



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

EVOLUCIÓN DE LA CONDUCCIÓN ECO DRIVING, EN RUTA DE CICLO COMBINADO, EN UN
VEHÍCULO CATEGORÍA M1 DE CICLO OTTO A 2850 MSNM

Realizado por:

Andrés Fernando Artieda Cadena

Director del proyecto:

Phd. Edilberto Antonio Llanes Cedeño

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO – AUTOMOTRIZ

QUITO, febrero del 2024

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Andrés Fernando Artieda Cadena, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 1715757496, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

Andrés Fernando Artieda Cadena

C.I.: 1715757496

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



1757137037

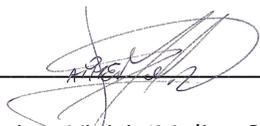
Master Phd. Edilberto Antonio Llanes Cedeño

LOS PROFESORES INFORMANTES:

Jaime Vinicio Molina Osejos, Msc.

PhD.(c) Diana Belén Peralta Zurita Msc.

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.



Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos, Msc.



PhD.(c) Diana Belén Peralta Zurita Msc.

Quito, 20 de febrero de 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Andrés Fernando Artieda Cadena

C.I.: 1715757496

Índice Contenido

Declaración juramentada	ii
Declaración del director de tesis	iii
Declaración de autoría del estudiante	v
Índice Contenido.....	vi
Índice de Tablas	viii
Índice de Figuras.....	ix
Resumen	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	1
Estado del arte.....	4
Adquisición de datos mediante OBDII	4
Efectos de la presión atmosférica sobre los motores de ciclo Otto.....	5
Efectos de rendimiento de motor ante cambio de octanaje de combustible	6
Fuerzas que actúan sobre un vehículo.....	6
Sistema de inyección electrónica	8
Descripción de Eco-Drive	9
Metodología.....	13
Tipo de Investigación	13
Métodos científicos.....	15
<i>Empírico</i>	15
<i>Estadístico:</i>	16
<i>Teóricos</i>	17
Selección de la ruta	17
Selección de la ruta	19
Vehículo de prueba	21
Descripción de combustible	22
Descripción para adquisición de datos con protocolo OBD II.....	23
Descripción adquisición de datos físicos con canister	26

Protocolo de pruebas	27
Resultados	29
Discusión	36
Conclusiones	39
Recomendaciones	41
Referencias bibliográficas	43

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos generales del vehículo.....	22
Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de la gasolina súper.....	23
Tabla 3. Conformación de los tratamientos.....	27
Tabla 4. Datos de pruebas aplicando conducción normal	29
Tabla 5. Datos de pruebas aplicando conducción ECO-DRIVE	30
Tabla 6. ANOVA	35
Tabla 7. Pruebas de Múltiple Rangos.....	35
Tabla 8. Resumen porcentual de disminución de consumo aplicando ECO-DRIVE.....	37

Índice de Figuras

Figura 1. Análisis de fuerzas longitudinales de un vehículo	7
Figura 2. Descripción grafica de maneras de conducción	12
Figura 3. Diagrama de bloque representativo de la investigación.....	18
Figura 4. Ruta escogida para toma de datos	20
Figura 5. Equipo ELM 327.....	24
Figura 6. a) Aplicación para Android “OBD Fusion”. b) Configuración de parámetros en aplicación “OBD Fusion”. c) Exportación de datos de “OBD Fusion” vía correo electrónico.....	25
Figura 7. Canister equipo y conexión.....	26
Figura 8. Flujograma de prueba.....	28
Figura 9. Comparación de tiempo en ruta entre Eco-Drive y conducción normal	30
Figura 10. Comparación de revoluciones promedio entre Eco-Drive y conducción normal	31
Figura 11. Comparación de consumo de combustible entre Eco-Drive y conducción normal	32
Figura 12. Comparación de revoluciones promedio entre Eco-Drive y conducción normal	33
Figura 13 Comparación de consumo de combustible entre Eco-Drive y conducción normal	34

Figura 14. Gráfico comparativo del consumo de combustible en función del modo de conducción..... 36

Figura 15. Gráfico comparativo del consumo de combustible en función del modo de conducción 38

Resumen

En este documento se procede a comparar el consumo de combustible manteniendo un manejo normal, frente al manejo Eco-Drive en un vehículo con motor de combustión interna de ciclo Otto, utilizando gasolina de alto octanaje, en una ruta combinada entre calles en el sector urbano y vías perimetrales para la selección de la mejor alternativa de manejo; mediante un estudio práctico, comparando conducción normal y conducción Eco-Drive que implica un manejo aplicando determinadas características como cambios de marchas a bajas revoluciones, uso de la inercia del vehículo, evitar acelerar y frenar de manera abrupta, procurando así la disminución de consumo de combustible. El estudio se desarrolla en una ruta con una inclinación y altitud promedio de 4.5% y 2835 msnm respectivamente; se realizan diez pruebas en total, cinco con conducción normal y cinco con conducción Eco-Drive, los datos son tomados en ruta con un vehículo de categoría M1 con motor de ciclo Otto de 2000 cc, apoyado con dispositivos externos de toma de mediciones digitales (protocolo OBDII) y físicas (canister), con el fin de relacionarlos datos de velocidad promedio en ruta, posición de pedal de aceleración, revoluciones promedio del motor y evidenciar como estas variables afectan al consumo de combustible, mediante el cálculo porcentual del consumo de combustible, y así mostrar los beneficios obtenidos aplicando el manejo Eco-Drive los cuales resultan en la reducción de consumo en un 33% aplicado a la altura de la ciudad de Quito.

Palabras clave: Ruta de ciclo combinado, Eco Drive, canister, OBD2, economía de combustible, vehículo categoría M1.

Abstract

This document proceeds to compare fuel consumption maintaining normal driving versus Eco-Drive driving in a vehicle with an Otto cycle internal combustion engine, using high-octane gasoline, on a combined route between streets in the urban sector. and perimeter roads for the selection of the best management alternative. This with a practical study between Eco-Drive driving being a management applying certain characteristics such as gear changes at low revolutions, use of the vehicle's inertia, avoiding accelerating and braking energetically, thus seeking to reduce fuel consumption. The study is carried out on a route with an average incline and altitude of 4.5% and 2,835 meters above sea level, respectively. Ten tests are carried out in total, five with normal driving and five with Eco-Drive driving. The data is taken in route with a category vehicle. M1 with a 2000cc high compression Otto cycle engine, supported by external devices for taking digital measurements (OBDII protocol) and physical measurements (canister), so that with the help of Microsoft Excel software the average speed data on the route is related, acceleration pedal position, average engine revolutions and how all of these affect fuel consumption, calculating as a percentage, supported by the aforementioned computational tool, the benefits obtained by applying Eco-Drive management are the reduction of consumption by 33 % applying it correctly at the height of the city of Quito.

Keywords: Combined cycle route, Eco Drive, canister, OBD2, fuel economy.

Introducción

El uso eficiente de la energía que producen los combustibles viene dado por la optimización de los recursos, desde la concepción de un diseño eficiente, una modificación satisfactoria en boceto, hasta la integración entre el usuario y el producto. Todo esto aplicado al correcto funcionamiento de un motor y al uso que el usuario le dé al mismo, hace que el consumo de energía sea menor, reduciendo el consumo de recursos y la cantidad de contaminación generada (Brown, 2001). Los vehículos de transporte de personas y mercadería, propulsados por motores de combustión interna sumados entre si producen más del 30% de la contaminación por gases de efecto invernadero en el planeta. Mientras que los costos de los combustibles aumentan por la alta demanda y los conflictos bélicos que se viven actualmente, los investigadores buscan diversas maneras de minimizar el consumo de uno de uno de los recursos más fundamentales de nuestra época, el petróleo.

A mayores altitudes la combustión de un motor de ciclo Otto es menos eficiente, aumentando el consumo de combustible. Los vehículos se han vuelto indispensables para la movilidad de personas y mercadería, aumentando el parque automotor en todas las ciudades, dando paso a la generación de mayores gases de efecto invernadero y contaminación ambiental.

El parque automotor en la ciudad de Quito ha venido en aumento los últimos años. Por la altura de la ciudad sobre el nivel del mar y las diferentes variantes que se encuentran en las rutas, es necesario analizar cuan beneficioso puede resultar el sistema de manejo Eco-Drive, sobre el consumo de combustible y la disminución de los gases contaminantes emitidos.

Para disminuir el consumo de energías fósiles en el transporte terrestre, se han venido realizando estudios de diferentes índoles, desde equipos electrónicos, limitadores de inyección de combustibles, cajas de cambios CVT, y sobre el modelo de conducción denominado ECO-DRIVE (conducción ecológica). Este tipo de conducción se basa en pasos específicos y condicionantes durante la circulación, este modelo de manejo puede ser aplicado indistintamente en vehículos de alta o baja cilindrada, sin importar año de fabricación, modelo o tipo de tecnología, siempre y cuando tengan motor de combustión interna.

La hipótesis del manejo Eco-Drive es, brindar un ahorro de combustible en todos los vehículos de inyección electrónica, sin necesidad de cambios mecánicos, sino solo cambiando la forma de conducir un vehículo.

Existen diversas formas de evaluar el método de conducción Eco-Drive, en dinamómetro, simuladores computacionales y pruebas de ruta, siendo esta última la más apropiada para obtener datos veraces en la elaboración de un estudio, esto por incluir todos los aspectos de la vida cotidiana como lo son rutas variables, semáforos aleatorios, conductor informado y dispuesto a realizar todos los procedimientos para que el tipo de manejo sea constante (Zhou et al., 2016)(Zhao et al., 2015a).

El método de conducción Eco-Drive puede ser enseñado a cualquier persona, se ha puesto a prueba en flotas de buses enseñando a sus conductores como aplicar el método y se ha podido evidenciar un ahorro de combustible del 9% al 12% (Zarkadoula et al., 2007), además de reducciones de emisiones de gases como NO_x, HC, CO de 5.1 a 45.5% (Zhao et al., 2015b).

En ciudades con gran altitud, es bien sabido que la eficiencia de un motor de combustión interna es menor, dando como resultado un mayor consumo de combustible, aumento de emisión de gases contaminantes y una disminución de potencia. Considerando la topología irregular de la ciudad de Quito, se puede maximizar los beneficios de la aplicación del método de conducción Eco-Drive, ya que por sus grandes cambios de altura existen pendientes donde el conductor no deberá acelerar y podrá economizar combustible (Pezantes Domínguez & Zamora Cabrera, 2015).

Una vez analizados los diferentes aspectos que envuelven al Eco-Drive se plantea el objetivo general:

Comparar el consumo de combustible manteniendo un manejo normal, frente al manejo Eco-Drive en un vehículo con motor de combustión interna de ciclo Otto, utilizando gasolina de alto octanaje, en una ruta combinada entre calles en el sector urbano y vías perimetrales para la selección de la mejor alternativa de manejo.

Para esto se plantean objetivos específicos:

Seleccionar una ruta combinada en la ciudad de Quito por medio de la revisión de estudios realizados por otros investigadores, para aplicarla en la investigación.

Obtener datos en ruta aplicando conducción normal y Eco-Drive con medios digitales y físicos por medio del OBDII y canistel para calcular el consumo promedio de combustible por cada kilómetro recorrido.

