



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

ANÁLISIS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR S-TEC II 16V DEL  
VEHÍCULO CHEVROLET SAIL AL VARIAR EL NÚMERO DE AGUJEROS DE LAS  
TOBERAS DE LOS INYECTORES APLICANDO LA MODALIDAD DE  
CONDUCCIÓN ECODRIVING EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

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

AUTORES: POOL SEBASTIAN ROCHA TIPAN

JORDAN BRYAN SALAZAR CARRERA

TUTOR: JUAN PABLO TAMAYO BENAVIDES

Quito - Ecuador

2024

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

Nosotros, Pool Sebastian Rocha Tipan con documento de identificación N° 1726957622 y Jordan Bryan Salazar Carrera con documento de identificación N° 1754667580 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.

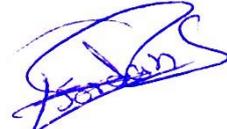
Quito, 05 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

Pool Sebastian Rocha Tipan  
1726957622



---

Jordan Bryan Salazar Carrera  
1754667580

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

Nosotros, Pool Sebastian Rocha Tipan con documento de identificación No. 1726957622 y Jordan Bryan Salazar Carrera con documento de identificación No. 1754667580, 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: “Análisis del consumo de combustible del motor S-TEC II 16V del vehículo Chevrolet Sail al variar el número de agujeros de las toberas de los inyectores aplicando la modalidad de conducción Ecodriving en el Distrito Metropolitano de Quito ”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, 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

Quito, 05 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

Pool Sebastian Rocha Tipan

1726957622



---

Jordan Bryan Salazar Carrera

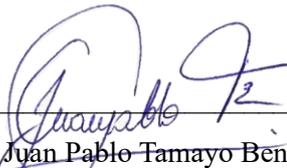
1754667580

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Pablo Tamayo Benavides con documento de identificación N° 1714824156, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR S-TEC II 16V DEL VEHÍCULO CHEVROLET SAIL AL VARIAR EL NÚMERO DE AGUJEROS DE LAS TOBERAS DE LOS INYECTORES APLICANDO LA MODALIDAD DE CONDUCCIÓN ECODRIVING EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, realizado por Pool Sebastian Rocha Tipan con documento de identificación N° 1726957622 y por Jordan Bryan Salazar Carrera con documento de identificación N° 1754667580, 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.

Quito, 05 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Juan Pablo Tamayo Benavides, M.Sc.  
1714824156

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a toda mi familia que me apoyó durante mi aprendizaje y sobre todo por la confianza depositada en mí en todo momento. A mis padres, que me dieron el impulso y, sobre todo, sabios consejos los cuales me sirvieron para nunca rendirme y poder seguir adelante. A mis hermanos que siempre estuvieron cuando más los necesitaba y para mí son una fuente de inspiración y fortaleza.

Pool Rocha

Dedico el presente proyecto a toda mi familia, de manera muy especial a mis padres, por brindarme su amor, apoyo constante tanto financiero como emocional y por todos sus innumerables sacrificios. Su fe en mí y su ánimo inquebrantable han sido la base de mis logros. Esta meta alcanzada es tanto de ustedes como mía.

Jordan Salazar

## **AGRADECIMIENTO**

Mis sinceros agradecimientos en primer lugar a Dios que en todo momento lo tengo siempre presente, a mi tutor Ing. Juan Pablo Tamayo Benavides, aparte de ser un excelente profesor es por encima de toda una excelente persona, quien tuvo la gentileza de poder apoyarnos, guiarnos y ayudarnos en todo este proceso de titulación y por último y no menos importante a todo el equipo docente que conforma esta apasionante y gran carrera universitaria.

Pool Rocha

Agradezco a todos aquellos que han contribuido significativamente en este proceso de titulación. Agradecer de forma especial al Ing. Juan Pablo Tamayo Benavides, por su orientación y apoyo constante durante todo el proceso. Su experiencia, paciencia y compromiso, fueron una base importante para la culminación de este proyecto. A Sebastián Rocha, por su destacada dedicación y colaboración en este proyecto, su compromiso y esfuerzo compartido han sido esenciales para superar los desafíos encontrados. Agradezco a todo el equipo docente de la carrera, en especial al Ing. Jhonny Pancha, por facilitarnos los equipos necesarios y brindarnos su valioso apoyo técnico.

Jordan Salazar

**ANÁLISIS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR S-TEC II 16V DEL VEHÍCULO CHEVROLET SAIL AL VARIAR EL NÚMERO DE AGUJEROS DE LAS TOBERAS DE LOS INYECTORES APLICANDO LA MODALIDAD DE CONDUCCIÓN ECODRIVING EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

**ANALYSIS OF THE FUEL CONSUMPTION OF THE S-TEC II 16V ENGINE OF THE CHEVROLET SAIL VEHICLE BY VARYING THE NUMBER OF HOLES IN THE INJECTOR NOZZLES APPLYING THE ECODRIVING MODALITY IN THE METROPOLITAN DISTRICT OF QUITO**

Pool Rocha<sup>1</sup>, Jordan Salazar<sup>2</sup>

## Resumen

Este estudio se centra en abordar la problemática del elevado consumo de combustible en el sector del transporte en Ecuador, que representa el 48.9% del consumo total de energía, con un 80.1% proveniente de combustibles fósiles. Para el estudio se utiliza gasolina Extra, y se procede al cálculo y la comparación del consumo de combustible entre los inyectores de 4 y 6 orificios, utilizando un estilo de conducción Eco-driving en la ciudad de Quito. Se realizaron varias pruebas de conducción en una ruta establecida utilizando un vehículo Sail. Además, para el análisis y comparación del consumo, se tomaron en cuenta factores como la eficiencia volumétrica del motor, tiempos de parada en ralentí, aceleraciones del vehículo, condiciones de tráfico, entre otros. Los resultados indican que los inyectores de 6 orificios presentan una mejor pulverización del combustible, logrando una combustión más eficiente. Aplicando la conducción Eco-driving, el consumo ideal con los inyectores de 6 orificios y con eficiencia volumétrica del 100% es de 0.7534 galones, mientras que el consumo real con los mismos inyectores y eficiencia real es de 0.4957 galones, representando así un ahorro del 6.02% respecto al consumo real con los inyectores de 4 orificios.

