario	Av. Portete

La metodología experimental se centra en la caracterización de estilos de conducción a lo largo de cuatro rutas predeterminadas, con la recolección de datos en condiciones tanto de tráfico pico y moderado. Como se indica en la Tabla 3, los ocho intervalos de tiempo asignados para la recopilación de datos se distribuyen de manera equitativa entre estas condiciones de tráfico. Por ejemplo, en tráfico pico se estudia las rutas 1, 2 entre las 7:00 AM y 9:00 AM, las rutas 3 y 4 entre las 17:00 PM y las 19:00 PM, mientras que en tráfico moderado se estudia las rutas 1 y 2 entre las 10:00 AM y las 12:00 PM, las rutas 3 y 4 entre las 14:00 PM y las 16:00 PM. Este ciclo se repite a lo largo del día para obtener una representación exhaustiva del comportamiento de los conductores, siguiendo los períodos de mayor tráfico que identifica el estudio expuesto en [1], [17].

Tabla 3. Horarios de tráfico planteados para pruebas

Rutas	Hora inicio	Hora fin	Descripción de la ruta
Ruta 1	7:00:00	7:40:00	Tráfico Pico
	10:00:00	10:40:00	Tráfico Moderado
Ruta 2	8:00:00	8:40:00	Tráfico Pico
	11:00:00	11:40:00	Tráfico Moderado
Ruta 3	14:00:00	14:40:00	Tráfico Moderado
	17:00:00	17:50:00	Tráfico Pico
Ruta 4	14:00:00	14:40:00	Tráfico Moderado
	18:00:00	18:50:00	Tráfico Pico

Respecto al protocolo de prueba, este sigue un flujo estructurado en el que se planifican las rutas y se identifican los factores relevantes del entorno antes de iniciar la recolección de datos, como se observa en la Figura 4. Posteriormente, una vez comprobado el correcto funcionamiento del equipo de registro de datos, se procede a la recolección en tiempo real para cada ruta. Finalmente, los datos se analizan para identificar patrones en los estilos de conducción bajo diversas condiciones de tráfico, asegurando resultados precisos y confiables para el estudio.

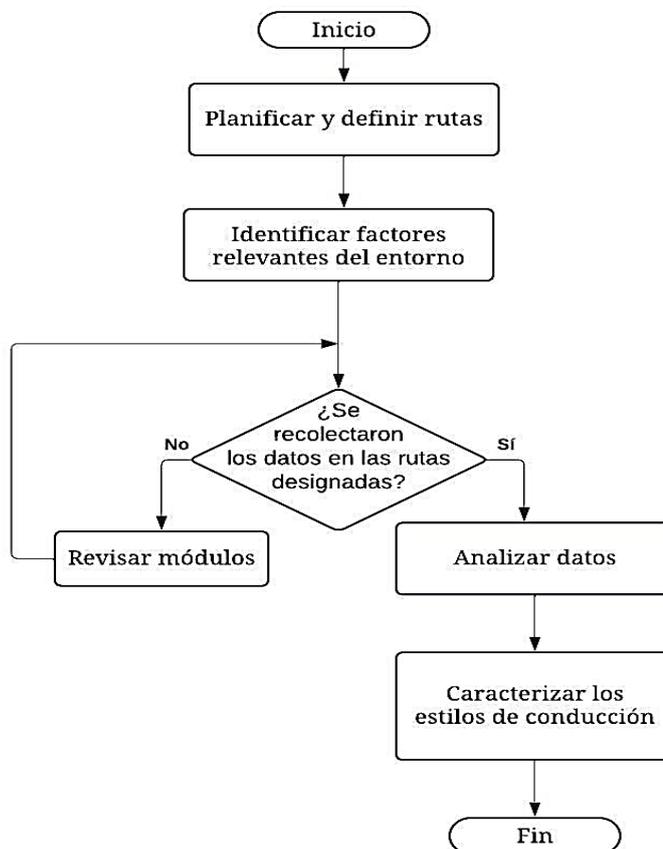


Figura 4. Diagrama de flujo para el diagnóstico de estilos de conducción

2.4. Tamaño de la muestra

Para calcular el número necesario de réplicas, primero se determinan las estadísticas descriptivas de las variables de interés como la velocidad del vehículo (km/h), revoluciones del motor (RPM), posición del acelerador (%) y aceleración (m/s²) a partir de una prueba piloto. En este sentido, estas estadísticas descriptivas incluyen el tamaño de la muestra (N), el error estándar de la media y la desviación estándar, como se muestra en la Tabla 4. Específicamente, la desviación estándar (σ) y el error estándar deseado (E) se utilizan para estimar el tamaño de la muestra (n) mediante la fórmula correspondiente, la cual incluye el valor-z asociado con el nivel de confianza requerido (95%) [20]. Por ejemplo, la desviación estándar de la velocidad del vehículo es 24.3488, y el error estándar de la media es 0.171931.

Tabla 4. Estadística descriptiva de prueba piloto.

Parámetros	Variables			
	Vehicle speed (km/h)	Engine RPM (RPM)	Absolute throttle position (%)	Aceleracion (m/s ²)
N	20056	20056	20056	20056
Error estándar de la media	0.171931	4.90	0.0316632	0.0047645
Desviación Estándar	24.3488	694.622	4.4841	0.638839

Una vez calculado los estadísticos descriptivos para cada variable, se determina el tamaño de la muestra con un nivel de confianza del 95% [21]. De hecho, como se indica en la Tabla 5, el tamaño de muestra para la velocidad del vehículo es de 39043 observaciones.