Realizar una comparación porcentual de la variación de consumo de combustible entre el manejo normal y Eco-Drive aplicando las herramientas de Microsoft Excel para el análisis de los posibles beneficios del Eco-Drive en rutas combinadas a 2850 msnm.

Hipótesis:

Se espera que, al realizar pruebas en ruta con un vehículo de ciclo Otto de categoría M1, la evaluación comparativa entre un ciclo de conducción Eco-Drive y uno normal revele ventajas significativas en términos de eficiencia de combustible.

Estado del arte

Adquisición de datos mediante OBDII

Los sistemas OBD-II fueron implementados como objetivo de minimizar la contaminación producida por las emisiones de gases, para identificar daños que puedan incrementar las emisiones por encima de los niveles aceptados. Los datos en tiempo real que este protocolo entrega pueden ser interpretados por la ECU para tomar decisiones para mantener un correcto funcionamiento del vehículo. Esta interfaz es clave para mantener la seguridad del vehículo (Cazorla, n.d.).

La adquisición de datos por medio de OBD-II online ha sido utilizada para poder analizar la forma de manejo de usuarios y recomendar de manera efectiva el cambio de hábitos de manejo, todo esto mediante la aplicación de adquisición y procesamiento de datos por un algoritmo desarrollado en el estudio (Molina Campoverde, 2020). Los datos para diagnóstico pueden ser extraídos del vehículo en tiempo real para determinar problemas o variables las cuales pueden ser computadas y mantener un registro de información el cual pueda ser interpretado por medio de algoritmos para prever posibles errores que se presenten, esto en tiempo real y manteniendo constante comunicación con el vehículo a través de internet (Almendárez et al., 2019).

La aplicación del sistema a bordo, ha permitido medir las emisiones de gases generados por la combustión en motores de combustión interna, en un recorrido real que ha sido previamente elegido y detalladamente descrito, lo cual representa una de las mejores estrategias para investigar los combustibles en el contexto del transporte (Cedeño et al., 2018).

Efectos de la presión atmosférica sobre los motores de ciclo Otto

El correcto funcionamiento de los motores de combustión interna viene dado principalmente por una mezcla aire combustible estequiometrica, con una cantidad adecuada de oxígeno, proveniente del aire, y una cantidad determinada de carburante. La primera es una variable que es dependiente de la presión y temperatura atmosférica, ya que la cantidad de oxígeno en el aire se ve disminuida conforme aumenta la temperatura y disminuye la presión atmosférica (MOLINA PATIÑO Belèn Anais, 2020).

Los motores de combustión interna de ciclo Otto requieren 14.7 partes de oxígeno por cada 1 parte de combustible para mantener un consumo aceptable, emitir la menor cantidad de contaminación y conservar la potencia estimada por el fabricante. El porcentaje de disminución de oxígeno en el aire conforme aumenta la altitud es de 9% por cada 1000msnm (*Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica Eldon López Ruano Asesorado Por El Ing . Byron Giovanni Palacios Colindres, 2018*). La gran importancia de la presión atmosférica para el desempeño correcto de un motor de combustión interna, especialmente si es un motor naturalmente aspirado, viene dada por su influencia sobre torque y potencia, entre mayor sea la altura sobre el nivel del mar donde el motor va a funcionar, menores serán estas dos características, la pérdida de potencia con respecto a una altura de 2542msnm es de aproximadamente 22% de los valores entregados

por el fabricante, mientras que en torque la pérdida es del 8.3% (Ingeniería & Automotriz, 2021) (Caiza Jácome & Portilla Aguilar, 2011).

Es por esto que considerando lo antes mencionado y refiriéndose a la ciudad de Quito, con una altitud sobre el nivel del mar de 2850m, la pérdida de concentración de oxígeno sería de un 26% aproximadamente.

Efectos de rendimiento de motor ante cambio de octanaje de combustible

El impacto del octanaje en el consumo de combustible es un tema debatido. Se sugiere que, en general, el uso de gasolina de alto octanaje puede mejorar la eficiencia y reducir el consumo de combustible en ciertos motores. Sin embargo, la magnitud de esta mejora puede depender de varios factores, como el diseño del motor y las condiciones de operación. (Alex Guzmán et al., 2018; Wood & J., 2018)

En un contexto más amplio se ha evaluado el impacto ambiental del octanaje y se señala que la mejora de la eficiencia del motor mediante el uso de gasolina de alto octanaje puede contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Mientras que ciertos beneficios son evidentes, la variabilidad en los resultados y las consideraciones específicas del diseño del motor y las condiciones operativas sugieren la necesidad continua de investigación en este aspecto.

Fuerzas que actúan sobre un vehículo

Un automotor pierde energía desde el momento que inicia su movimiento por efectos de fricción, estas fuerzas se pueden observar en la figura 1, y pueden ser descritas por medio de las ecuaciones (1) a (5).

$$R_x = f_r * R_g [N] \quad (3)$$

Donde:

R_x : Resistencia a la rodadura [N]

R_g : Resistencia a la pendiente [N]

f_r : Coeficiente de resistencia a la rodadura

$$R_i = m * a [N] \quad (4)$$

Donde:

R_i : Resistencia a la inercia

m : Masa del vehículo [kg]

a : aceleración [m/s^2]

$$F_x = F_d + R_g + R_x + R_i [N] \quad (5)$$

Donde:

F_x : Fuerza en rueda

F_d : Fuerza de arrastre

R_g : Resistencia a la pendiente

R_x : Resistencia a la rodadura

R_i : Resistencia a la inercia

Sistema de inyección electrónica

Los sistemas de inyección electrónica llevan ya varias décadas en el mercado, llegaron a reemplazar los sistemas de carburador en los motores a gasolina, existen varios tipos, mono punto, multipunto, simultánea y secuencial, siendo esta última la mejor en términos de control de inyección de combustible y eficiencia energética, ya que regula la cantidad de carburante que ingresa en el cilindro manteniendo una mezcla lo más óptima posible.

El sistema se conforma de varias partes tanque de combustible, bomba de gasolina, tubería de descarga, inyectores mariposa de aceleración, ECU (unidad de control electrónica), también existen sensores los cuales proveen de información a la ECU para saber cuándo realizar cambios en la cantidad de inyección, como CKP, CMP y sensor de oxígeno, todos estos.

El sistema en conjunto funciona de tal manera que optimiza el uso de combustible dando como resultado que vehículos reduzcan las emisiones en comparación con vehículos carburados, una de las funciones más útiles y menos conocidas de este sistema es el corte de inyección, la ECU al tener todos parámetros determinados del motor como RPM, posición de pedal de aceleración, y velocidad de circulación puede determinar en qué momento dejar de inyectar combustible, aumentando el ahorro de combustible (Jaramillo et al., 2022).

Descripción de Eco-Drive

Las formas de conducción del usuario son directamente proporcionales al consumo de combustible de un vehículo impulsado por un motor de combustión interna, las implicaciones son muy variadas y esto se puede ejemplificar, al comparar el consumo de un auto que viaja a una velocidad constante de 98 km/h, y el mismo vehículo viajando a una velocidad de 144 km/h, se puede evidenciar un aumento de consumo de combustible del 33 %, dejando ver que al aumentar la velocidad los motores se vuelven menos eficientes (Farooqi et al., 2019), con esto se puede comprobar que la ecuación 1 se cumple, aumentado el consumo, por el arrastre que aumenta de manera exponencial con respecto a la velocidad.

Eco-Drive se caracteriza por un manejo con condiciones determinadas las cuales son controladas únicamente por el conductor y pueden ser apoyadas por asistentes electrónicos que pueden existir en el vehículo, estas no tienen un orden específico de aplicación, pero

deben ser aplicadas en conjunto para aumentar la eficiencia de este tipo de manejo. A continuación, se describen las condiciones de manejo:

Realizar cambios de marchas en revoluciones adecuadas: realizar cambios entre 2000 rpm a 2500 rpm, procurando relaciones de transmisión largas, manteniendo la caja de cambios siempre acoplada en marcha durante el movimiento, incluso cuando se reduce la velocidad antes de detenerse.

Utilización de la inercia del vehículo: en pendientes descendentes se debe evitar el uso del acelerador, ya que la inercia del vehículo hará que el mismo avance a una velocidad determinada y no consumirá combustible durante el trayecto, esto gracias al control electrónico del vehículo que corta la inyección de combustible a las cámaras cuando el vehículo está en revoluciones adecuadas y la caja de cambios acoplada.

Aerodinámica del vehículo: debe ser conservada evitando modificaciones al automotor. Se debe procurar disminuir al máximo la apertura de ventanas, para no aumentar la oposición del viento (Alegre, 2022).

Conducir de manera suave y constante: Evitar el uso del acelerador y el freno de manera brusca.

Conservar una velocidad constante: Acelerar suavemente y anticipar las paradas. Usar el control crucero en carreteras cuando sea posible, ya que mantener una velocidad constante es más eficiente que acelerar y desacelerar continuamente.

Reducir la velocidad: Conducir a una velocidad moderada (por debajo de los límites de velocidad) puede aumentar significativamente la eficiencia del combustible.

Mantener una distancia segura: Mantener una distancia adecuada entre vehículos permitirá al conductor reaccionar de manera más suave ante cambios en el tráfico, evitando frenadas bruscas.

Mantener el vehículo en buen estado: Realizar mantenimientos de manera regular, incluyendo cambios de aceite, filtros de aire y bujías etc. Un vehículo bien mantenido es más eficiente en el consumo de combustible.

Comprobar que la presión de los neumáticos sea la adecuada: Neumáticos correctamente inflados reducen la resistencia y mejoran la eficiencia del combustible. Se debe verificar la presión de los neumáticos regularmente y ajústala según las especificaciones del fabricante.

Reduce la carga y la resistencia aerodinámica: Evita llevar cargas innecesarias en tu vehículo y retira portaequipajes o racks cuando no los necesites. Cuanta menos resistencia haya, mejor será la eficiencia del combustible.

Planificar las rutas: la planificación de los desplazamientos para evitar el tráfico y las rutas congestionadas. También se puede utilizar aplicaciones de navegación que indiquen la ruta más eficiente.

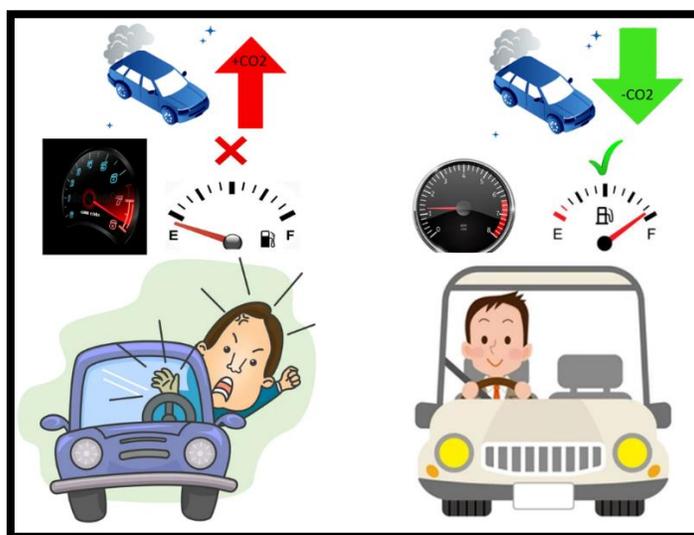
Usa tecnología de asistencia al conductor: Algunos vehículos modernos cuentan con tecnología de asistencia al conductor, como el control de crucero adaptativo y la ayuda en la frenada, que pueden ayudar a optimizar la eficiencia del combustible.