**Palabras Clave:** Combustible, Consumo, Ecodriving

## Abstract

This study focuses on addressing the problem of high fuel consumption in the transport sector in Ecuador, which represents 48.9% of total energy consumption, with 80.1% coming from fossil fuels. The study uses Extra petrol and proceeds to the calculation and comparison of fuel consumption between 4- and 6-hole injectors, using an Eco-driving style in the city of Quito. Several test drives were carried out on an established route using a Sail vehicle. In addition, factors such as engine volumetric efficiency, idling times, vehicle accelerations, traffic conditions, among others, were considered for the fuel consumption analysis and comparison. The results indicate that the 6-hole injectors have better fuel atomisation, resulting in more efficient combustion. Applying Eco-driving, the ideal consumption with the 6-hole injectors and 100% volumetric efficiency is 0.7534 gallons, while the actual consumption with the same injectors and actual efficiency is 0.4957 gallons, representing a saving of 6.02% compared to the actual consumption with the 4-hole injectors.

**Keywords:** Consumption, Eco-driving, Fuel

---

<sup>1</sup> Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Automotriz, UPS Sede Quito, Ecuador.

## 1. Introducción

En el año 2021, el Ministerio de Energía y Minas de Ecuador registró que el transporte fue el sector con la mayor demanda energética, correspondiendo al 48.9% del total, con un 80.1% de este consumo proveniente de los combustibles fósiles para la operación de los M.C.I (Ministerio de Energía y Minas, 2021). La mejora de la eficiencia de combustible para ahorrar su uso es muy importante en términos económicos y medioambientales. Ahora bien, si se considera el aspecto económico, en el Ecuador se han alcanzado costos elevados por la gasolina. Los precios actuales de la gasolina de las categorías Eco y Extra equivalen a 2.465 dólares el galón, sufriendo un aumento de 0.07 dólares por galón debido al incremento a un 15% del I.V.A. según el decreto ejecutivo No. 215. En cuanto a la gasolina Súper, pasará de 3.89 dólares el galón a un precio de 3.99 dólares (PRIMICIAS, 2024).

Al hablar de una mayor eficiencia de combustible se entiende como la cantidad de energía de combustible que necesita para convertirla en energía cinética, es decir, cuánta fuerza se aplica a un cuerpo para ponerlo en movimiento. Los vehículos más eficientes ofrecen ventajas como un mayor rendimiento de combustible, o lo que es lo mismo, la cantidad que consume un vehículo por kilómetro o milla recorrida. A menores valores de consumo, mayor ahorro económico, como lo manifiestan algunos economistas, los cuales dicen que los conductores se podrían ahorrar en 5 años un valor de 4500 dólares cuando manejan un vehículo capaz de recorrer 30 millas por galón en vez de 20 millas por galón (KIA, s.f.).

En cuanto a la reducción de emisiones, existen normas locales e internacionales, siendo la más común las normas EURO, que establecen límites permisivos máximos de los gases contaminantes emitidos por el escape que incluyen los compuestos de nitrógeno, de carbono e hidrocarburos, los cuales causan daños tanto a los seres vivos, como al planeta como por ejemplo el efecto invernadero. Para conseguir una reducción en gases, en el estudio los “Efectos de la relación de remolino y el número de orificios del inyector en las características de combustión y emisiones de un motor diésel ligero” se determinó que, al realizar modificaciones en el inyector como por ejemplo incrementar la cantidad de orificios y reducir el diámetro de los orificios de la tobera, aumenta el volumen de combustible inyectado por orificio y mejoran las características de atomización, por lo tanto, las emisiones

de PM, THC y CO se reducirían con un mayor número de orificios del inyector que tienen orificios más pequeños (Yoon, Lee, Kwon, Lee, & Park, 2018). Por esta razón, los vehículos cuentan con una mejor tecnología provocando beneficios mayores eficiencias, y por ende menores cantidades de consumo de combustible (Núñez Pérez, 2018) por lo que un vehículo moderno es capaz de recorrer 12.75 Km/L y reducir las emisiones contaminantes alrededor del 5% en comparación con un vehículo antiguo que recorra 8.50 Km/L (University of Michigan, 2016).

Es importante considerar la tecnología que utiliza un vehículo en el sistema de inyección, donde la presencia de vehículos a carburador no ayuda en la reducción de consumo ni en la reducción de emisiones. Con el avance tecnológico, se ha conseguido obtener una mejor optimización de la mezcla airecombustible. La implementación de la inyección multipunto, que inyecta combustible en cada cilindro a una presión idónea, combinada con la inyección directa, ofrece mayor potencia y reducción de consumo. Estas tecnologías han demostrado reducir un 20-40% el consumo en ralentí en motores a gasolina. Además, se cuenta con una bomba de combustible que funciona y controla la cantidad de paso de combustible según las necesidades del motor. Con poca carga al motor, se disminuye la presión del combustible y a la vez el caudal inyectado. Por el contrario, cuando se solicita carga al motor, la presión y el caudal de combustible aumentan, variando entre 1.5 hasta 5 bares y caudales entre 0.6 hasta 55 L/h (Jimcontent).

Además, existen factores adicionales que influyen en la eficiencia de combustión y consumo de combustible, como el diseño, configuración, presión y número de agujeros del inyector, y diámetro de los orificios. Un estudio denominado “Estudio de la variación de la presión del combustible para mejorar la pulverización y el alcance del chorro de inyección” muestra que, a mayores presiones y pulsos iguales o menores, el flujo de inyección aumentará o tendrá valores similares. En este estudio, se modificó la presión de trabajo del inyector a 5 bar y se redujo el ancho de pulso de inyección a 2 ms, lo que resultó en una reducción en el flujo de combustible inyectado a un valor de 66 mL respecto a una presión de 3.5 bar y pulso de 2.2 ms con flujo de 78 mL. Por lo tanto, se logró un menor consumo de combustible (Rojas Reinoso, Duque Escobar, Guapulema Guapulema, & Soriano, 2023). Esta información puede respaldarse con

el estudio llamado “The Effects of Multirow Nozzles on Diesel Combustion”, en el cual se menciona que el diámetro de los orificios de la tobera en motores a Diésel permite una penetración más corta del combustible en la fase líquida, obteniendo ventajas como la reducción del impacto del combustible alrededor de las paredes de la cámara y provocando un retardo de ignición más corto, lo que conlleva a una sobre mezcla menor de combustible. Así pues, el caudal de combustible por cada orificio disminuye de forma rápida cuando se reduce el diámetro de los orificios de la tobera (Bergstrand & Ingemar , 2003).