Tabla 5. Estimación de la muestra

Variable	Tamaño de la Muestra
Vehicle speed (km/h)	39043
Engine RPM (RPM)	39150
Absolute throttle position (%)	38981
Aceleracion (m/s ²)	39018

Al dividir esta cantidad utilizando la formula, número de réplicas = n/N , donde n es el tamaño de muestra estimado y N es el número de observaciones de la prueba piloto (20056), se obtiene un factor de réplica de aproximadamente 1.95, que se redondea a 2. Este mismo cálculo se aplica a todas las variables, lo que lleva a la decisión de utilizar 2 réplicas. Sin embargo, para mejorar la robustez de los datos, los autores optan por aumentar una réplica adicional, totalizando 3 réplicas para el estudio, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Tamaño de la muestra.

Variable	Número de repeticiones	Número de repeticiones
		aproximadas
Vehicle speed (km/h)	1.95	2
Engine RPM (RPM)	1.95	2
Absolute throttle position (%)	1.94	2
Aceleracion (m/s ²)	1.95	2

2.5. Caracterización de estilos de conducción mediante técnica threshold-based clasificación

Los límites para los estilos de conducción, presentados en las Tablas 7 y 8, se establecen con base en parámetros clave como la velocidad, las revoluciones por minuto (RPM), la posición del acelerador y la aceleración. En particular, los umbrales de velocidad están respaldados por estudios como el detallado en [22], que clasifican a los conductores según las variaciones de velocidad y las distancias de seguimiento.

Tabla 7. Límites de Estilos de Conducción en Áreas Urbanas.

Parámetro	Conducción Normal	Conducción Moderada	Conducción Agresiva
Velocidad (km/h)	≤ 50	51 - 70	> 70
RPM	≤ 2500	2501 - 3000	> 3000
Posición del Acelerador (%)	≤ 30	31 - 40	> 40
Aceleración (m/s ²)	≤ 1	1.01 - 1.2	> 1.2

Asimismo, los límites de RPM se basan en la investigación de Shahverdy [23], que analiza el papel de las RPM en la detección de comportamientos como la conducción agresiva y distraída. Por otro lado, los valores de la posición del acelerador se establecen en función de los hallazgos de Massoud [24], que relaciona el uso del acelerador con la eficiencia del combustible y el estilo de conducción. Además, los umbrales de aceleración se determinan utilizando la investigación de Graba [25], que examina la relación entre la intensidad de la aceleración y el consumo energético.

Tabla 8. Límites de Estilos de Conducción en Áreas Perimetrales.

Parámetro	Conducción Normal	Conducción Moderada	Conducción Agresiva
Velocidad (km/h)	≤ 90	91 - 110	> 110
RPM	≤ 3000	3001 - 3500	> 3500
Posición del Acelerador (%)	≤ 40	41 - 50	> 50
Aceleración (m/s ²)	≤ 1.2	1.21 - 1.5	> 1.5

3. Resultados

El análisis del ciclo de conducción y la caracterización del estilo de conducción en cada momento del ciclo se realizan con el objetivo de evaluar los resultados. Para ello, se considera el valor mínimo del error relativo para cada ruta a lo largo de las tres réplicas obtenidas con el fin de identificar el ciclo de conducción representativo. Este análisis se lleva a cabo para cada nivel de tráfico, lo cual garantiza la precisión en la evaluación del comportamiento al volante. Además, en la Tabla 9 se presenta el resultado del error relativo por ruta, donde resaltan los valores de menor porcentaje s(error relativo). De esta manera, el ciclo de conducción se define minimizando la variabilidad y reflejando las condiciones reales de conducción en diversos niveles de tráfico.

Tabla 9. Error relativo por cada ruta.

Rutas	Niveles de tráfico	Porcentaje de Error Relativo por Ruta		
		Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
Ruta 1	Tráfico Pico	62,927%	52,915%	60,805%
	Tráfico Moderado	81,670%	84,742%	83,944%
Ruta 2	Tráfico Pico	62,886%	56,077%	58,265%
	Tráfico Moderado	73,303%	68,678%	88,477%
Ruta 3	Tráfico Pico	51,019%	46,964%	49,377%
	Tráfico Moderado	72,712%	69,733%	70,105%
Ruta 4	Tráfico Pico	56,064%	53,732%	61,127%
	Tráfico Moderado	55,845%	56,589%	61,326%

En la Figura 5, se describe la caracterización de los estilos de conducción en la Ruta 1, comparativa en tráfico pico y moderado. Los gráficos que comparan la velocidad frente al tiempo revelan cómo varía el comportamiento de los conductores en función del nivel de congestión vehicular. Durante las horas pico, Figura 5(a), se observan mayores fluctuaciones en la velocidad, predominando un estilo de conducción normal (color verde) con algunos picos de conducción agresiva (color rojo), lo que implica frenadas y aceleraciones frecuentes. En contraste, cuando el tráfico es moderado, Figura 5(b), se observan más eventos de conducción agresiva y una mayor consistencia en las aceleraciones. Los mapas ubicados en la parte inferior muestran la distribución espacial de estos estilos de conducción, indicando que en condiciones de tráfico moderado hay más tramos con comportamiento agresivo. Estos resultados muestran que la fluidez del tráfico influye directamente en los estilos de conducción, aumentando la agresividad en situaciones de menor congestión.