Esta forma de conducción puede ser complementada por otros procesos, no solo se debe basar en como el conductor controla la velocidad y revoluciones del motor, sino también en aspectos de seguridad y confort. El uso de aire acondicionado durante la circulación influye

directamente en el consumo, si el aire acondicionado esta encendido, el consumo de combustible aumenta entre un 5% a 25% (EPA [Environmental Protection Agency] (2011c). *Gas Mileage Tips – Driving More Efficiently*, n.d.), sin embargo, a determinada velocidad el mantener las ventanas abiertas aumenta el consumo en un porcentaje mayor, ya que el coeficiente de arrastre se ve multiplicado (Haworth & Symmons, 2001).

Figura 2.

Descripción grafica de maneras de conducción.



Investigaciones revelan que los refuerzos y motivación hacia los conductores son métodos efectivos para disminuir el consumo aplicando manejo Eco-Drive, se evidencia una reducción de 6% del consumo de combustible al incentivar a los conductores a mantener un manejo eficiente, reforzándolo de manera visual con un equipo que muestre el consumo instantáneo de combustible (Viera Valencia & Garcia Giraldo, 2019).

Con la reducción de velocidad al circular en ruta y la minimización de detenciones se ve una reducción en el consumo de 13.9% en una ruta determinada. Patrones de velocidad

óptimos utilizando programación dinámica pueden reducir en un 20% la cantidad de carburante que consume un vehículo durante una ruta (Alegre, 2022).

Metodología

Tipo de Investigación

Para el desarrollo del trabajo se consideró una Investigación de tipo Explicativo considerando el fenómeno de la forma de conducción que puede ser controlado por el usuario del vehículo, considerando velocidad promedio, tiempo en ruta, posición del pedal de aceleración y revoluciones promedio del motor durante un trayecto; realizando pruebas que puedan ser replicables con un método científico empírico para las pruebas de ruta, completándose con un análisis estadístico de los resultados.

La investigación explicativa, se utiliza para identificar las relaciones de causa y efecto entre variables. A diferencia de la investigación descriptiva que simplemente describen fenómenos, la explicativa busca explicar por qué ocurre un fenómeno y cuáles son las relaciones subyacentes. Para aplicar esta investigación se sugiere los siguientes pasos:

Identificación del Problema o Pregunta de Investigación: identificación clara de un problema o una pregunta de investigación que requiere una explicación más profunda.

Revisión de la Literatura: se lleva a cabo una revisión exhaustiva de la literatura existente para comprender el estado actual del conocimiento sobre el tema y para identificar teorías existentes o hipótesis relacionadas con el problema de investigación.

Formulación de Hipótesis Causales: se formulan hipótesis causales que sugieren posibles relaciones entre variables. Estas hipótesis indican las suposiciones sobre las causas y efectos que se espera encontrar durante la investigación.

Diseño de la Investigación: Se elige un diseño de investigación que permita evaluar las relaciones causales entre las variables. Esto podría incluir experimentos controlados, estudios longitudinales o cuasiexperimentales, dependiendo de la naturaleza del problema de investigación.

Selección de la Muestra: Se selecciona una muestra representativa de la población para realizar el estudio. La elección de la muestra debe garantizar la validez externa de los resultados y la capacidad para generalizar los hallazgos a la población más amplia.

Recopilación de Datos: Se recopilan datos de manera sistemática utilizando métodos específicos, como encuestas, experimentos, observaciones, entrevistas, etc. Durante esta fase, se registran las variables de interés, incluidas las variables independientes y dependientes identificadas en las hipótesis.

Análisis de Datos: Se realizan análisis estadísticos y otras técnicas para evaluar la relación entre las variables. Esto implica el uso de pruebas de significancia estadística para determinar si las relaciones observadas son estadísticamente significativas.

Interpretación de Resultados: Se interpreta la significancia de los resultados en el contexto de las hipótesis iniciales. Se busca evidencia que respalde o refute las hipótesis causales formuladas al comienzo del estudio.

Presentación de Resultados: Los resultados se presentan en informes o artículos científicos. Esto incluye la exposición clara de los hallazgos, la interpretación de los resultados y las conclusiones derivadas de la investigación.

Revisión y Evaluación Crítica: La investigación explicativa no concluye con la presentación de los resultados. Se alienta la revisión y la evaluación crítica de los métodos

utilizados y los resultados obtenidos para refinar las teorías existentes o generar nuevas preguntas de investigación. En resumen, se centra en comprender las relaciones causales entre variables y proporciona una base sólida para el desarrollo de teorías y la generación de conocimiento más profundo sobre los fenómenos estudiados (Pallás & Villa, 2019).

Para las pruebas experimentales con conducción Eco-Drive se ha realizado pruebas con varios conductores, diferentes rutas y horarios de manejo, estableciendo parámetros que los individuos deberán seguir para obtener los datos, por medio de OBD-II y datos GPS, estos datos han sido tomados tanto en vehículos tipo diésel y gasolina (Llanes et al., 2022). Al concluir las pruebas la calidad de los resultados es adecuada ya que mantienen desviaciones dentro de los parámetros (Vinicio et al., 2023).

Métodos científicos

Empírico

El método científico empírico es un enfoque sistemático y basado en la evidencia para llevar a cabo investigaciones y obtener conocimiento en el ámbito científico. Para lo cual sigue determinados pasos (Alban et al., 2020; Falcón & Serpa, 2021).

Dentro de la investigación se utilizó:

Observación: el proceso comienza con la observación de fenómenos en el mundo que despiertan interés o curiosidad. Estas observaciones pueden provenir de la experiencia directa, la literatura existente, o incluso de fenómenos observados en la naturaleza. Basándose en las observaciones, se formula una pregunta de investigación clara y específica que se busca responder mediante el estudio.

Experimental: Este es un método de estudio el cual trata de representar mediante pruebas los fenómenos de análisis, este tipo de investigación se basa en las características específicas de cada prueba, y es posible integrar más de una variable para obtener los resultados buscados. Para que este tipo de método científico sea más efectivo el investigador debe ser constante en sus pruebas, ya que estas pueden verse afectadas conforme los cambios que realice el investigador (Sambrano, 2020). El método se basa en pasos determinados para realizar varias pruebas de manera tal que sean replicables, disminuyendo las posibles variables para mantener resultados constantes durante el desarrollo de los ensayos, el investigador debe ser capaz de generar pasos los cuales deberá mantener durante todo el estudio para así obtener resultados fiables (Alban et al., 2020).

Estadístico: El método estadístico es una parte esencial de muchas investigaciones que implican la recopilación y análisis de datos cuantitativos. Antes de aplicar el método estadístico, se debe tener preguntas de la investigación claramente definidas. Estas preguntas deben ser específicas y orientadas hacia la obtención de respuestas cuantitativas. Se debe seleccionar un diseño de investigación que permita recopilar datos cuantitativos relevantes. Esto podría incluir experimentos controlados, estudios de observación, encuestas, entre otros. Se identifican las variables relevantes para la investigación y recopila datos de manera sistemática.

La elección del método estadístico y matemático dependerá de la naturaleza específica de la investigación y las preguntas que a responder. Además, es fundamental tener en cuenta la validez y confiabilidad de los métodos utilizados.

Este proceso iterativo es esencial para el avance del conocimiento científico y para asegurar que las conclusiones estén respaldadas por evidencia empírica confiable. (Alban et al., 2020; Arias Gonzales, 2020; Sambrano, 2020)

Teóricos

Método Histórico: se realiza una revisión de la literatura existente para comprender lo que se sabe sobre el tema y para identificar cualquier brecha en el conocimiento. Basándose en la revisión de la literatura y en las observaciones, se plantean hipótesis que son afirmaciones específicas y que pueden ser probadas sobre las relaciones entre variables.

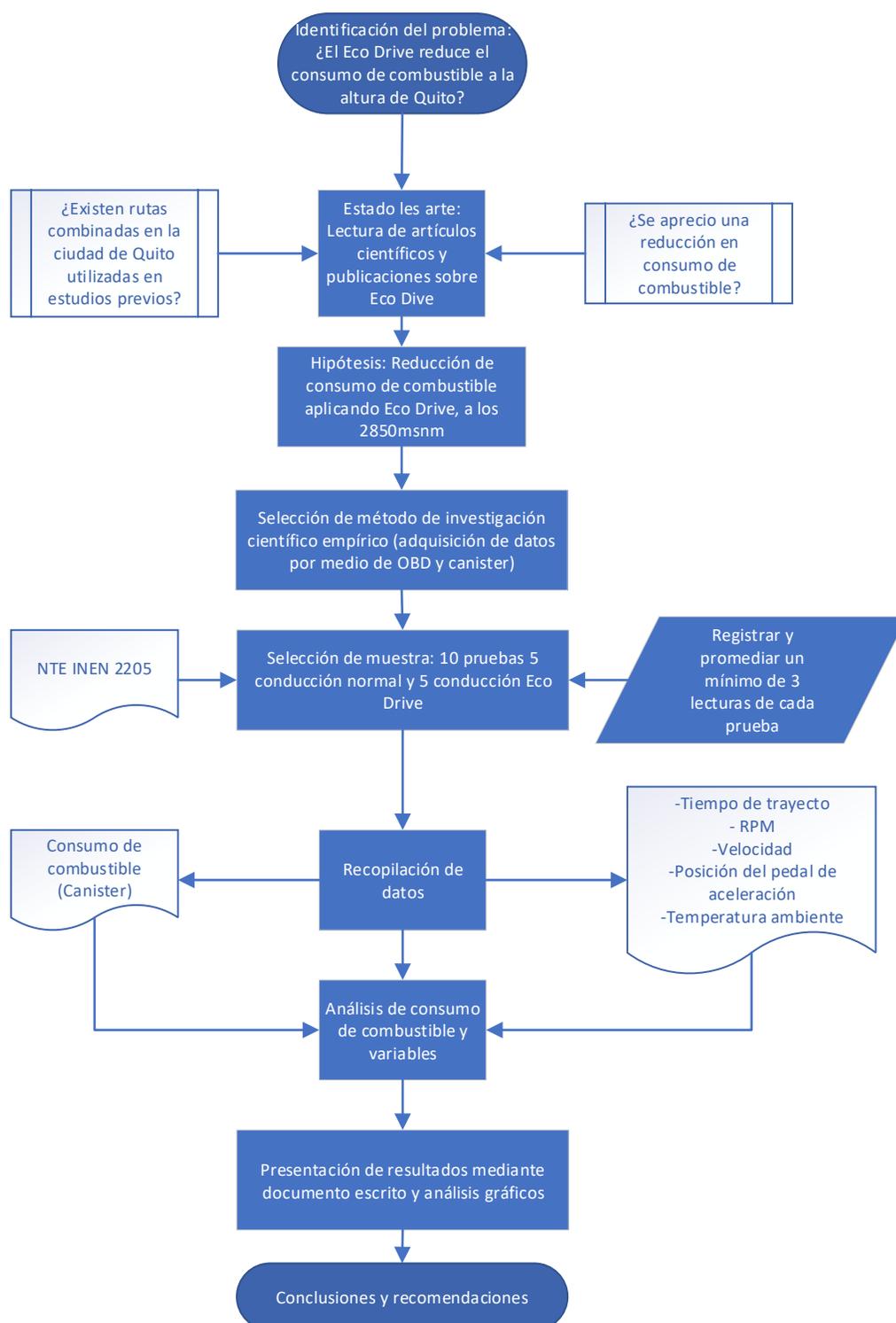
Método lógico: Permite a partir de la revisión de la literatura predecir el comportamiento de una variable determinada, con este método se identifican algunas prácticas comunes para la economía del combustible y tenerlas en consideración en la investigación.