Por otra parte, las situaciones de tráfico y la forma de manejar son aspectos claves al discutir mejoras en la eficiencia del combustible. El uso de técnicas de conducción Eco-driving, una práctica considerada económica respecto otros estilos de manejo y que es común y empleado en países desarrollados. En relación con este tipo de conducción, se han realizado evaluaciones donde se ha concluido que los beneficios de implementar este tipo de conducción permiten ahorrar combustible entre un 2% hasta un 50% (Leguísamo Milla, Llanes Cedeño, & Rocha Hoyos, 2020). En un estudio realizado en Quito con ruta desde el I.S.T Superior Mayor Pedro Traversari, pasando por la Avenida Mariscal Sucre y con punto de llegada en el parque inglés, al norte de Quito, se consumen 11.77 L/100Km en condiciones de alto tráfico y conducción normal en comparación al mismo estilo de manejo y con situación de tráfico escaso con un valor de consumo de 8.54 L/100Km. Mientras que, implementando una conducción Eco-driving en la misma ruta y en función del tráfico, se puede reducir hasta un consumo de 2.24 L/100Km (Espinoza Cuadrado, Pantoja Villacís, Castro Herrera, Sangovalin Chuilisa, & Villamarin Molina, 2022).

La presente investigación será realizada dentro del Distrito Metropolitano de Quito utilizando un Chevrolet Sail para el desarrollo del proyecto.

## 2. Materiales y Métodos

La metodología se representa en la Figura 1, en la cual se utiliza un método experimental para la realización de pruebas en ruta y recopilación de los datos y un método cuantitativo, para realizar un análisis y comparación del consumo en función de las variables de estudio, las cuales son: la

aplicación de una conducción Eco-driving, cantidad de orificios que disponga la tobera del inyector, además de la situación de tráfico y horas pico en la ciudad de Quito.

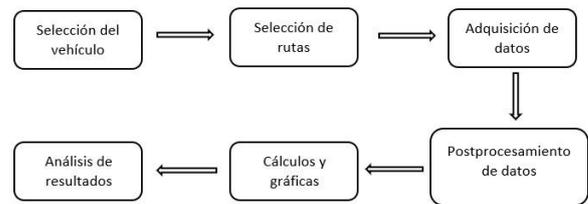


Figura 1. Esquema metodológico

### 2.1. Vehículo de pruebas: Chevrolet Sail

Para la prueba en ruta, se seleccionó el vehículo Chevrolet Sail de la Figura 2. La elección de este vehículo se debe a que, según datos de la AEADE, la marca Chevrolet se encuentra en el segundo lugar de ventas en tipo automóviles y SUV con un total de 1560 ventas entre enero y febrero del 2024 (AEADE, 2024) y en cuanto al modelo Sail, en los años 2015 y 2016 se posicionó como el vehículo más vendido, esto se debe a que es un sedán que ofrece prestaciones superiores en términos de confort y eficiencia. La elección de estos sedanes por parte de los usuarios se motiva principalmente por su ahorro económico, que abarca desde el precio de venta hasta los bajos costos en consumo de combustible y mantenimiento (Gallegos Enalíeva, 2015). Las características del Sail se describen en la Tabla 1.



Figura 2. Chevrolet Sail

Tabla 1: Especificaciones del vehículo. (Chevrolet, s.f.)

Información general	Especificaciones
Índice de compresión	10.2:1
Cilindrada	1398 cc
Motor	S – TEC II 16V
Encendido de cilindros	1-3-4-2
Inyección	Inyección Multipunto
Cantidad de Cilindros	4
Tipo de inyección	Secuencial
Bobinas	COP

Para la realización de las pruebas, se efectuó un plan de mantenimiento, el cual consistió en el mantenimiento de los inyectores, como cambio de microfiltros y limpieza de ellos, limpieza del cuerpo de aceleración y cambios de los filtros de gasolina y aire. Adicional a esto, se comprueba con la ayuda de un escáner, que el sistema de inyección no presente ningún mal funcionamiento.

## 2.2. Inyectores de prueba

Para la inyección del combustible, se utilizan los inyectores de la marca “TRAEN” funcionales para el Sail y otros alternos de la marca “Corea”, los cuales tienen 6 y 4 orificios en la tobera, respectivamente mostrados en las Figuras 3 y 4. Las especificaciones de los inyectores de prueba se muestran en la Tabla 2.



Figura 3. Medidas de los orificios del inyector TRAEN

Tabla 2: Especificaciones del inyector TRAEN y COREANO

Marca	Especificaciones	
	TRAEN	COREANO
Voltaje de alimentación	12 V	12 V
Resistencia	12 Ohm	12 Ohm
Número de orificios	6	4
Diámetro de los orificios	193.5 $\mu\text{m}$	237.25 $\mu\text{m}$
Presión	4 bar	4 bar



Figura 4. Medidas de los orificios del inyector Coreano.

## 2.3. Protocolo de Conducción Eco-driving

Para aplicar una conducción Eco-driving en vehículos con transmisión manual, el conductor debe cumplir con ciertas condiciones mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3: Condiciones para el Eco-driving. (Karolys Jarrín , 2021)

CONDICIÓN	CUMPLIMIENTO
Arranque del motor	No accionar el acelerador
Cambios de marcha	2000 RPM – 2500 RPM
Utilización de marchas	Combinación de bajas revoluciones y marchas prolongadas
Aceleraciones y desaceleraciones	Suaves
Velocidad	Constante
Freno del vehículo	Accionar freno de motor
Descenso de pendientes	En marcha, no pisar el acelerador
Paradas	Paradas de larga duración, se recomienda apagar el motor
Aire acondicionado	Desactivado
Ventanas	Cerradas

## 2.4. Adquisición de datos

Se utiliza el puerto On Board Diagnostic (OBD II), el cual permite realizar un diagnóstico a bordo por medio de los datos en vivo, tanto de los actuadores como de los sensores, además de información de diagnóstico de diferentes módulos de control (Malekian, Moloisane, Nair, Maharaj, & Chude-Okonwo, 2016). El desarrollo del OBD II dio lugar al desarrollo de herramientas de escaneo, los cuales se conectan por medio del del puerto OBD de 16 pines, cuya descripción se observa en la Tabla 4.