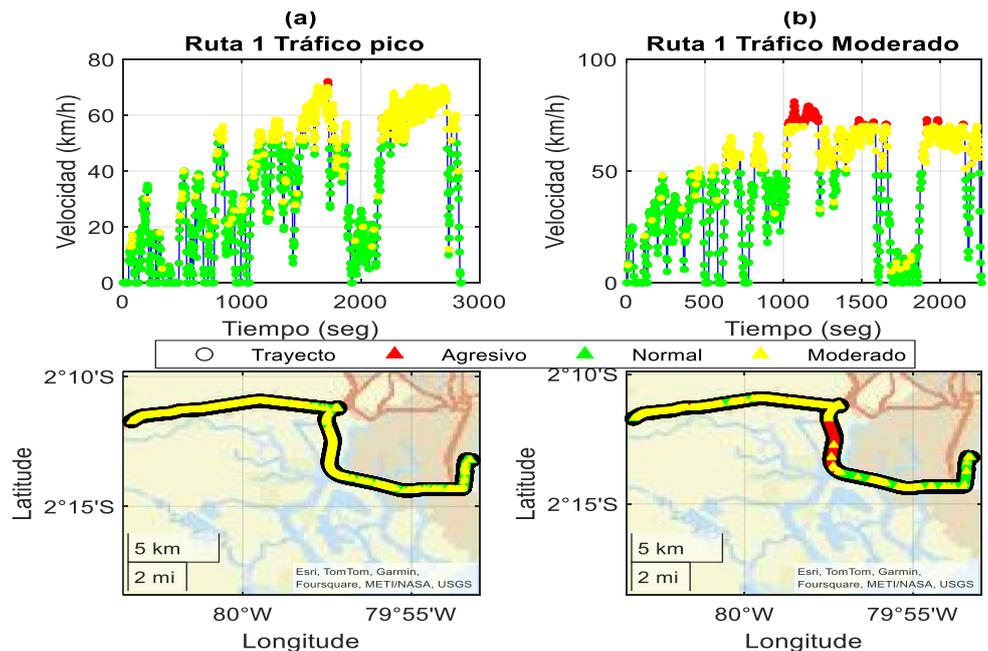


Figura 5. Comparación de estilos de conducción en condiciones de tráfico pico (a) y moderado (b) – Ruta1.

La Figura 6, muestra los datos de la caracterización de los estilos de conducción en la Ruta 2 bajo condiciones de tráfico pico y moderado. Durante el tráfico pico, Figura 6(a), el gráfico de velocidad indica un predominio de conducción normal (color verde), con algunos periodos de conducción moderada (color amarillo) y escasos episodios de conducción agresiva (color rojo), lo que implica un estilo más controlado debido a la congestión vehicular. En condiciones de tráfico moderado, Figura 6(b), se evidencia una mayor variabilidad en los estilos de conducción, con varios tramos de comportamiento agresivo, especialmente en el primer tercio del recorrido. Los mapas inferiores muestran la distribución espacial de estos estilos, destacando que la conducción agresiva se concentra en áreas específicas, mientras que la conducción normal y moderada prevalecen en otras. Esto indica que una mayor fluidez del tráfico permite una mayor diversidad en los comportamientos de los conductores en la Ruta 2.

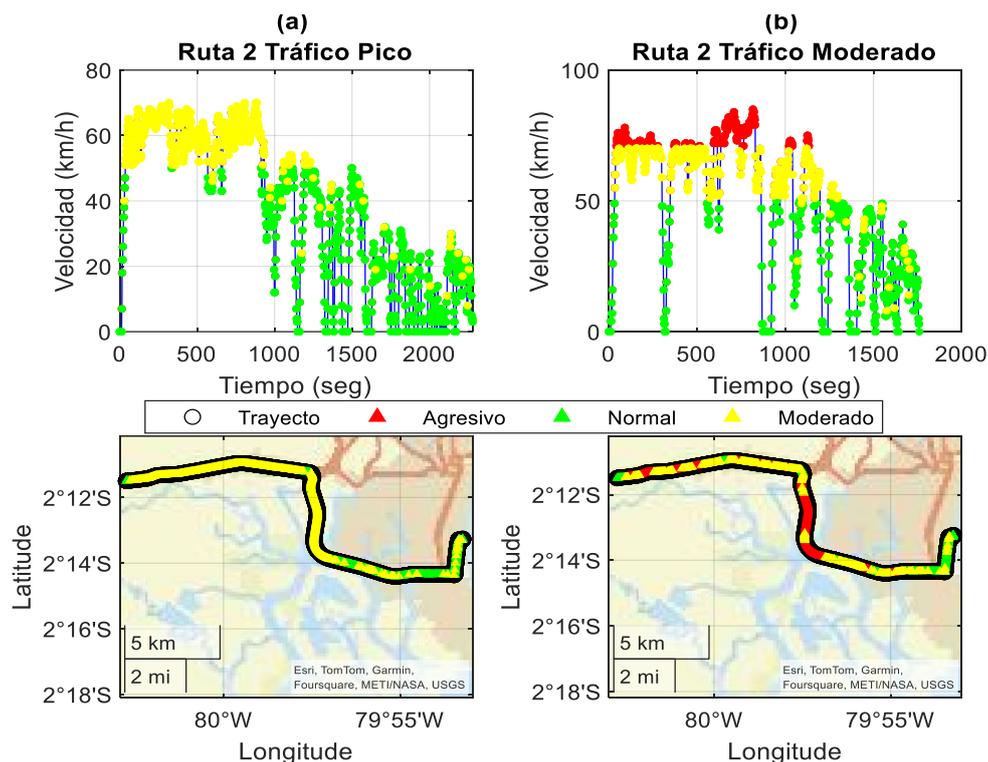


Figura 6. Comparación de estilos de conducción en condiciones de tráfico pico (a) y moderado (b) – Ruta 2.