Selección de la ruta

En la figura 3 se representa un diagrama de bloque que permite establecer la ruta para la realización del trabajo de investigación.

Figura 3.

Diagrama de bloque representativo de la investigación.



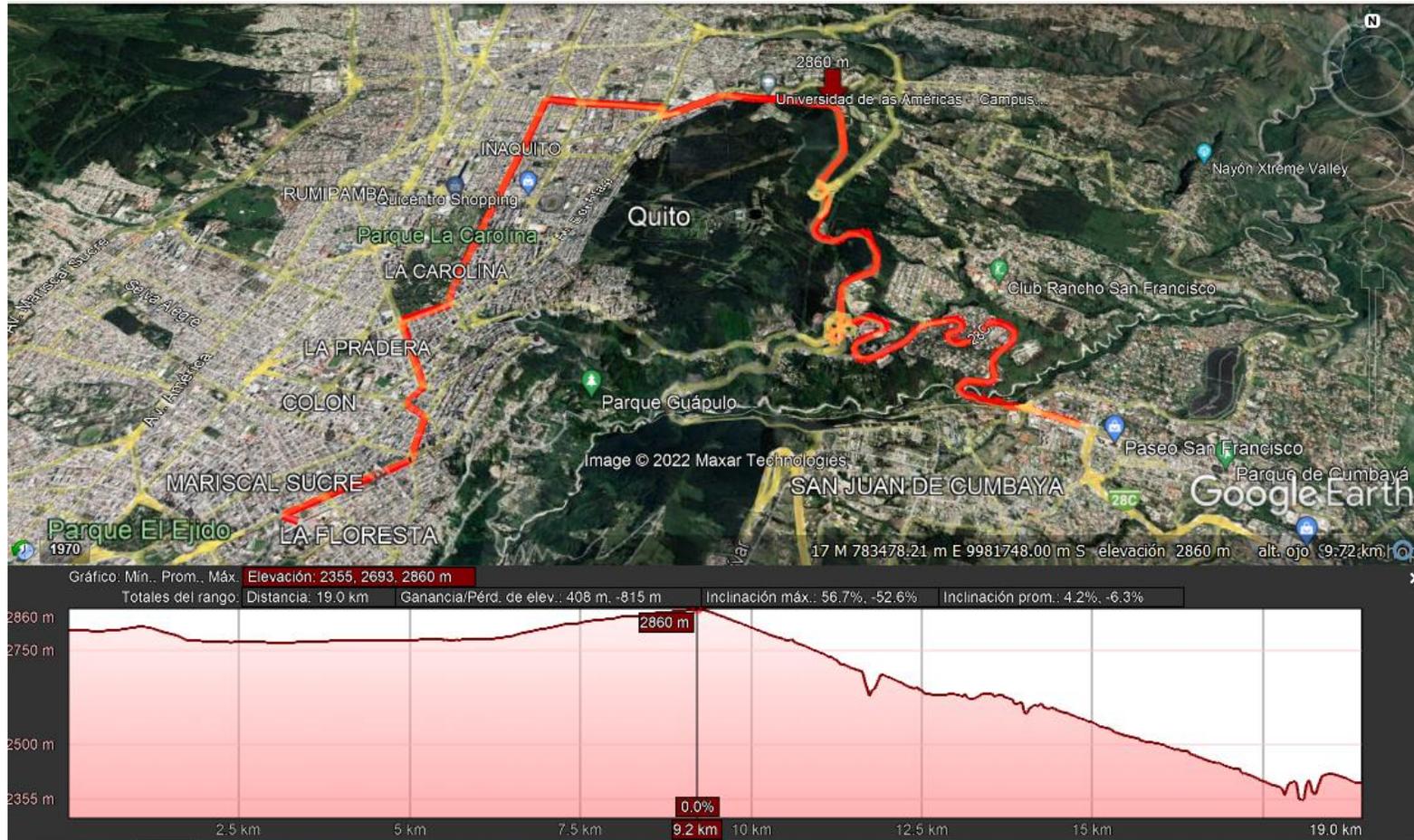
Selección de la ruta

Para la selección de la ruta del estudio se realizó una revisión rigurosa de diferentes autores, y se determinó que para que la ruta sea viable debe cumplir ciertos aspectos en cuanto a sus condiciones físicas como: condiciones óptimas de pista, sea esta de asfalto o concreto, debe tener con una superficie plana, no debe presentar una pendiente que exceda el 10%, debe estar seca y libre de obstáculos, además no debe tener cruces peligrosos (J. Leguísamo et al., 2018).

Se analiza las diferentes condiciones de las vías del distrito metropolitano de Quito y por medio de combinaciones de rutas se determina que para que una ruta sea combinada de tipo C1 debe tener una longitud total aproximada de 18 km, componiéndose esta totalidad en 10 km de ruta suburbana y 8 km de ruta urbana (Quinchimbla & Solís, 2015). La ruta seleccionada ha sido utilizada en diversos estudios. Esta inicia en la Universidad Politécnica Nacional, pasando por la plaza Artigas, llegando hasta la avenida 6 de diciembre, avanzando por la avenida de los Shirys, desde aquí se realiza un trayecto en vía rápida por la Avenida Simón Bolívar, culminando en el valle de Cumbayá, específicamente en el centro comercial Paseo San Francisco (Remache Chimbo et al., 2021). La ruta descrita puede verse gráficamente en la figura 4.

Figura 4

Ruta escogida para toma de datos.



Las pruebas se realizaron en horas de la noche, de 19h00 a 21h00 esto para mantener las variables lo más estable posible, tráfico constante (ya que en el horario mencionado la ruta definida mantiene una afluencia media alta de vehículos y es constante), además por el horario se puede mantener una temperatura ambiente promedio estable de 9 °C para que no afecte en los valores obtenidos.

La temperatura también es un factor que afecta al comportamiento del conductor, ya que los hábitos de conducción pueden variar conforme el entorno (Nuñez-Ayquipa, 2018; y Saavedra & Rodriguez, 2017), al mantener una temperatura ambiente baja, el conductor no deberá hacer uso de aire acondicionado que obliga al motor a trabajar más y disminuye el rendimiento de combustible. O bajar las ventanas lo cual es contraproducente para el factor de aerodinámico del vehículo.

De la ruta antes descrita se han obtenido datos satelitales, donde se evidencia una altura máxima de 2860 m.s.n.m. y una mínima de 2357 m.s.n.m. La altura promedio del recorrido es de 2693 m.s.n.m. con una gradiente de inclinación es de 54% en su máximo y una inclinación promedio de 4,2%.

Vehículo de prueba

Para este estudio se ha seleccionado un vehículo de Kia Cerato Koup por ser un sedán de 5 plazas con tamaño similar a muchos vehículos del mercado, pero con un motor de mayor cilindrada, comparado en dimensiones y peso es similar al Aveo Family (uno de los vehículos más vendidos en Ecuador) con el cual se han realizado pruebas en ruta aplicando ECO-DRIVE (J. C. Leguísamo et al., 2020).

Tabla 1.*Datos generales del vehículo*

KIA Cerato Koup			
Marca	KIA	Modelo:	Cerato Koup
Trasmisión	Manual	Kilometraje:	145870
DATOS DEL FABRICANTE			
Ubicación del motor:	DELANTERO	Cantidad de cilindros:	4
Disposición de cilindros	En línea	Potencia HP/rpm	154/6200
Torque máximo kg-m/rpm	19.8/4300	Caja de cambios	6 cambios más retro
Dirección	Hidráulica	Tipo de aspiración	Atmosférico
Cilindrada [cm ³]	2000	Combustible	Gasolina
Capacidad tanque [L]	de 52	Categoría - Subcategoría- Clase	Deportivo
Relación compresión	de 10.1:1	Año de fabricación	2011
Tonelaje	0,85	País de origen	COREA DEL SUR

Todos los sistemas de control del vehículo se encuentran en pleno funcionamiento y sin modificaciones, el termostato del automotor se encuentra en funcionamiento. En la tabla 1 se describen las principales características del automotor.

Descripción de combustible

El motor del vehículo en cuestión es de inyección indirecta y por las características técnicas el fabricante recomienda el uso de combustibles 90 octanos o superior. El

combustible utilizado para las pruebas fue Super G-Prix, con un valor de \$ 4.42/galón (al momento de las pruebas) las características de este combustible se detallan en la tabla 2, este fue tomado por recomendación del fabricante ya que la gasolina más económica no cumple con el requerimiento mínimo.

Tabla 2.

Propiedades fisicoquímicas de la gasolina súper

PROPIEDADES FISICO QUÍMICAS	
Estado Físico	Líquido a temperatura ambiente
Color y apariencia	Amarillo y brillante
Olor	Característico
% de volátiles por volumen	N.D.
Calor de combustión	19277 BTU/lb
Temperatura de ebullición	210 C (final)
Presión de vapor a 20 C	6 a 10 kPa a 20 C
Densidad de vapor	(aire=1) 3-4
Tasa de evaporación	N.D.
Densidad relativa	0,7174
Solubilidad	Solubilidad en agua 0,003-0,010 kg/m ³
Temperatura de auto inflamación	Mayor 280° C
Octanaje	92

Descripción para adquisición de datos con protocolo OBD II

Para la adquisición de datos por medio de protocolo OBD II se utiliza el equipo ELM 327 con conexión wifi que se puede observar en la figura 5, este equipo con sus comunicaciones puede conectarse con diversas aplicaciones, la aplicación utilizada en sistema Android se denomina “OBD Fusion” mostrado en la figura 6a, esta aplicación interpreta los datos, los tabula y entrega tablas para que los datos obtenidos puedan ser analizados.

Para tomar los datos se debe seguir varios pasos para evitar errores en la adquisición, primero conectar el equipo ELM 327 al puerto OBD II del vehículo. Con el dispositivo donde este instalada la aplicación buscar la red wifi denominada “ELM 327 interface” y conectarse a la misma. Abrir el programa “OBD Fusion” ,ya en la aplicación se pulsa el botón conectar, la aplicación reconoce automáticamente las características del vehículo (Llanes et al., 2022).

Figura 5.