El dispositivo que se utilizó es la interfaz ELM 327 de la Figura 6, el cual permite adquirir los datos en vivo de diferentes sensores, como el sensor MAP, ECT, IAT, entro otros. La conexión entre el teléfono y la interfaz se realiza por bluetooth y la aplicación Torque Pro, la cual permite monitorizar los PID deseados, visualizar

los datos en vivo y guardarlos con una configuración de 1 segundo por dato y en unidades del sistema internacional o en unidades del sistema métrico inglés. La finalidad es guardar un registro de todos estos datos en formato .csv para posteriormente ser procesados.

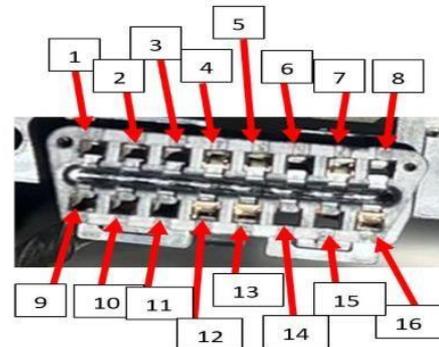


Figura 5. Conector OBD II. (Pulluquitin Angulo & Muñoz Ramírez, 2024)

Tabla 4: Conexión de pines OBD II. (Malekian, Moloisane, Nair, Maharaj, & Chude-Okonwo, 2016)

2	J1850 Bus+
4	Chasis (-)
5	Señal (-)
6	CAN - H
7	ISO línea K
10	J1850 Bus -
14	CAN - L
15	ISO línea L
16	+B

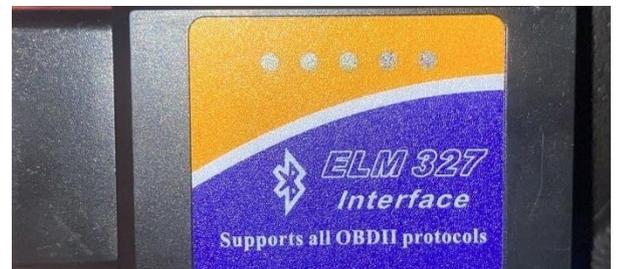


Figura 6. Interfaz ELM 327

## 2.5. Post-procesamiento de datos

Como primer punto se carga el archivo .csv al software Matlab para posteriormente, seleccionar los PID's necesarios para el cálculo como, por ejemplo, la presión, la velocidad, el número de muestras tomadas, el consumo instantáneo en kilómetros por litro (km/L), entre otros. Con esto, se realiza el proceso de cálculo y se obtienen diferentes gráficas para ser analizadas.

## 2.6. Ruta de pruebas

Para el desarrollo del proyecto, se establece un recorrido en la ciudad de Quito plasmada en la Figura 7. Para trazar la ruta, se necesita la adquisición de los datos tanto de la

longitud como de la latitud captados por el GPS. Además, por medio de la barra de colores se puede observar las velocidades de circulación reportadas por el GPS durante todo el recorrido.

La ruta inicia en la Universidad Politécnica Salesiana sede Sur, pasando por Guajaló para ingresar a la Avenida Simón Bolívar, la cual permite la conexión de forma más rápida entre el Sur y Norte de Quito, donde, de 90000 a 100000 vehículos que circulan por ella al día, el 40% son de vehículos de carga pesada (La Hora, 2023). El punto de llegada de la ruta es el redondel de Carapungo.

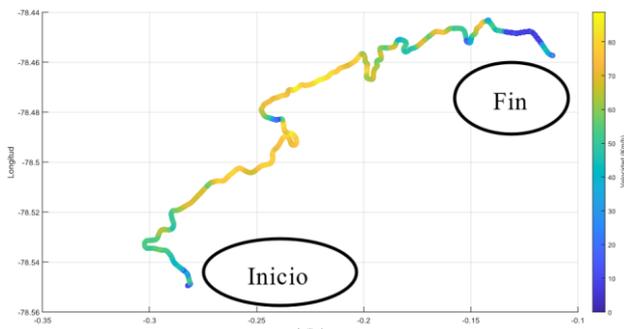


Figura 7. Ruta establecida

El motivo de la selección de esta ruta se debe a que, además de unir el sur y norte de la ciudad, presenta todos los días alto tráfico en horas pico (Cáceres, 2024) y tiene gran distancia de recorrido que involucra un ciclo combinado, es decir, tramos de conducción en zonas urbanas y vías perimetrales o carreteras (Quinchimbla Pisuña & Solís Santamaría, 2017).

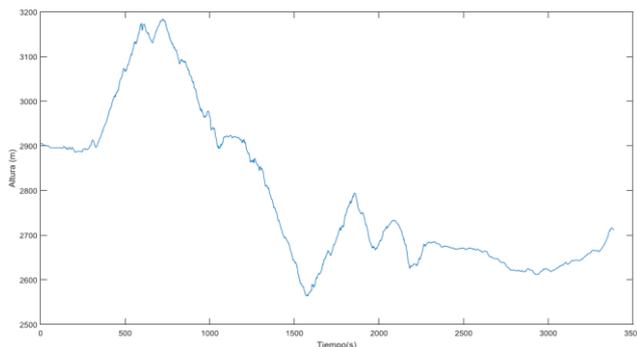


Figura 8. Alturas del recorrido

La Figura 8, muestra las alturas del recorrido, en donde el inicio se da a 2902 m.s.n.m y el final 2715 m.s.n.m con una altura máxima alcanzada de 3185 m.s.n.m.

## 2.7. Estimación del consumo de combustible

Se empieza utilizando la ecuación de los gases ideales.

$$P * V = n * R * T \quad (1)$$

La presión proporcionada por el sensor MAP se representa por la letra P y está en unidades de KPa, V es la cilindrada del motor en metros cúbicos, n representa la cantidad de moles, R la constante de gas ideal y, por último, la temperatura del aire que ingresa en el sistema de admisión se presenta con la letra T y está en grados Celsius (Molina Campoverde, 2023).