La Figura 7 muestra la caracterización de los estilos de conducción en la Ruta 3 bajo condiciones de tráfico pico y moderado. En tráfico pico, Figura 7(a), el gráfico de velocidad refleja principalmente un estilo de conducción normal (verde), con algunos periodos de conducción moderada (amarillo) y un breve episodio de conducción agresiva (rojo) al final del recorrido, lo que sugiere una tendencia a aceleraciones más intensas en momentos de menor congestión. En tráfico moderado, Figura 7(b), se observan más eventos de conducción agresiva, especialmente en la fase final del trayecto, así como una mayor variabilidad en los estilos de conducción. Los mapas inferiores muestran la distribución espacial de estos eventos, destacando una mayor presencia de conducción agresiva en zonas específicas de la ruta cuando el tráfico es más fluido, lo que pone de manifiesto la relación entre la fluidez del tráfico y el comportamiento del conductor en la Ruta 3.

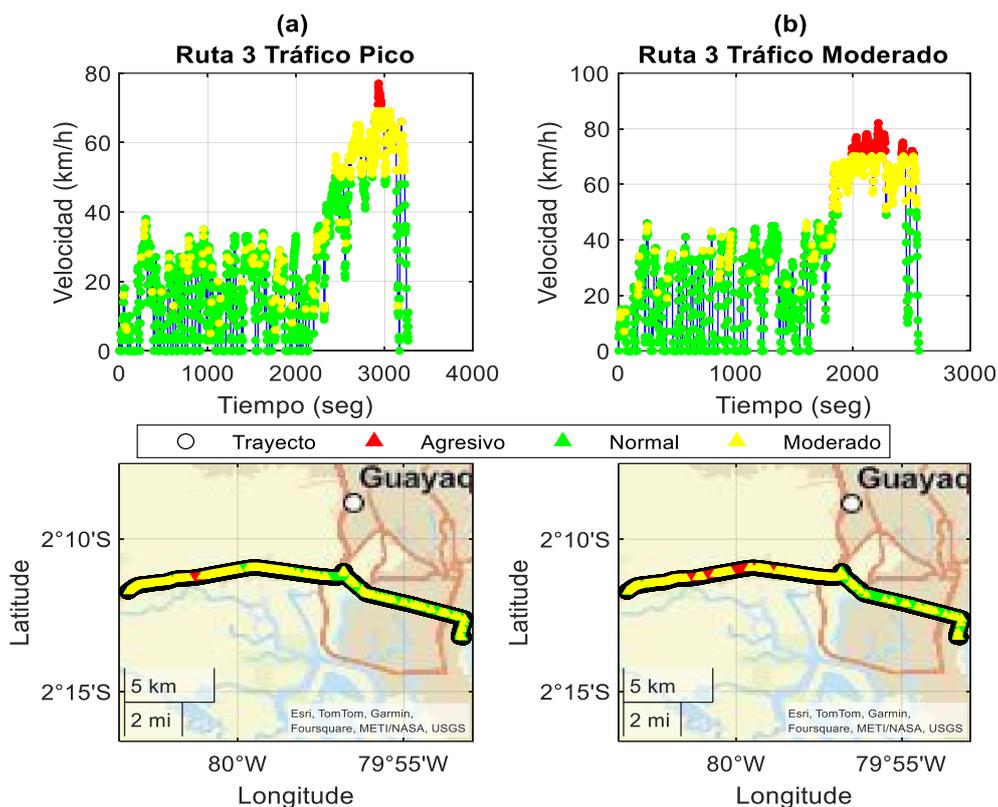


Figura 7. Comparación de estilos de conducción en condiciones de tráfico pico (a) y moderado (b)– Ruta 3.

La Figura 8 ilustra la caracterización de los estilos de conducción en la Ruta 4 bajo condiciones de tráfico pico y moderado. En tráfico pico, Figura 8(a), el gráfico de velocidad muestra un predominio de estilos de conducción normal (verde) y moderado (amarillo), con fluctuaciones notables en la velocidad y casi ningún evento de conducción agresiva (rojo), lo que indica un manejo más controlado debido a la congestión. En cambio, en tráfico moderado, Figura 8(b), se observan varios episodios de conducción agresiva, especialmente al inicio del recorrido, donde la velocidad aumenta bruscamente antes de estabilizarse. Los mapas inferiores representan la distribución espacial de los estilos de conducción, revelando que, en condiciones de tráfico moderado, la conducción agresiva se concentra en los primeros kilómetros de la ruta, mientras que en tráfico pico los estilos de conducción se distribuyen de manera más uniforme. Esto confirma la influencia directa de las condiciones de tráfico sobre los estilos de conducción registrados.