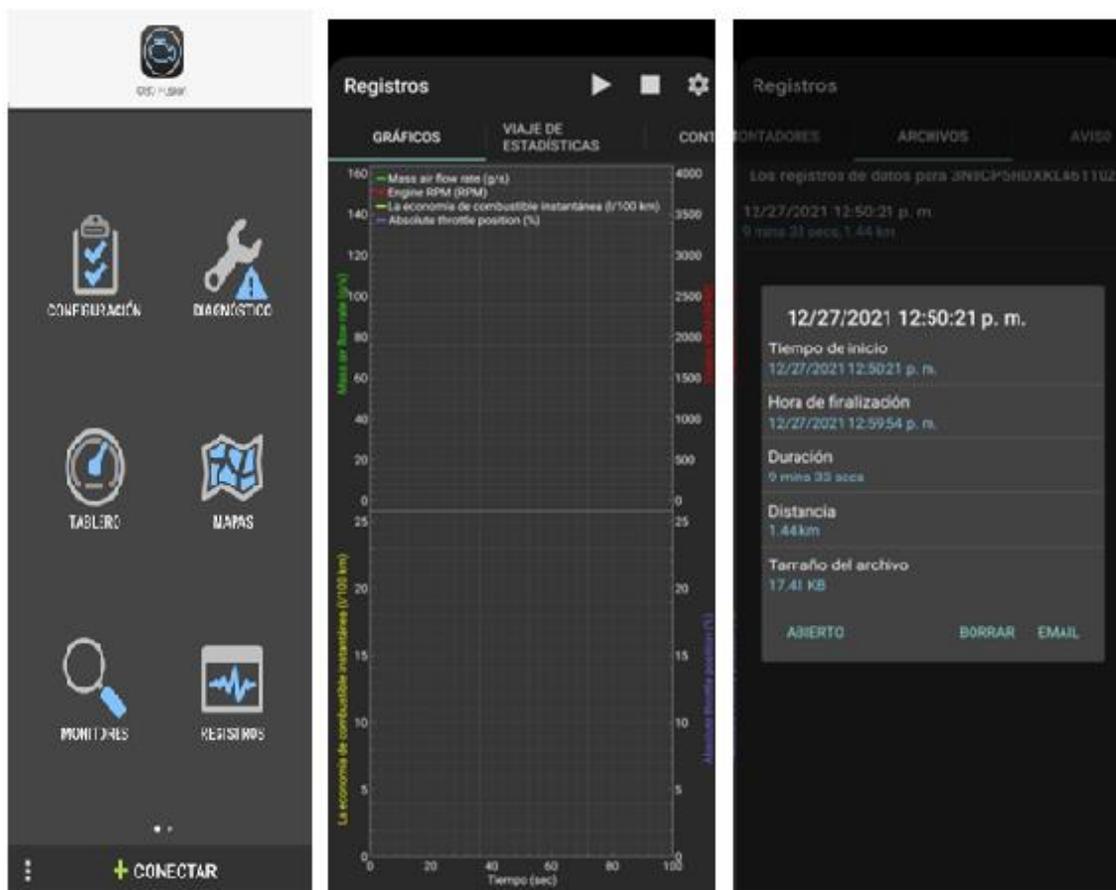
Equipo ELM 327.



Una vez conectado a la aplicación se debe configurar los parámetros que se desea extraer, en la figura 6b se puede apreciar los principales parámetros obtenidos. Para la exportación de los datos se puede enviar vía correo electrónico un archivo en formato Excel, el cual contiene toda la información necesaria para poder realizar el análisis desde un ordenador, esto último se puede apreciar en la figura 6c.

Figura 6.

a) Aplicación para Android “OBD Fusion”. b) Configuración de parámetros en aplicación “OBD Fusion”. c) Exportación de datos de “OBD Fusion” vía correo electrónico.



a)

b)

c)

Descripción adquisición de datos físicos con canister

Para las pruebas se desconectó el ingreso de combustible desde el depósito del vehículo y se acopló un canister directamente al riel de inyección, con una cantidad de combustible de un galón exactamente. Al final de cada prueba el canister se vacía y se mide la cantidad de combustible restante para determinar el consumo ruta. El equipo utilizado y la conexión se puede apreciar en la figura 7.

Figura 7.

Canister equipo y conexión.



Diseño experimental

Para analizar los resultados globales, se evalúan los consumos de combustibles obtenido en una ruta combinada aplicando dos métodos de conducción a partir de un diseño experimental unifactorial. En el estudio se presenta cómo incide la variable independiente Modo de conducción (con dos niveles: Ecodrive y Normal) en el comportamiento de la variable dependiente: Consumo de combustible (L).

Para el análisis y comparación de los resultados se emplea el software Statgraphics Centurion XVI, realizándose un ANOVA simple para los diferentes tratamientos (combinaciones) que se muestran en la tabla 3. Se realizaron 5 repeticiones de cada

tratamiento cumpliéndose lo establecido por la norma NTE INEN 2205 (2010) en el apartado 6 sobre métodos de ensayo donde en el punto 6.1.5.4 refiere “Registrar y promediar un mínimo de 3 lecturas en cada prueba”. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010)

Tabla 3.

Conformación de los tratamientos.

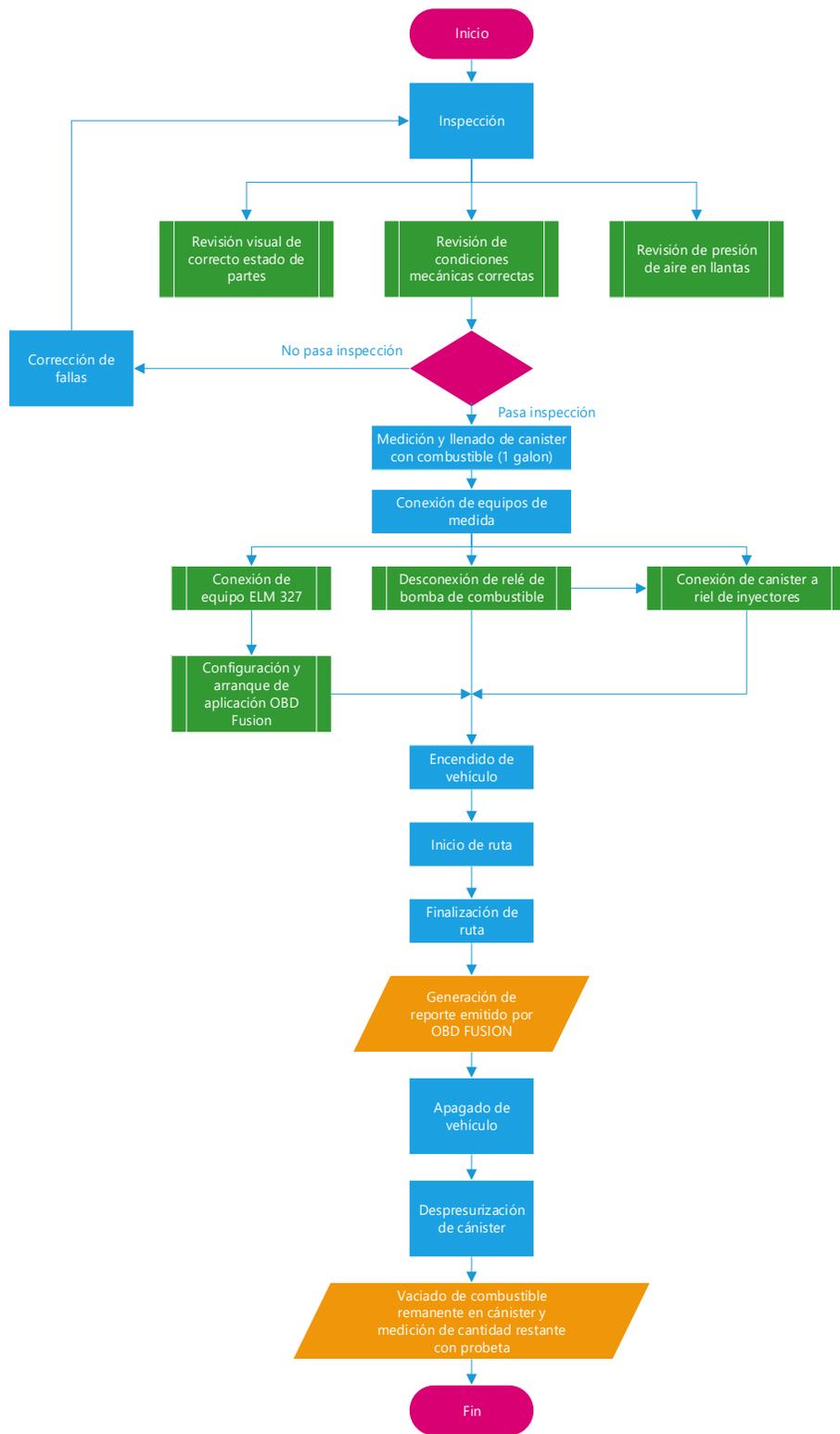
Número de Tratamientos	Autos	Modo de Conducción
T1	KIA Cerato Koup	Normal
T2	KIA Cerato Koup	Ecodrive

Protocolo de pruebas

Se realizan 10 pruebas en total, 5 de ellas con una conducción normal, y las 5 restantes con una conducción aplicando todos los criterios de Eco-Drive, esto manteniendo el mismo conductor y las condiciones lo más parecidas posibles en cuestión de tráfico. Todo esto para mantener datos veraces, a continuación, se describen los pasos a seguir para la recopilación de datos (figura 8):

Figura 8.

Flujograma de prueba.



Resultados

Una vez culminadas las pruebas y tabulados todos los datos físicos y digitales, se procede al análisis de resultados, los datos antes mencionados se pueden evidenciar en las tablas 3 y 4. La temperatura del motor durante las pruebas aplicando Eco-Drive y sin la aplicación del mismo, tiene un promedio de 85°C. Los datos más relevantes para el análisis serán tiempo, por ser un factor importante para saber cuánta diferencia de tiempo podemos tener en la misma ruta aplicando los dos tipos de conducción, velocidad promedio en ruta, esto para saber qué tan más rápido o lento puede ser uno u otro tipo de manejo, posición de pedal de aceleración el cual nos permite ver cuán comprometido puede estar el conductor a aplicar el método de manejo Eco-Drive y hacer comparaciones con relación al consumo de combustible, revoluciones promedio del motor, las cuales nos otorgan una noción de que tan esforzado puede estar el motor durante las pruebas, el consumo de combustible que es la parte medular del estudio ya que todas las variables anteriormente mencionadas afectan a este último.

Tabla 4.

Datos de pruebas aplicando conducción normal

Prueba #	Tiempo [minutos]	Velocidad promedio [km/h]	Posición de pedal de aceleración [%]	Revoluciones promedio del motor [rpm]	Consumo de combustible [L]
1	17,78	26,93	16,07	1485,23	1,39
2	18,45	35,55	18,31	1735,82	1,62
3	18,78	37,69	20,76	1784,01	1,44
4	18,83	38,04	23,89	1908,86	1,64
5	20,05	39,54	24,77	2006,12	1,70

Tabla 5.