Otra de las ecuaciones necesarios para el cálculo es:

$$masa(aire) = n * M \quad (2)$$

donde se calcula la masa de aire.

Para el cálculo de la eficiencia volumétrica, se usa la fórmula de la ecuación 3:

$$n_v = \frac{\dot{m}_a(real)}{\dot{m}_a(ideal)} \quad (3)$$

$$\dot{m}_a(ideal) = \frac{PV}{RT} \quad (4)$$

A partir de la ecuación 4, se puede calcular el flujo másico de aire ideal, tomando en cuenta las condiciones atmosféricas como la presión y temperatura ambiente del lugar y la constante R de los gases ideales.

Para la obtención del flujo másico real de aire se emplea la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_a = masa(aire) * n_v * \frac{RPM}{2 * 60} \quad (5)$$

La ecuación 6, representa la fórmula para el flujo de combustible, tomando el AFR de 14.7:1 correspondiente a los vehículos que utilizan gasolina, además de tener en cuenta su densidad (737 g/L).

$$\dot{m}_{comb} = \frac{\dot{m}_a(g/s)}{AFR * \rho_{comb}(g/L)} \quad (6)$$

Con los resultados obtenidos, se realiza una integración numérica trapezoidal (trapz) en función del tiempo y el flujo para obtener el consumo de combustible total.

### 3. Resultados y Discusión

Para obtener gráfica de velocidad versus tiempo mostrada en la Figura 9, se necesita cambiar las unidades de Km/h arrojadas de forma predeterminada por la interfaz ELM 327 a m/s, para así obtener compatibilidad en las unidades y proceder con futuros cálculos (Molina Campoverde, 2023). Durante todo el trayecto se aplicaron las técnicas de eco-driving para mantener la velocidad lo más constante posible y, de ser el caso, tener aceleraciones progresivas de manera que se pueda emular el movimiento rectilíneo uniformemente variado (M.R.U.V).

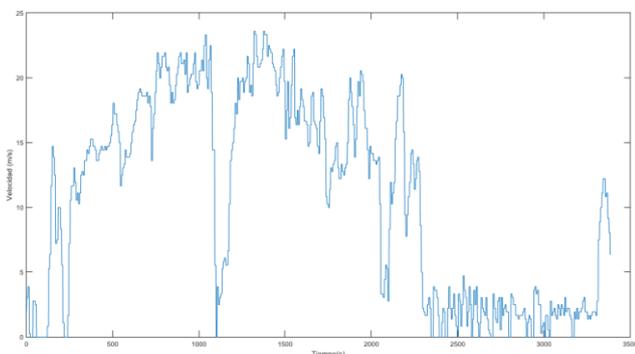


Figura 9. Velocidad – Tiempo

Conociendo el tiempo y la velocidad, se calcula la distancia recorrida con la ayuda de la integral, esto ayuda a obtener la distancia total recorrida y poder graficarla. La Figura 10 refleja que, el estilo de conducción implementado tiene mucha similitud con el M.R.U.V. La trayectoria obtenida tiene tendencia parabólica de acuerdo con el perfil de velocidades.

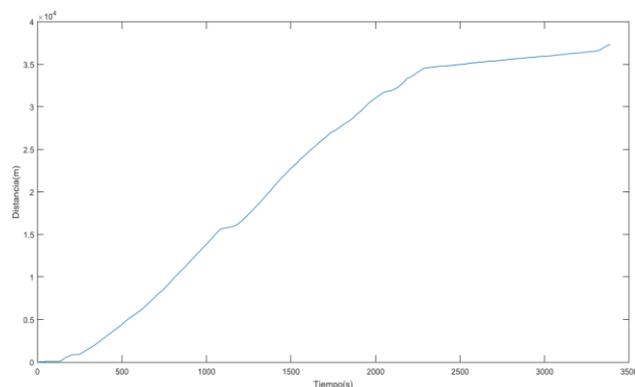


Figura 10. Distancia – Tiempo

La Figura 11, representa el diagrama de las aceleraciones hechas en el recorrido. Como se observa,  $5.5539 \text{ m/s}^2$  representa la aceleración máxima, mientras que la mínima es de  $-8.8863 \text{ m/s}^2$ . Al tener aceleraciones negativas, el signo (-) indica que el vehículo disminuye su velocidad.

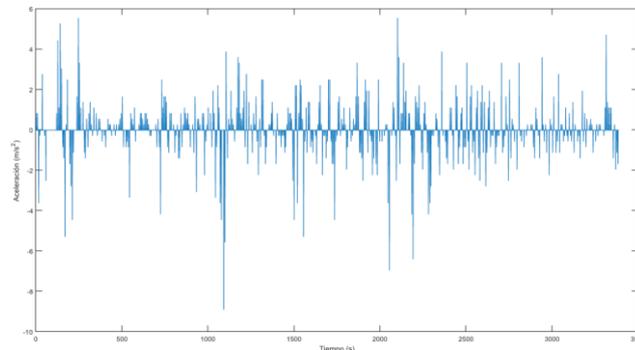
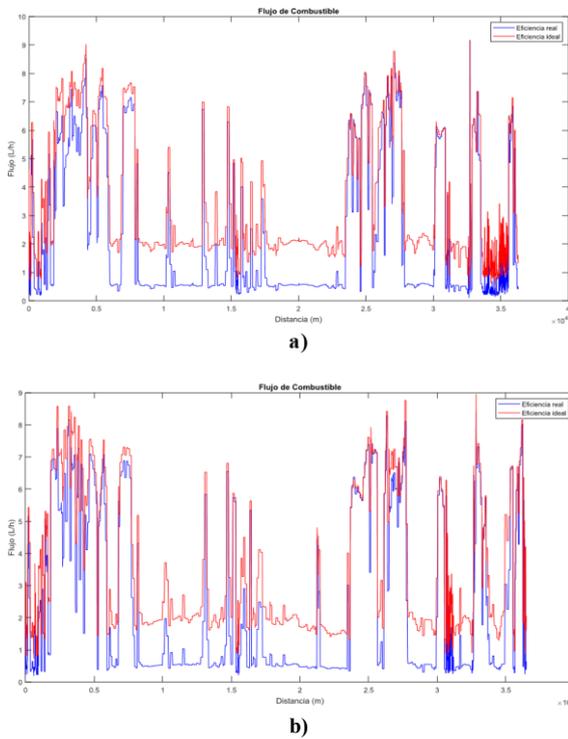