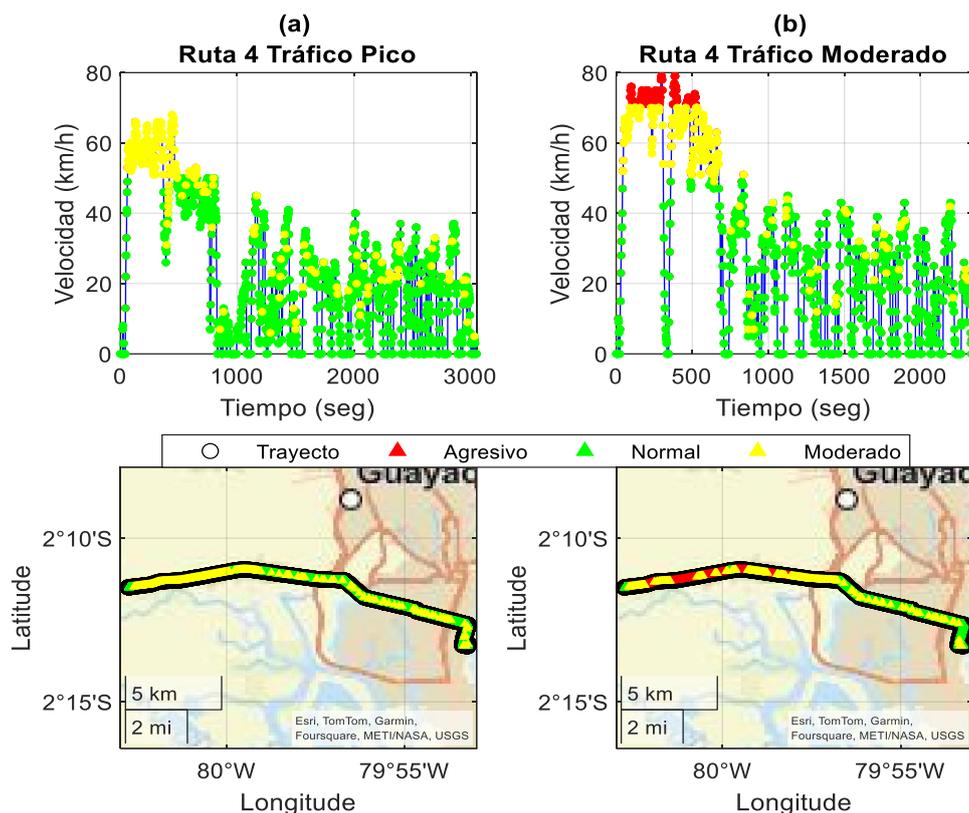


Figura 8. Comparación de estilos de conducción en condiciones de tráfico pico (a) y moderado (b) – Ruta 4.

3.1. Análisis comparativos de ocurrencia de ciclos de conducción

La Tabla 10 y la Figura 9 muestra la frecuencia de los diferentes estilos de conducción (normal, moderado y agresivo) en varias rutas bajo condiciones de tráfico pico y moderado. Se destaca que, en situaciones de tráfico pico, el estilo de conducción normal predomina, representando más del 60% de los eventos, mientras que los comportamientos moderados y agresivos son menos comunes. En tráfico moderado, las rutas 1 y 2 registran un aumento considerable en la conducción moderada, superando el 50% y sobrepasando al estilo normal. Por otro lado, las rutas 3 y 4 en tráfico moderado mantienen una mayor proporción de conducción normal (superior al 65%), aunque también presentan un incremento en la conducción agresiva (hasta un 9,51% en la Ruta 3). Estos resultados muestran que la reducción de la congestión vehicular favorece una conducción más rápida y menos controlada en determinadas rutas, especialmente en aquellas con menor tráfico.

Tabla 10. Estadística de ocurrencia de estilos de conducción.

Rutas	Niveles de tráfico	Ocurrencia de estilo de conducción		
		Normal	Moderado	Agresivo
Ruta 1	Tráfico Pico	60.15 %	33.68 %	6.17 %
	Tráfico Moderado	39.36 %	53.09 %	7.56 %
Ruta 2	Tráfico Pico	54.66 %	38.8 %	6.54 %
	Tráfico Moderado	39.95 %	52.26 %	7.78 %
Ruta 3	Tráfico Pico	71.52 %	22.68 %	5.8 %
	Tráfico Moderado	65.04 %	25.45 %	9.51 %
Ruta 4	Tráfico Pico	71.45 %	22.69 %	5.86 %
	Tráfico Moderado	66.45 %	25.94 %	7.61 %