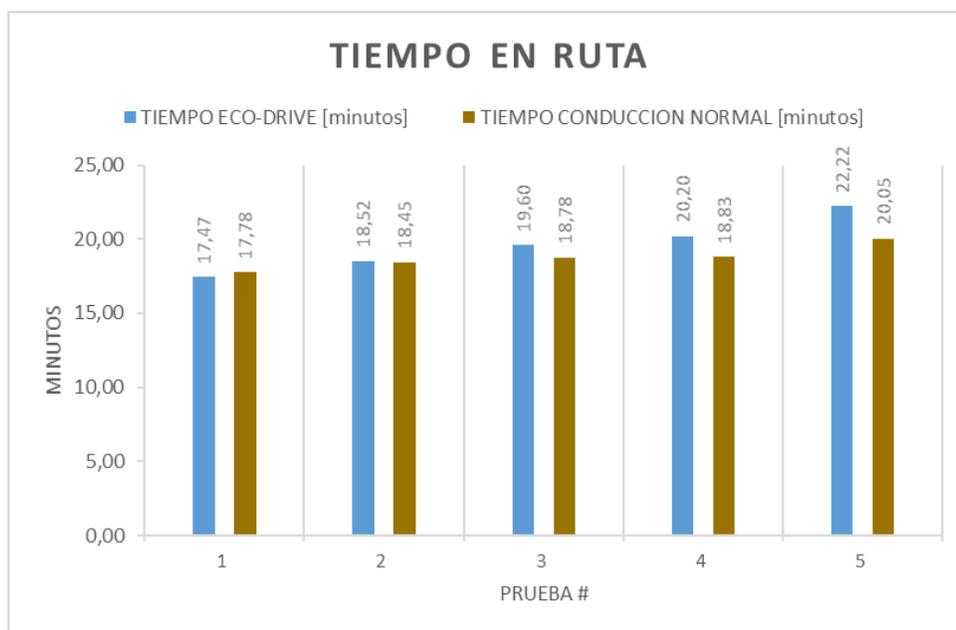
Datos de pruebas aplicando conducción ECO-DRIVE

Prueba #	TIEMPO [minutos]	Velocidad promedio [km/h]	Posición de pedal de aceleración [%]	Revoluciones promedio del motor [rpm]	Consumo de combustible [L]
1	17,47	27,36	8,62	1403,68	0,82
2	18,52	32,31	9,61	1435,24	1,01
3	19,60	35,22	10,43	1436,63	1,09
4	20,20	35,79	11,23	1437,41	1,25
5	22,22	48,27	12,26	1470,20	1,29

En la figura 9 se puede apreciar que en la mayoría de pruebas el tiempo requerido para completar la ruta es menor realizando una conducción normal, en promedio el tiempo ahorrado con conducción normal es de 49 segundos. Este tiempo se atribuye a la diferencia de velocidad promedio en las pruebas. La cual se podrá apreciar en la figura 10.

Figura 9.

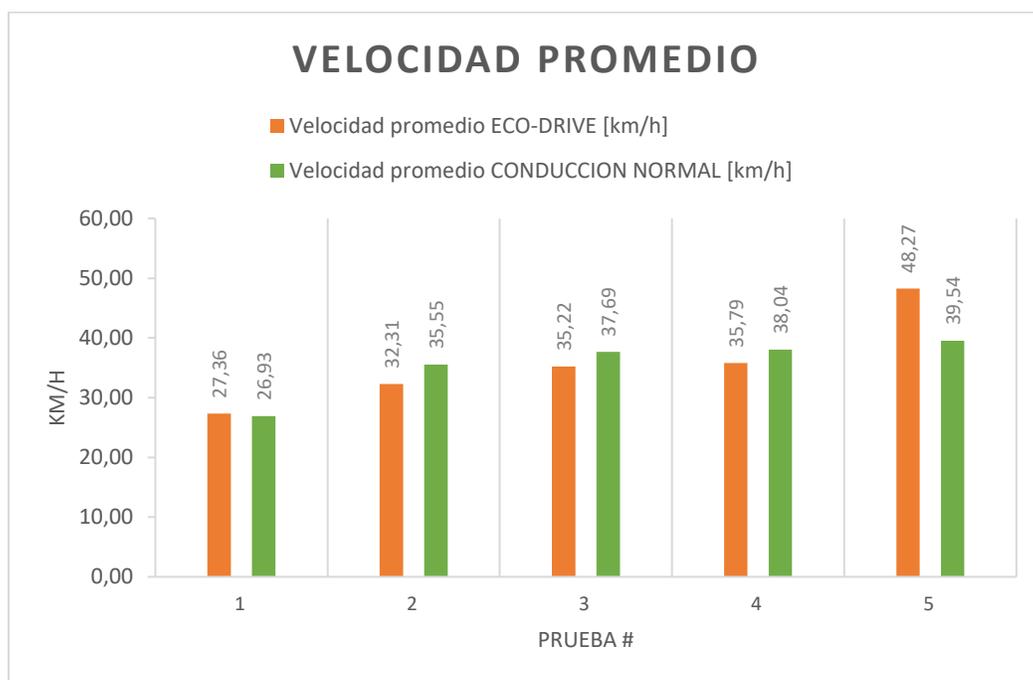
Comparación de tiempo en ruta entre Eco-Drive y conducción normal.



La diferencia de velocidad mencionada en el párrafo anterior indica que una conducción ECO-DRIVE no es mucho más lenta que una conducción normal, solo reduce en 0.24 km/h la velocidad promedio en las pruebas, esto es atribuible a la característica de dejar avanzar el vehículo por su inercia hasta llegar a un semáforo en rojo aplicada en Eco-Drive, a diferencia de acelerar y tener que frenar completamente debiendo esperar al cambio de color de la luz del semáforo para poder seguir avanzando, que es característica de una conducción normal.

Figura 10.

Comparación de velocidad promedio en ruta entre Eco-Drive y conducción normal.

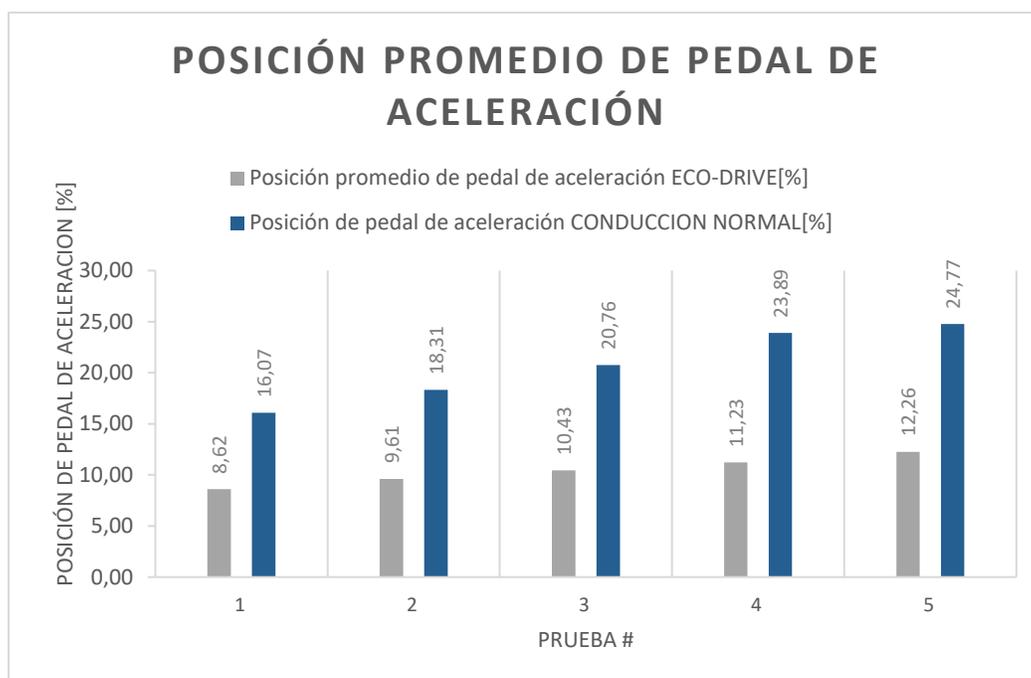


La posición del pedal de aceleración mostrada en la figura 11, es directamente proporcional al consumo de combustible y las revoluciones en el motor, se evidencia en las pruebas que existe una diferencia de 10.33 % menos con respecto en la apertura del pedal de

aceleración aplicando la técnica de manejo Eco-Drive comparado con la conducción normal, por consiguiente, la cantidad de aire que ingresa al motor será menor y más controlada, ayudando que la mezcla aire combustible sea aprovechada de mejor manera.

Figura 11.

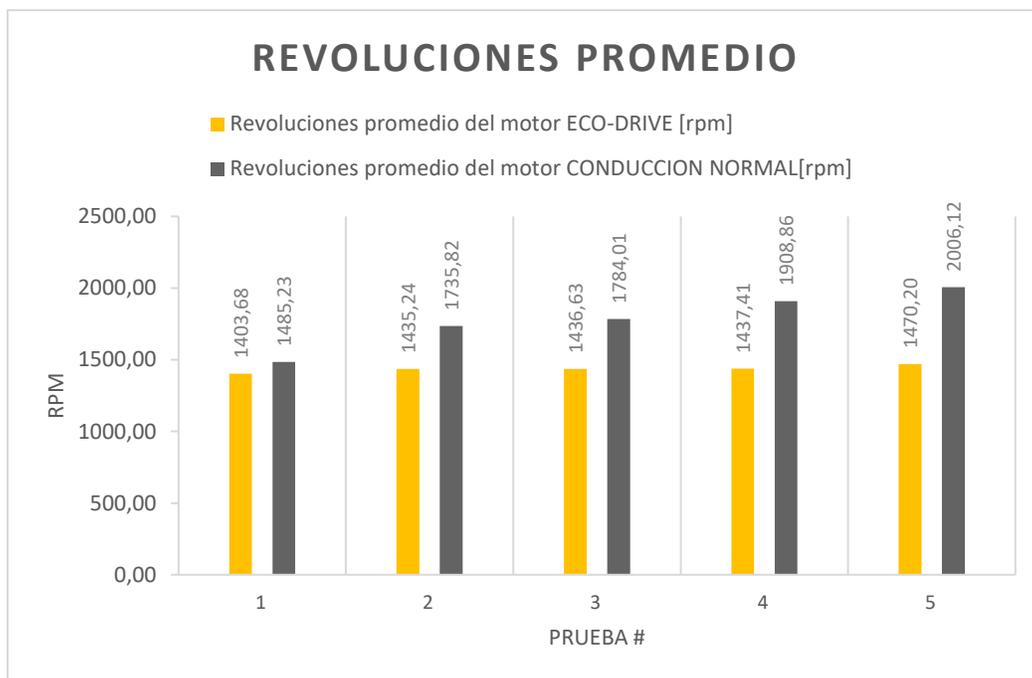
Comparación de posición promedio de pedal de aceleración entre Eco-Drive y conducción normal.



En promedio la reducción de revoluciones por minuto que gira el motor aplicando el método de manejo Eco-Drive es de 347.38 rpm, esto es apreciable en la figura 12, si se realiza una comparativa considerando que por cada dos revoluciones los inyectores funcionan 1 vez pulverizando combustible, vemos una reducción de aproximadamente 173 menos inyecciones de combustible por minuto en la conducción Eco-Drive resultando en menor cantidad de combustible utilizado.

Figura 12.