Figura 11. Aceleración - Tiempo

La Figura 12 muestra los flujos de combustible en L/h en función de la distancia recorrida y tomando en cuenta las eficiencias reales e ideales del vehículo. La Figura 12a y 12b representan las gráficas para los inyectores de 6 y 4 orificios, respectivamente. En ellas se observa que existen tramos donde las gráficas de consumo de combustible real siguen la misma tendencia de la gráfica teórica mientras que en otras tiene diferencia en los valores medidos. Esto se debe a que, en condiciones ideales, se asume que la eficiencia volumétrica alcanza un 100%, lo que implica un llenado total de los cilindros con aire y combustible. En la práctica, el llenado se ve afectado por variaciones ambientales, particularmente la altitud. A medida que la altitud aumenta, se produce una disminución en la presión atmosférica, lo que a su vez provoca una reducción en la densidad del aire. Esta disminución influye directamente en la eficiencia volumétrica, haciéndola inferior al 100%. Además de reducir una cantidad considerable de oxígeno, producto de la expansión térmica a menor presión, provocando una combustión poco eficiente, requiriendo ajustes en la configuración del motor, como un mayor avance en el encendido, para compensar la reducción en la eficiencia volumétrica y mantener un rendimiento óptimo del motor.



**Figura 12.** a) Inyector de 6 orificios; b) Inyector 4 orificios

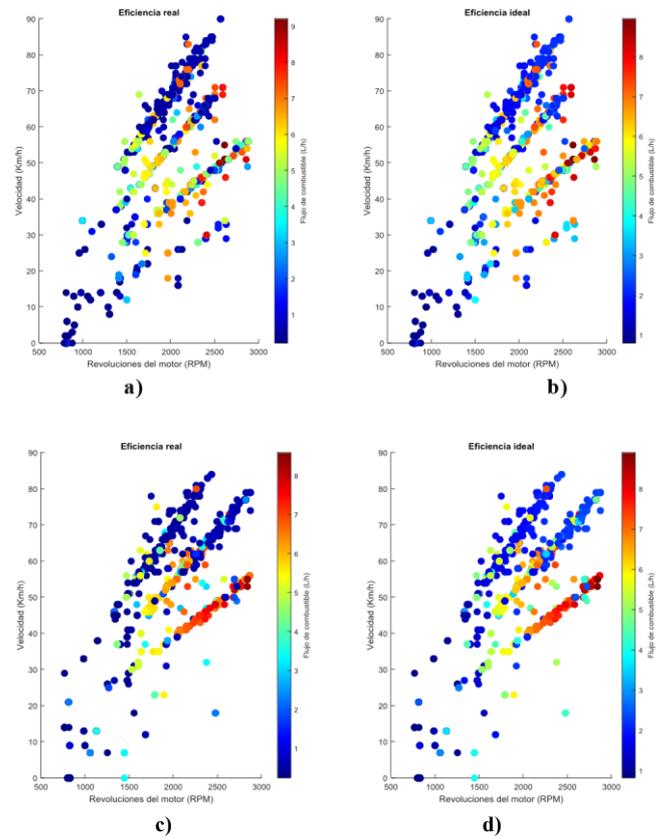
Para el análisis de las siguientes gráficas, es necesario conocer que la técnica de Eco-driving aplicada pone énfasis en el correcto uso de las velocidades de la caja de cambios, donde cada marcha se efectúa en los intervalos mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5: Rango de velocidad del vehículo con Eco-driving

Velocidad	Intervalo
Primera velocidad	0 a 20 km/h
Segunda velocidad	20 a 40 km/h
Tercera velocidad	30 a 60 km/h
Cuarta velocidad	50 a 90 km/h

Esto permitió que las RPM no sobrepasen de 3000. La Figura 13 representa el flujo de combustible en función las RPM y la velocidad del vehículo en condiciones de tráfico bajo. La escala de colores indica que el color azul representa valores lo más cercanos a 0 L/h mientras que el color rojo es para valores cercanos a 8 L/h. Cada conjunto de puntos corresponde a un respectivo cambio, desde abajo

hacia arriba, se tiene primera, segunda, tercera y cuarta velocidad.



**Figura 13.** Flujos de combustible. a) - b) Inyector 6 orificios; c) - d) Inyector 4 orificios

En las imágenes 13a y 13b, se observa el consumo real y teórico, respectivamente, para el inyector de 6 agujeros, mientras que en la figura 13c y 13d son los consumos para el inyector de 4 agujeros.

Para el inyector de 6 agujeros, se observa cuatro dispersiones de forma lineales, que representan las marchas utilizadas en el trayecto. Además, para ambos inyectores, a partir de la segunda velocidad o marcha, la distribución de puntos se encuentra mejor definida. En las Figuras 13a y 13b, el flujo de combustible es casi idéntico tanto para eficiencias reales e ideales, hasta que llega un claro momento donde el flujo con eficiencia ideal aumenta a partir de los 55 km/h aproximadamente en comparación al flujo con eficiencia real.

Un particular comportamiento se tiene en el inyector de 4 orificios en segunda velocidad, puesto que el flujo de combustible está entre 7 a 8 L/h entre velocidades de 40 Km/h hasta 55 Km/h para un régimen de giro del motor superior a 2000 RPM e inferior a las 3000 RPM. En la misma marcha, pero en el inyector de 6 agujeros, el consumo se encuentra en 6 a 7 L/h. Un estudio denominado “Estimación del consumo de combustible a través de las

señales PID'S mediante la utilización del ciclo de emisiones reales en la ciudad de Quito – Ecuador” señala que existe una correlación lineal entre la potencia del motor

L/100Km, y esto toma sentido debido a la proporción inversa entre la eficiencia y el consumo.