Ocurrencia de Estilos de Conducción

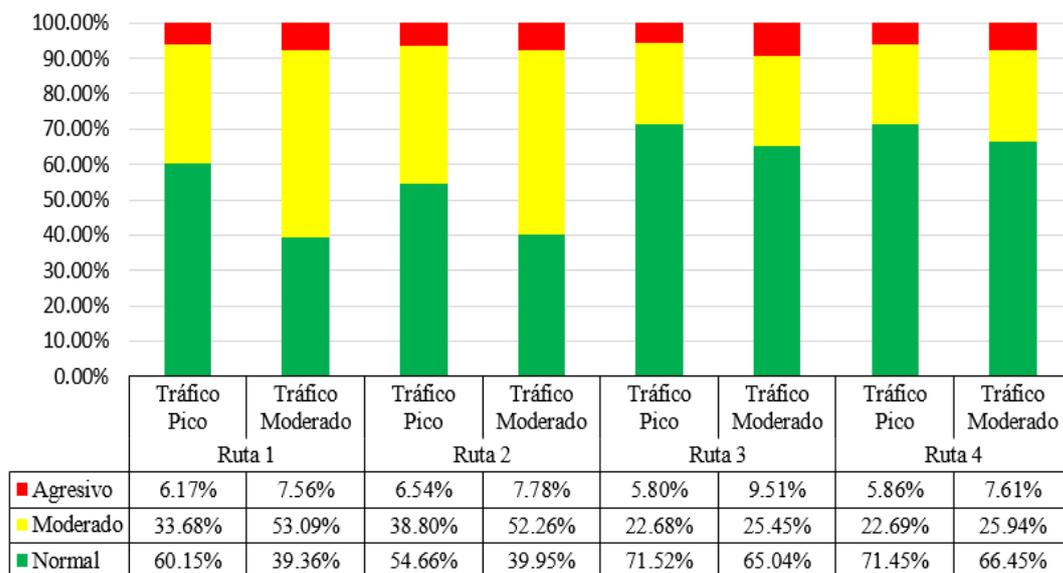


Figura 9. Frecuencia de ocurrencia de estilos de conducción por ruta.

3.2. Análisis comparativos de factores característicos de las rutas

La Figura 10 y la Tabla 11 muestran cómo tanto el nivel de tráfico como el tipo de carretera (urbana o extraurbana) impactan significativamente en los estilos de conducción. En primer lugar, en áreas urbanas, el estilo de conducción predominante es el normal, especialmente en condiciones de tráfico intenso, donde se supera el 80% en todas las rutas, alcanzando hasta un 89,52% en la Ruta 1. Por otro lado, en las carreteras extraurbanas, los estilos de conducción son más variados. Bajo condiciones de tráfico moderado, el estilo de conducción moderado aumenta considerablemente en las vías extraurbanas, llegando a un 77,74% en la Ruta 3. De manera similar, el estilo agresivo se presenta con mayor frecuencia en tramos extraurbanos con tráfico pico, como ocurre en la Ruta 4, donde alcanza un 39,87%. Estos datos muestran que un menor nivel de tráfico y menos restricciones en carreteras extraurbanas promueven conductas más agresivas. En contraste, en áreas urbanas, la congestión vehicular reduce la posibilidad de este tipo de conducción, favoreciendo una conducción más normal y controlada.

Frecuencia de Ocurrencia de Estilos de Conducción

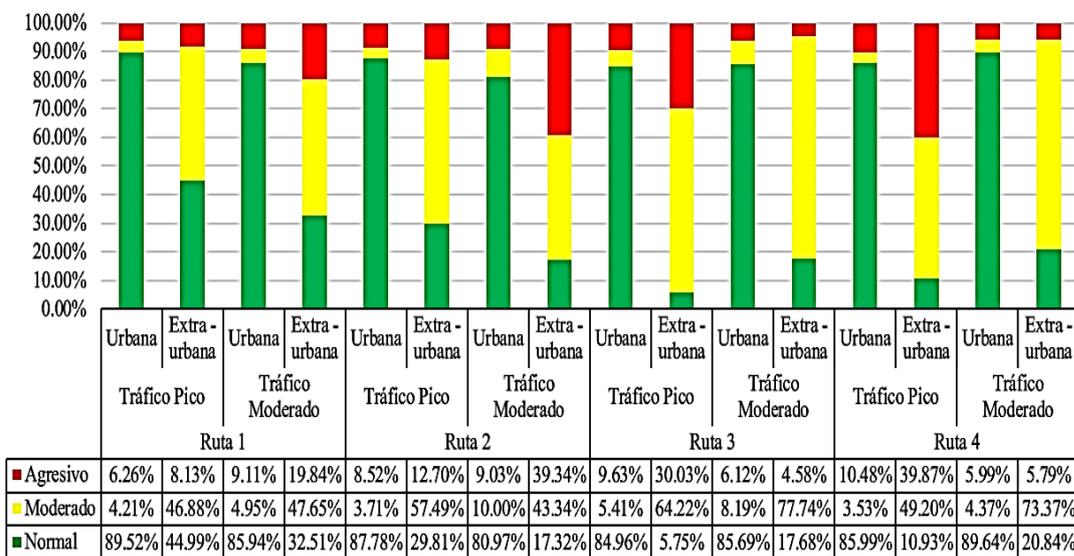


Figura 10. Frecuencia de ocurrencia de estilos de conducción por tipo de ruta.

Tabla 11. Estadística de ocurrencia de estilos de conducción por tipo de vía

	Tráfico Pico		Tráfico Moderado	
	Urbana	Extra - urbana	Urbana	Extra - urbana
Ruta 1				
Normal	89.52%	44.99%	85.94%	32.51%
Moderado	4.21%	46.88%	4.95%	47.65%
Agresivo	6.26%	8.13%	9.11%	19.84%
Ruta 2				
Normal	87.78%	29.81%	80.97%	17.32%
Moderado	3.71%	57.49%	10.00%	43.34%
Agresivo	8.52%	12.70%	9.03%	39.34%
Ruta 3				
Normal	84.96%	5.75%	85.69%	17.68%
Moderado	5.41%	64.22%	8.19%	77.74%
Agresivo	9.63%	30.03%	6.12%	4.58%
Ruta 4				
Normal	85.99%	10.93%	89.64%	20.84%
Moderado	3.53%	49.20%	4.37%	73.37%
Agresivo	10.48%	39.87%	5.99%	5.79%