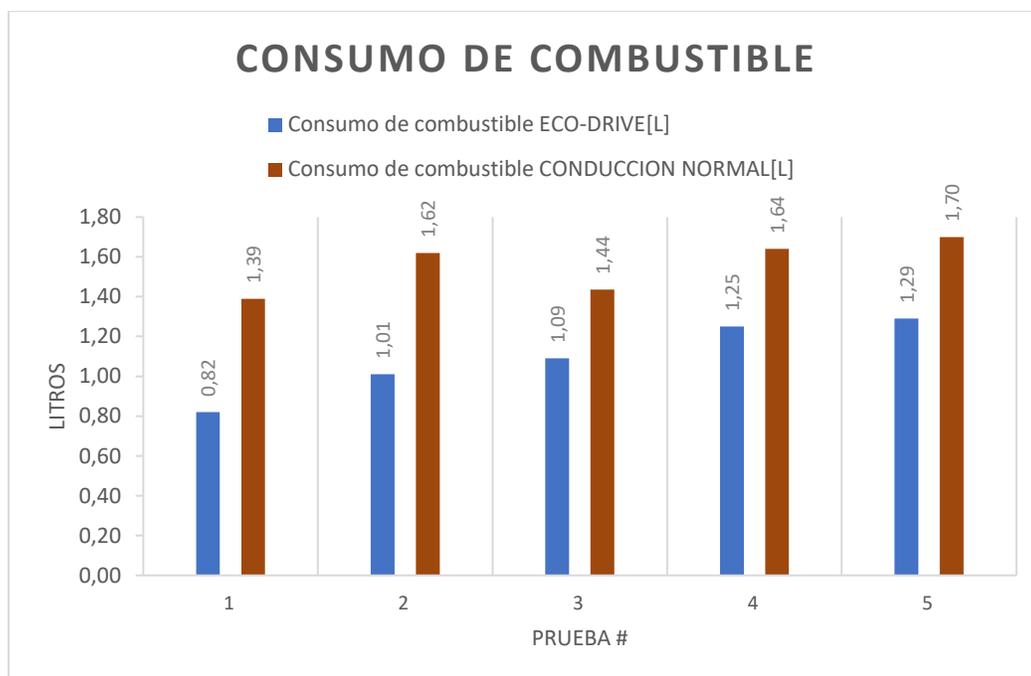
Comparación de revoluciones promedio entre Eco-Drive y conducción normal.



En la figura 13, se evidencia la disminución de consumo de combustible aplicando el método de manejo Eco-Drive, en promedio de las 5 pruebas se aprecia que la disminución promedio de consumo es de 0.536 L por cada ruta. Lo que después de realizar todas las pruebas resulta en una disminución de consumo total de 2.68 L en un recorrido total de 95 km, siendo una reducción promedio de 0.0282 L/km.

Figura 13.

Comparación de consumo de combustible entre Eco-Drive y conducción normal.



Análisis estadístico

En la tabla 6 se muestra el análisis ANOVA, el cual descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 19,9445, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 2 variables con un nivel del 95,0 % de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se selecciona una Pruebas de Múltiples Rangos.

En la tabla 7 y figura 14, se representa la prueba de múltiple rango y gráfico de caja y bigotes para la variable dependiente Consumo de combustible, en la misma se aplica el

procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher con un nivel del 95,0% de confianza. Se concluye que existe diferencia significativa entre los modos de conducción, siendo T2 (Conducción Ecodrive) la de mejor resultado.

Tabla 6.

Tabla ANOVA.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,54289	1	0,54289	19,94	0,0021
Intra grupos	0,21776	8	0,02722		
Total (Corr.)	0,76065	9			

Tabla 7.

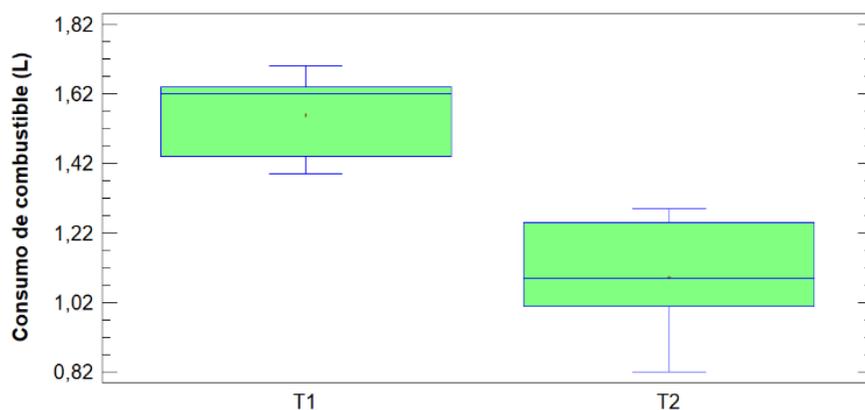
Pruebas de Múltiple Rangos

<i>Casos Media Grupos</i>			
<i>Homogéneos</i>			
T2	5	1,092	X
T1	5	1,558	X

Nota: Método: 95,0 porcentaje LSD

Figura 14.

Gráfico comparativo del consumo de combustible en función del modo de conducción



Discusión

Tabulados, graficados y analizados todos los datos en el apartado anterior, los cuales se correlacionan directamente unos con otros, influyendo en el comportamiento del motor y el consumo de combustible, es evidente que la conducción Eco-Drive tiene beneficios llegando a un ahorro de combustible promedio de 33% comparado con la conducción normal.

El resultado expresado en el párrafo anterior es similar a los obtenidos por otros investigadores. Se encontró que el impacto del ECO-DRIVE en el consumo de combustible es de 0.117 L/km, mientras que al aplicar la conducción normal el valor es de 0.139 L/km, lo que indica una reducción del 15.8% del consumo (J. C. Leguísamo et al., 2020). Además con el uso de un vehículo muy popular en Ecuador AVEO FAMILY se pudo evidenciar una reducción de 24.38% del consumo aplicando ECO-DRIVE en una ruta mixta (Leguisamo Milla et al., 2019). Por otra parte aplicando ECO-DRIVING con un manejo dinámico se puede evidenciar una reducción de 12.57% en el consumo de combustible, esto en un trayecto mixto (J. Leguísamo et al., 2018). Vehículos con mayor cilindrada de hasta 2500cc se ha

evidenciado una reducción en el consumo de combustible llegando a ser de hasta 19.05% (Remache, 2019). La aplicación del ECO-DRIVE ha llegado a disminuir hasta en un 24.5% del consumo en rutas mixtas esto aplicado para vías en la ciudad de Quito y un automotor con cilindrada de 2500cc (Remache Chimbo et al., 2021).

En la tabla 8 y figura 15 se detalla porcentualmente de reducción de consumo de combustible aplicando ECO-DRIVE en estudios previos, esto con la finalidad de llegar a hacer un análisis comparativo.

Tabla 8.

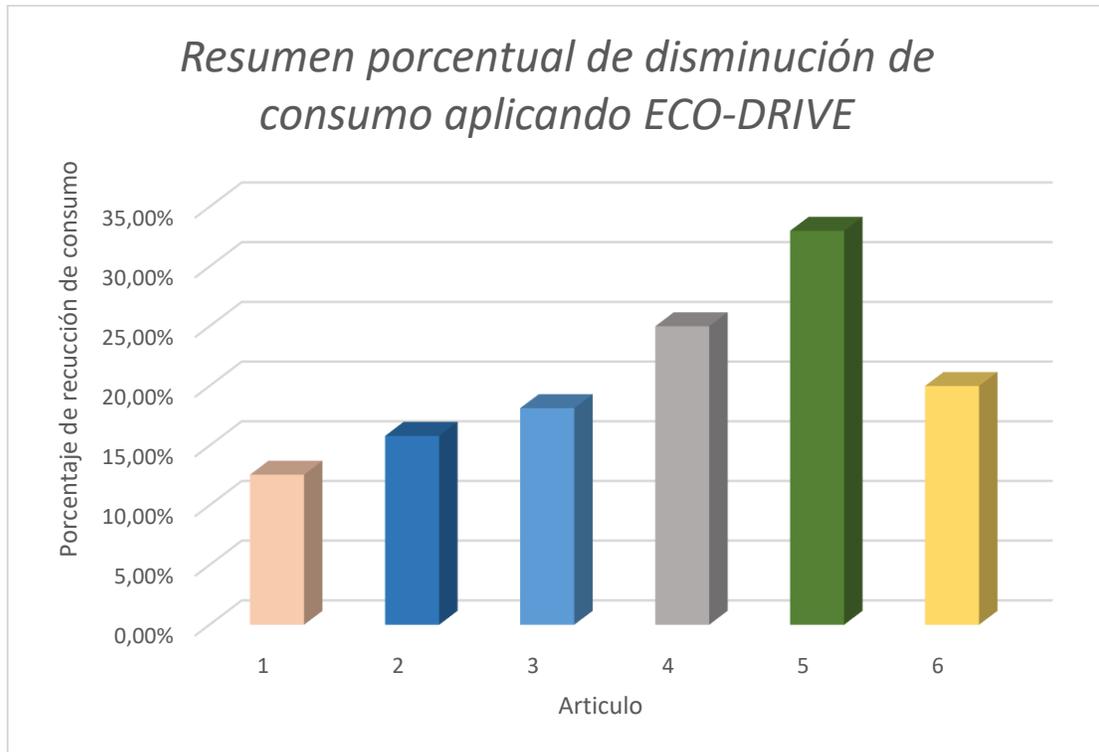
Resumen porcentual de disminución de consumo aplicando ECO-DRIVE

Articulo	Porcentaje de reducción de consumo
1 Evaluación del consumo de combustible con conducción eficiente a 2750 metros de altura	12,57%
2 Reduction in consumption and emissions of fuel applying ECODRIVING route in Quito-Ecuador	15,82%
3 Reducción del consumo de combustible de un motor a diésel aplicando ECODRIVING en Quito-Ecuador	18,14%
4 Estimación del consumo de combustible en un vehículo Ford Explorer aplicando la técnica ECODRIVING en la ciudad de Guayaquil	25,00%
5 Estudio Actual	33,00%

Evaluación del consumo de combustible, torque y potencia al 6 aplicar la conducción ecológica en la ciudad de quito	20,00%
---	--------

Figura 15.

Gráfico comparativo del consumo de combustible en función del modo de conducción



El tiempo es un factor muy importante, en todo momento está presente y debe ser considerado, es por esto que se ha tomado en cuenta en este estudio de Eco-Drive. Además de las ventajas antes mencionadas y los ahorros que conlleva este tipo de manejo, se debe destacar que el tiempo por ruta empleado no supera el minuto extra aplicando Eco-Drive comparado con el tiempo empleado con una conducción normal. Esto hace que este factor no sea determinante al momento de que el conductor aplique este método.