(KW) y el flujo de combustible (Molina Campoverde, 2023). En dicho estudio una potencia de 20 KW a unas 2000 RPM y en quinta marcha, corresponde a un flujo de aproximadamente 11 L/h para un vehículo KIA tipo sedán 1.4 L. En el caso del Sail, la potencia máxima se alcanza a 6000 RPM (Consuegra Pacheco, 2007), así una potencia de 25.35 KW le corresponde un flujo entre los 7 y 8 L/h en cuarta marcha.

Finalmente, se comparan los valores específicos de consumos reales e ideales en galones para ambos inyectores, visualizados en la Tabla 6.

Tabla 6: Resultados promedios del consumo de combustible

Promedios		
Inyectores	Eficiencia	Consumo total (gal)
6 orificios	Real Ideal	0.4957
4 orificios	Real Ideal	0.5321
		0.7786

El consumo promedio total de combustible con eficiencias reales es de 0.4957 galones con los inyectores de 6 orificios, mientras que con un inyector de 4 orificios el consumo total es superior, con un total de 0.5321 galones, existiendo así un ahorro del 6.84 %. En cuanto al consumo con eficiencia ideales, el inyector de 6 orificios reduce el consumo un 3.236 % respecto al inyector con 4 orificios.

#### 4. Conclusiones

Se logró calcular el consumo de combustible con los inyectores de 6 y 4 orificios aplicando una conducción Eco-driving. Los inyectores con 6 orificios consumen menos combustible que un inyector de 4 orificios, debido a una mejor pulverización, provocando así una combustión más eficiente. En el caso de los inyectores con 6 orificios, el cálculo del consumo ideal (eficiencia del 100%) es de 0.7534 galones, mientras que, con una eficiencia real, el consumo real se reduce a 0.4957 galones con un rendimiento de 5.17

Según el catálogo del vehículo, el rendimiento de combustible de este vehículo es de 60 Km/galón, y en base a este dato, el consumo real sería de 0.6053 galones para una distancia de 36,317 Km de la ruta establecida. Sin embargo, al aplicar una conducción Eco-driving durante toda la ruta, este consumo se reduce un 18,11%. Para los inyectores de 4 orificios, el consumo se reduce un 12,09% y con esto podemos concluir que, con el inyector de 6 orificios se ahorra un consumo de combustible del 6.02% respecto a los otros inyectores.

En términos económicos para el consumo de 0.6053 galones, representa \$543.499 dólares al año, mientras que para el menor consumo de 0.4957 galones el cual corresponde al inyector de 6 orificios, representa \$445.089 dólares, existiendo así un ahorro de 98.41 dólares/año al aplicar una conducción Eco-driving.

El mayor consumo con el inyector de 6 orificios se produjo con tráfico alto, con un valor de consumo real de 0.5464 galones en un tiempo de 4674 segundos, de los cuales 373 segundos fueron en ralentí, es decir, un 7.98 %. El menor consumo fue de 0.4778 galones en un tiempo de 2250 segundos de los cuales 134 segundos fueron en ralentí que representa un 5.96 % del tiempo.

#### 4. Referencias

- AEADE. (2024). Boletín de ventas Febrero 2024. Obtenido de [https://www.aeade.net/wpcontent/uploads/2024/03/BOLETIN-VENTAS\\_PRENSA\\_MARZO-2024.pdf](https://www.aeade.net/wpcontent/uploads/2024/03/BOLETIN-VENTAS_PRENSA_MARZO-2024.pdf)
- Barrera Becerra, D. F. (2019). Determinación del consumo combustible y emisiones en vehículos de uso urbano del área metropolitana de Bucaramanga mediante simulación en simulink a partir de ciclos de conducción. Repositorio de la universidad, [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Bucaramanga], Bucaramanga. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12749/1504>

- Berasategui Moreno, J., & Malogón Picón, B. (11 de Marzo de 2024). Tecnología de los combustibles. Obtenido de Universidad de Cantabria: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2429/course/section/2454/TC-1.pdf>
- Bergstrand , P., & Ingemar , D. (2003). The Effects of Multirow Nozzles on Diesel Combustion. JSTOR, 112, 944-956. doi:<https://www.jstor.org/stable/44741324>
- Cáceres, M. (2024). El comercio. (Estos son los puntos donde hay más siniestros de tránsito en la avenida Simón Bolívar, en Quito) Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/puntos-criticos-simon-bolivarsiniestros-transito.html>
- Chevrolet. (s.f.). Especificaciones técnicas. Obtenido de [https://www.chevrolet.com.co/bypass/master\\_tools/content/chevrolet/latam/colombia-quantumtools/nscwebsite/es/index/vehicle/sn02/cars/sail-sedan/features-andspecs/technical-specs.html](https://www.chevrolet.com.co/bypass/master_tools/content/chevrolet/latam/colombia-quantumtools/nscwebsite/es/index/vehicle/sn02/cars/sail-sedan/features-andspecs/technical-specs.html)
- Chevrolet. (s.f.). Ficha Técnica . Obtenido de <https://www.chevrolet.com.co/content/dam/chevrolet/southamerica/colombia/esp/anol/index/cars/2019-sail/mov/02-pdfs/sail-fichatecnica.pdf>
- Consuegra Pacheco, S. (2007). Módulo motores diésel. Obtenido de <https://www.unibarranquilla.edu.co/docs/17-S-Consuegra-Modulo-Motores-Diesel.pdf>
- CONUEE. (s.f.). Derivados del petróleo, el Diésel. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241728/DieselFT.pdf>
- Espinoza Cuadrado, J., Pantoja Villacís, D., Castro Herrera, C., Sangovalin Chuilisa, J., & Villamarin Molina, J. (2022). Consumo de combustible frente a la eco conducción y tráfico en una ruta mixta en la ciudad de Quito. Revista Científica Y Tecnológica UPSE, 85-96. doi:<https://doi.org/10.26423/rctu.v9i2.708>
- Gallegos Enalieva, E. R. (2015). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONSUMIDOR EN LA COMPRA DE VEHÍCULOS NUEVOS DE USO PERSONAL Y SU INCIDENCIA EN LA FIDELIDAD CON LA MARCA EN EL NORTE DE QUITO AÑO 2013. Repositorio de la universidad, [Universidad Internacional SEK, Tesis de Postgrado], Quito. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/1960>
- Jimcontent. (s.f.). Inyección Directa de Gasolina. Recuperado el 07 de Marzo de 2024, de <https://se346317cda677321.jimcontent.com/download/version/1606732317/module/11773487377/name/INYECCION%20DIRECTA%20DE%20COMBUSTIBLE.pdf>
- Karolys Jarrín , B. E. (2021). Evaluación del consumo de combustible en vehículos a 2385 msnm en los modos de conducción normal y eco-driving. [Universidad Internacional del Ecuador, Tesis de grado]. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4087>
- KIA. (s.f.). ¿Qué es la eficiencia de combustible? Obtenido de <https://www.kia.com/hn/discoverkia/ask/what-is-fuel-efficiency.html>
- La Hora. (17 de Octubre de 2023). La Av. Simón Bolívar necesita una renovación urgente. Obtenido de <https://www.lahora.com.ec/pais/la-viasimon-bolivar-quito-necesitarenovacion-urgente/>
- Leguísamo Milla, J. C., Llanes Cedeño, E., & Rocha Hoyos, J. (2020). Impacto del Ecodriving sobre las emisiones y consumo de combustible en una ruta de Quito. Enfoque UTE. doi:<https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n1.500>
- León Olmedo, L. A., & Lozada Enríquez, B. A. (2017). INSTRUMENTACIÓN DEL SIMULADOR DEL MODELO SAIL 1,4 LTZ EL CUAL PERMITE ACCEDER A LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS CON LA FINALIDAD DE MONITOREAR , CONTROLAR, EVALUAR Y DIAGNOSTICAR TODOS LOS MODOS Y EFECTOS DE FALLA DE SENSORES Y