4. Discusión

Los resultados obtenidos indican que los estilos de conducción varían significativamente en función de la ruta, el tipo de vía y las condiciones de tráfico, con un énfasis particular en la velocidad de los vehículos. En primer lugar, en las rutas urbanas, el estilo de conducción normal predomina durante las horas pico, alcanzando hasta un 89,52% en la Ruta 1, lo que refleja una tendencia a mantener velocidades moderadas debido a la congestión vehicular. En cambio, cuando el tráfico es moderado, el estilo de conducción moderada se incrementa ligeramente en todas las rutas. Esto muestra que, al disminuir la congestión, los conductores tienden a aumentar la velocidad, adoptando un estilo de conducción menos controlado. Por su parte, en las rutas extraurbanas, los comportamientos son más variados, observándose un incremento significativo en la conducción agresiva, particularmente bajo condiciones de tráfico pico, donde las mayores velocidades se asocian con conductas más arriesgadas, alcanzando un 39,87% en la Ruta 4.

Estos hallazgos coinciden con estudios anteriores que relacionan una menor densidad de tráfico con un incremento en la velocidad y en la agresividad al conducir. Investigaciones previas, como las de Massoud [24] y Graba [25], respaldan la conclusión de que la fluidez del tráfico en vías extraurbanas facilita comportamientos más agresivos, lo cual también se ha observado en las rutas de este estudio, donde la conducción agresiva es más frecuente en áreas con menor tráfico. De manera que, esto demuestra que las vías extraurbanas, combinadas con menores niveles de tráfico, fomentan conductas menos controladas, mientras que, en las áreas urbanas, la congestión vehicular impone un estilo de conducción más regulado y a velocidades reducidas.

5. Conclusiones

En este estudio se demuestra que los estilos de conducción varían significativamente según las condiciones de tráfico y el tipo de vía. En áreas urbanas, el estilo de conducción predominante es el normal durante condiciones de tráfico pico, mientras que, en situaciones de menor congestión, los conductores tienden a adoptar comportamientos más agresivos. La caracterización de los estilos de conducción permitió identificar cómo el aumento en la fluidez vehicular se asocia con una mayor velocidad y comportamientos de conducción menos controlados, especialmente en rutas extraurbanas.

Por otro lado, se determinó que los factores ambientales clave que influyen en el comportamiento de conducción son la densidad del tráfico y el tipo de vía. La congestión vehicular en áreas urbanas promueve un estilo de conducción más regulado y a velocidades más bajas, mientras que, en rutas extraurbanas con menos tráfico, los conductores tienden a adoptar comportamientos más agresivos, reflejados en velocidades más altas y un mayor porcentaje de conducción moderada y agresiva.

Asimismo, la recopilación de datos permitió obtener un panorama detallado del comportamiento de conducción, destacando variaciones significativas en la velocidad según el nivel de tráfico. En condiciones de tráfico moderado, se observó un incremento en la conducción agresiva en rutas extraurbanas, mientras que en áreas urbanas el estilo de conducción se mantuvo mayormente normal, lo que confirma la influencia directa de las condiciones del entorno en la dinámica de conducción.

Finalmente, el análisis de los parámetros de conducción mostró que las velocidades promedio y la ocurrencia de estilos de conducción agresiva aumentan en condiciones de tráfico moderado, particularmente en rutas extraurbanas. Este análisis cuantitativo validó que una menor densidad de tráfico y vías con menos restricciones permiten un incremento en los comportamientos de riesgo, mientras que en tráfico denso se observan estilos más conservadores y una mayor regularidad en la velocidad.