Conclusiones

- La revisión de estudios realizados por otros investigadores permitió la selección de una ruta combinada en la ciudad de Quito. Este enfoque asegura la aplicabilidad y relevancia de los resultados obtenidos en la investigación, al considerar las condiciones específicas de la geografía y el tráfico de la ciudad, la repetitividad para poder comparar los estudios con respecto al de otros autores asegurara que existan criterios adecuados para resultados concretos, además disminuye las variables a considerar ya que con una ruta trazada previamente ya se han considerado variables que quizá no se estimaron en el estudio.
- La recolección de datos en ruta, utilizando tanto la conducción normal como el Eco-Drive con medios digitales y físicos, a través de herramientas como OBDII y canistel, proporcionó información valiosa sobre el consumo de combustible por kilómetro recorrido. La inclusión de medios digitales y físicos fortalece la robustez de la metodología. Se podría mejorar la toma de datos con equipos específicos para cada una de las variables consideradas pero el factor de error sería similar ya que los sensores acoplados en el automotor son tomados por la ECU y entregados mediante protocolo OBDII, sería poco beneficioso el tomar datos con equipos externos cuando el vehículo ya los tiene instalados. La comparación porcentual entre el manejo normal y el Eco-Drive, ha revelado resultados consistentes y significativos.
- Los datos tabulados, graficados y analizados demuestran una clara relación entre la conducción Eco-Drive y la eficiencia del combustible esto con la aplicación de todos

los parámetros antes expuestos, hace que el ahorro porcentual de combustible en promedio sea de 33% al aplicar el Eco-Drive en rutas combinadas a 2850 msnm. Estos resultados son consistentes con hallazgos similares en el estado del arte mostrados en la figura 13.

Recomendaciones

- Establecer un protocolo claro y estandarizado para la recopilación de datos asegurando que todas las pruebas sigan el mismo proceso, minimizando la variabilidad en los resultados, se debe mantener el conductor con el que se realizaron las pruebas para disminuir la incertidumbre de los resultados, se podría analizar el estado psicológico del conductor durante las pruebas para determinar cómo esto puede influir en los resultados finales del estudio.
- Antes de cada toma de datos, verificar la funcionalidad y precisión de los dispositivos de medición. La verificación previa asegura que los instrumentos estén operativos y proporciona datos confiables. Se podría analizar la temperatura de los neumáticos ya que esta incide en la presión de los neumáticos durante el trayecto, al tener neumáticos con mayor o menor presión puede afectar en el factor de arrastre del vehículo haciendo que consuma más o menos combustible. Para disminuir esta variación por temperatura y presión los neumáticos para las pruebas deberían ser inflados con nitrógeno.
- Realizar una validación cruzada entre diferentes dispositivos y métodos de medición. Comparar los datos recopilados mediante OBDII con los obtenidos mediante canistel u otros medios físicos ayudará a identificar posibles discrepancias. Se podría instalar una mayor cantidad de sensores, para obtener los datos que se obtuvieron por medio de OBDII, esto con el fin de realizar una validación de datos por medio de equipos externos y no solo con protocolo OBDII

- Mantener una documentación exhaustiva de todos los procedimientos de toma de datos, incluyendo cualquier modificación en el protocolo o equipo utilizado, si existe un cambio en el protocolo las pruebas tendrán que ser repetidas desde el inicio ya que esto podría haber afectado a los datos a analizar.
- Una práctica para el Eco-Drive que no se aplicó en este estudio y que fabricantes de vehículos ya han instalado el sistema en sus vehículos es el sistema de Star-Stop, el cual puede disminuir el consumo mientras el vehículo está detenido, se podría realizar un análisis de como la conducción Eco-Drive mejora o empeora con el uso de este sistema.
- Para próximos estudios se plantea realizar pruebas en diferentes horarios, para así comparar el consumo en cada uno de ellos y determinar en qué horario y bajo qué condiciones el sistema Eco-Drive es más beneficioso.

Referencias bibliográficas

- Alban, G. P. G., Arguello, A. E. V., & Molina, N. E. C. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 4(3), 163–173.
- Alegre, J. (2022). *Análisis CFD de la influencia de la aerodinámica en el consumo energético de vehículos en formación*. 1–71. <http://hdl.handle.net/10251/183892>
- Alex Guzmán, E. C., Peralvo¹, A., & Armas¹, Milton Revelo, A. (2018). Estudio del rendimiento dinámico de un motor Otto utilizando mezclas de dos tipos de gasolinas “Extra y Súper.” *Enfoque UTE*, V.9, 208–220.
- Almendárez, J. E., Durán, J. F., & Morales, E. A. (2019). *Computación en la nube e internet de las cosas. Propuesta de diseño de arquitectura para prototipo de hardware para la extracción de datos de los vehículos con sistema de OBDII*. 1–8. <http://hdl.handle.net/11715/1509>
- Arias Gonzales, J. L. (2020). *Métodos de investigación online: herramientas digitales para recolectar datos*.
- Brown, M. A. (2001). Market failures and barriers as a basis for clean energy policies. *Energy Policy*, 29(14), 1197–1207. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(01\)00067-2](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(01)00067-2)
- Caiza Jácome, P. G., & Portilla Aguilar, Á. A. (2011). *Determinación de la Influencia de la Altura en Emisiones Contaminantes de un Vehículo con Motor de Ciclo Otto, de Inyección Electrónica de Gasolina*.
- Cazorla, D. A. (n.d.). *Adquisición de datos remota mediante sistemas OBD-II y dispositivo*

Móvil. <http://docplayer.es/3758361-Proyecto-fin-de-carrera.html>

Cedeño, L., Antonio, E., Carlos, J., Zurita, P., Belén, D., Milla, L., César, J., Antonio, E.,

Cedeño, L., Rocha-hoyos, J. C., Peralta, D. B., César, J., & Milla, L. (2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura . Caso de estudio Quito , Ecuador (Evaluation of gas emissions in light gasoline vehicles in height conditions . Case study Quito , Ecuador). *Enfoque UTE*, 9(2), 149–158. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=572262061014>

EPA [Environmental Protection Agency] (2011c). *Gas mileage tips – Driving more efficiently*. (n.d.). <http://www.fueleconomy.gov/feg/drivehabits.shtml>.

Falcón, A. L., & Serpa, G. R. (2021). Acerca de los métodos teóricos y empíricos de investigación: significación para la investigación educativa. *Revista Conrado*, 17(S3), 22–31.

Farooqi, H., Incremona, G. P., & Colaneri, P. (2019). Railway collaborative ecodrives via dissension based switching nonlinear model predictive control. *European Journal of Control*, 50, 153–160.

Haworth, N., & Symmons, M. (2001). *Accident Research Centre the Relationship Between Fuel Economy and*. 188.

Ingeniería, C. D. E., & Automotriz, M. (2021). *Análisis comparativo de la eficiencia energética entre los motores MB OM-502 y MB OM-460 considerando la variable de altura*.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *Nte Inen 2 205:2010. 2205*.

- Jaramillo, C. D. A., Quispe, E. M. G., Torres, D. A. C., & Naranjo, J. I. G. (2022). Análisis del funcionamiento en los sensores de inyección electrónica para controlar el consumo de combustible. *Dominio de Las Ciencias*, 8(2), 451–769.
- Leguísamo, J. C., Llanes-Cedeño, E. A., Celi-Ortega, S. F., & Rocha-Hoyos, J. C. (2020). Efficient driving evaluation an ignition engine at 2810 meters above sea level. *Informacion Tecnologica*, 31(1), 227–235. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000100227>
- Leguísamo, J., Llanes Cedeño, E. A., & Rocha Hoyos, J. (2018). *Evaluación del consumo de combustible con conducción eficiente a 2750 metros de altura*. November, 50–54.
- Leguisamo Milla, J., Llanes Cedeno, E., & Rocha Hoyos, J. (2019). Reduction in Consumption and Emissions of Fuel Applying Ecodriving Route in Quito-Ecuador. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Julio, 1007–1012.
- Llanes, E., Leguísamo, J., Artieda, A., & Ortega, W. (2022). *Reducción del consumo de combustible*. 4, 340–350.
- Molina Campoverde, J. J. (2020). Driving mode estimation model based in machine learning through PID's signals analysis obtained from OBD II. *Applied Technologies: First International Conference, ICAT 2019, Quito, Ecuador, December 3–5, 2019, Proceedings, Part II 1*, 80–91.
- MOLINA PATIÑO Belèn Anais. (2020). *Análisis De Un Motor De Ciclo Otto Ante Diferentes Factores Atmosféricos Mediante Un Estudio Comparativo De Parámetros De Identificación Para Obtener El Rendimiento Energético* .

- NUÑEZ AYQUIPA, S. I. (2018). *Condiciones de trabajo que afectan la salud de los conductores de la cooperativa de transporte “Corazón de Jesús Ltda.” de Independencia, 2018.* 22–76.
- Pallás, J. M. A., & Villa, J. J. (2019). *Métodos de investigación clínica y epidemiológica.* Elsevier Health Sciences.
- Pezantes Domínguez, R. F., & Zamora Cabrera, P. A. (2015). *Caracterización del tipo de gasolina en función de la estequiometría de la mezcla y el adelanto del encendido mediante análisis de ruido de un motor ciclo otto, para una altitud de 2500 msnm.* 150. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7986/1/UPS-CT004855.pdf>
- Quinchimbla, F. E., & Solís, J. M. (2015). Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo otto en el distrito metropolitano de Quito. *Escuela Politécnica Nacional*, 163. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17000/1/CD-7578.pdf>
- Remache, A. (2019). Evaluación del consumo de combustible, torque y potencia al aplicar la conducción ecológica en la ciudad de Quito. *Coniadt 2019, July*, 5–14.
- Remache Chimbo, Á., Leguisamo Milla, J., Antamba Guasgua, J., & Azanza Luksat, V. (2021). Conducción ecológica: evaluación de los parámetros operacionales del Motor de Encendido Provocado (MEP) en una ruta mixta de la ciudad de Quito. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 8(1), 18–24. <https://doi.org/10.26423/rctu.v8i1.552>
- Saavedra, J., & Rodríguez, K. (2017). Estudio de variables ergonómicas y de condiciones de trabajo que afectan la fatiga de los conductores de transporte público individual. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 89.

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6383/SaavedraPovedaJonatha;jsessionid=773EBBD92FF7077C9331EA5AA8FA379E?sequence=1>

Sambrano, J. (2020). *Métodos de investigación*. Alpha editorial.

Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica Eldon López Ruano Asesorado por el Ing . Byron Giovanni Palacios Colindres. (2018).

Viera Valencia, L. F., & Garcia Giraldo, D. (2019). DESARROLLO DE UN PROGRAMA DDE ECO-DRIVING A NIVEL OPERATIVO CON MONITORIO A BORDO OBDII EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2.

Vinicio, N. M. M., Alexandra, J. M. D., Mero, C. M. L., & Barrezueta, M. F. G. (2023). Estimación del consumo de combustible en un vehículo Ford Explorer aplicando la técnica Ecodriving en la ciudad de Guayaquil. *South Florida Journal of Development*, 4(1), 520–535. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n1-037>

Wood, P., & J., S. (2018). Investigar en Educación. Conceptos básicos y metodología para desarrollar proyectos de investigación. *Educatio Siglo XXI*, 36(1), 263–266.

Zarkadoula, M., Zoidis, G., & Tritopoulou, E. (2007). Training urban bus drivers to promote smart driving: A note on a Greek eco-driving pilot program. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(6), 449–451. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2007.05.002>

Zhao, X., Wu, Y., Rong, J., & Zhang, Y. (2015a). Development of a driving simulator based eco-driving support system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*,

58(PD), 631–641. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.03.030>

Zhao, X., Wu, Y., Rong, J., & Zhang, Y. (2015b). Development of a driving simulator based eco-driving support system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58(PD), 631–641. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.03.030>

Zhou, M., Jin, H., & Wang, W. (2016). A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49(5), 203–218. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.09.008>