347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373

Referencias

- [1] M. Patiño-Aroca, A. Parra, and R. Borge, "On-road vehicle emission inventory and its spatial and temporal distribution in the city of Guayaquil, Ecuador," *Science of the Total Environment*, vol. 848, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157664.
- [2] AEADE, "Anuario 2023," Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2023. [Online]. Available: <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2024/03/AEADE-2023.pdf>
- [3] ANT, "Visor de siniestralidad – Estadísticas – Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador – ANT." Accessed: Jun. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.ant.gob.ec/visor-de-siniestralidad-estadisticas/>
- [4] R. Hu, F. Zhang, Z. Peng, and Y. Pei, "The NO_x emission characteristics of gasoline vehicles during transient driving cycles," *Transp Res D Transp Environ*, vol. 109, p. 103386, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.trd.2022.103386.
- [5] T. Ziad, A. Verdezoto, F. Felix, C. Montes, O. Beatriz, and R. Medina, "ANÁLISIS DEL CONGESTIONAMIENTO VEHICULAR PARA EL MEJORAMIENTO DE VÍA PRINCIPAL EN GUAYAQUIL-ECUADOR ANALYSIS OF TRAFFIC CONGESTION FOR THE IMPROVEMENT OF A MAIN ROAD IN GUAYAQUIL-ECUADOR," *Artículo de Investigación*, vol. 21, no. 2, pp. 201602–4730, 2020, doi: 10.13140/RG.2.2.21905.04960.
- [6] J. Li, X. Wu, J. Fan, Y. Liu, and M. Xu, "Overcoming driving challenges in complex urban traffic: A multi-objective eco-driving strategy via safety model based reinforcement learning," *Energy*, vol. 284, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.128517.
- [7] H. A. Ameen *et al.*, "Identification of driving safety profiles in vehicle to vehicle communication system based on vehicle obd information," *Information (Switzerland)*, vol. 12, no. 5, 2021, doi: 10.3390/info12050194.
- [8] R. S. Jurecki and T. L. Stańczyk, "A methodology for evaluating driving styles in various road conditions," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 12, Jun. 2021, doi: 10.3390/en14123570.
- [9] Y. Ma, W. Li, K. Tang, Z. Zhang, and S. Chen, "Driving style recognition and comparisons among driving tasks based on driver behavior in the online car-hailing industry," *Accid Anal Prev*, vol. 154, May 2021, doi: 10.1016/j.aap.2021.106096.
- [10] J. Zhang, Y. Zhou, and N. Lyu, "Classification of Driving Modes Based on Driving Styles under Natural Environment," in *2023 7th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, IEEE, Aug. 2023, pp. 340–348. doi: 10.1109/ICTIS60134.2023.10243702.
- [11] A. PUCHALSKI and I. KOMORSKA, "DRIVING STYLE ANALYSIS AND DRIVER CLASSIFICATION USING OBD DATA OF A HYBRID ELECTRIC VEHICLE," *Transport Problems*, vol. 15, no. 4, Part 1, pp. 83–94, Dec. 2020, doi: 10.21307/tp-2020-050.
- [12] C. P. Purnomo, R. Munadi, Istikmal, A. Widodo, S. Kuntadi, and R. H. Putra, "Digitalization Of Public Vehicles Using On Board Diagnostic-II (OBD-II)," in *2023 International Conference On Cyber Management And Engineering (CyMaEn)*, IEEE, Jan. 2023, pp. 50–54. doi: 10.1109/CyMaEn57228.2023.10051080.
- [13] D. Rimpas and A. Papadakis, "Driving Events Identification and Operational Parameters Correlation based on the Analysis of OBD-II Timeseries," in *Proceedings of the 8th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems*, SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2022, pp. 257–264. doi: 10.5220/0011036400003191.
- [14] M.-H. Yen, S.-L. Tian, Y.-T. Lin, C.-W. Yang, and C.-C. Chen, "Combining a Universal OBD-II Module with Deep Learning to Develop an Eco-Driving Analysis System," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 10, p. 4481, May 2021, doi: 10.3390/app11104481.
- [15] A. Khandakar *et al.*, "Portable System for Monitoring and Controlling Driver Behavior and the Use of a Mobile Phone While Driving," *Sensors*, vol. 19, no. 7, p. 1563, Mar. 2019, doi: 10.3390/s19071563.
- [16] M. H. . Kutner, Chris. Nachtsheim, John. Neter, and William. Li, *Applied linear statistical models*. McGraw-Hill Irwin, 2005. Accessed: Sep. 18, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/344587293_Applied_Linear_Statistical_Models
- [17] D. Molina and F. Acuña, "Clasificación de estilos de conducción en el área metropolitana de Bucaramanga con monitoreo a bordo (OBD II) en condiciones reales de carretera," Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2022.
- [18] C. A. Parrales and M. A. Berrones, "Evaluación de los niveles de ruido en los sectores adyacentes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil campus Centenario y campus María Auxiliadora provocado por el tráfico vehicular, mediante el uso de

- instrumentos de medición y comparación con los límites máximos permisibles,” 2023. [Online]. Available: 418
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24725> 419
- [19] D. N. Pesantes and K. D. Gonzalez, “Adquisición y caracterización de datos del vehículo blue drive del laboratorio de movilidad 420
sostenible de la Carrera De Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil,” 2022. [Online]. Availa- 421
ble: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23652> 422
- [20] J. Jiménez, “METODOS ESTADISTICOS,” sefh, Ed., España: sefh, 2018, ch. cap. 10, pp. 125–42. Accessed: Sep. 10, 2024. 423
[Online]. Available: <https://www.sefh.es/bibliotecavirtual/erroresmedicacion/010.pdf> 424
- [21] J. Morales and A. M^a Martínez, “Modelos Estadísticos,” p. 467, May 2021, Accessed: Sep. 10, 2024. [Online]. Available: 425
https://bookdown.org/j_morales/librostat/ 426
- [22] A. Lyu, Z. Zhang, Y. Zhao, and Y. Zhang, “Analysis of driving characteristics of drivers with different car following styles,” in 427
2021 International Conference on Information Control, Electrical Engineering and Rail Transit (ICEERT), IEEE, Oct. 2021, pp. 276– 428
282. doi: 10.1109/ICEERT53919.2021.00058. 429
- [23] M. Shahverdy, M. Fathy, R. Berangi, and M. Sabokrou, “Driver behavior detection and classification using deep convolutional 430
neural networks,” *Expert Syst Appl*, vol. 149, p. 113240, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.eswa.2020.113240. 431
- [24] R. Massoud, F. Bellotti, R. Berta, A. De Gloria, and S. Poslad, “Eco-driving Profiling and Behavioral Shifts Using IoT Vehicular 432
Sensors Combined with Serious Games,” in *2019 IEEE Conference on Games (CoG)*, IEEE, Aug. 2019, pp. 1–8. doi: 433
10.1109/CIG.2019.8847992. 434
- [25] M. Graba, J. Mamala, A. Bieniek, and Z. Sroka, “Impact of the acceleration intensity of a passenger car in a road test on energy 435
consumption,” *Energy*, vol. 226, p. 120429, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.120429. 436
437