- ACTUADORES. Repositorio de la universidad, [Universidad Internacional del Ecuador, Tesis de grado], Quito. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2472>
- Lima Oyola, B. A., & Gálvez Sandoval, E. J. (2016). Análisis de consumo de combustible de los vehículos de categoría M1 que circulan en el centro histórico de la ciudad de Cuenca en horas de máxima demanda en función de ciclos de conducción. Repositorio de la universidad, [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca], Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12167>
- Malekian, R., Moloisane, N. R., Nair, L., Maharaj, B., & Chude-Okonwo, U. (2016). Design and Implementation of a Wireless OBD II Fleet Management System. *IEEE*, 17, 1154-1164. doi:10.1109/JSEN.2016.2631542
- Ministerio de Energía y Minas. (2021). Balance Energético Nacional. Recuperado el 06 de Febrero de 2024, de [https://www.recursosyenergia.gob.ec/wpcontent/uploads/2022/08/Balance\\_Energe%CC%81tico\\_Nacional\\_2021-VF\\_opt.pdf](https://www.recursosyenergia.gob.ec/wpcontent/uploads/2022/08/Balance_Energe%CC%81tico_Nacional_2021-VF_opt.pdf)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). El petróleo y su comportamiento. Obtenido de [https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/planribera/contaminacion-marinaaccidental/petroleo\\_y\\_comportamiento.html](https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/planribera/contaminacion-marinaaccidental/petroleo_y_comportamiento.html)
- Molina Campoverde, P. A. (2023). Estimación del consumo de combustible a través de las señales PID'S mediante la utilización del ciclo de emisiones reales en la ciudad de Quito- Ecuador. [Universidad Politécnica Salesiana, Tesis de posgrado], Quito. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25028>
- Molina López, A. R., & Morales Balseca, J. (s.f.). Análisis del consumo de combustible aplicando conducción normal y conducción eficiente (Ecodriving) en el distrito Metropolitano de Quito, utilizando combustible de 87 octanos en un vehículo con 1600 cc. Repositorio de la universidad, [Universidad Politécnica Salesiana, Tesis de Grado], Quito. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23412>
- Núñez Pérez, C. S. (2018). ESTUDIO DE EMISIONES DE GASES EN VEHÍCULOS A GASOLINA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS HUACHI. Repositorio de la universidad, [Universidad Técnica de Ambato, Tesis de Grado], Ambato. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29538>
- Paredes Gordillo, C. A. (2011). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO DE UN MOTOR A INYECCIÓN ELECTRÓNICA MPFI. Repositorio de la universidad, [Escuela Politécnica del Ejército, Tesis de grado], Latacunga. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/3822>
- PRIMICIAS. (08 de Abril de 2024). Galón de gasolina Extra y Ecopais subirá a USD 2,47 y diésel a USD 1,80 por alza del IVA. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/gasolina-extra-ecopais-dieselalza-iva-precios-noboa/>
- Pulluquitin Angulo, J. G., & Muñoz Ramírez, A. A. (2024). Manual de diagnóstico, entrenamiento y solución de fallas empleando instrumentación automotriz en un vehículo marca Chevrolet Optra 1800 cc. [Universidad Politécnica Salesiana, Tesis de grado], Quito. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27053>
- Quinchimbla Pisuña, F. E., & Solís Santamaría, J. M. (2017). 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. [Universidad Politécnica Nacional, Tesis de Posgrado]. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17000>
- Reyes Campaña, G. G., Guanuche Larco, D., Morocho Pérez, S., Nuñez García, A., & Silva Hinojosa, C. (28 de Junio de 2023). Análisis de los parámetros de atomización en inyectores crdi2. Recuperado el 8 de Marzo de 2024
- RO-DES. (s.f.). ¿Qué es la bomba de inyección Diésel y cómo funciona el sistema? Obtenido de <https://www.ro-des.com/mecanica/bomba-deinyeccion-diesel-que-es-y-comofunciona/>
- Rodríguez Herrera, R. G. (2019). Elaboración de un manual didáctico de despiece y armado de la bomba lineal diésel tipo PE de seis elementos. Repositorio de la universidad, [Tesis de grado, Universidad Internacional del Ecuador], Guayaquil. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3925>
- Rojas Reinoso, V., Duque Escobar, S., Guapulema Guapulema, C., & Soriano, J. A. (2023). Study of the Variation of Fuel Pressure to Improve Spraying and the Range of the Injection Jet. Energies. doi:<https://doi.org/10.3390/en16145472>
- Rosales Cárdenas, P. S., Pillco Duchi, D. A., Sarmiento Ortiz, F. A., & Zambrano Matute, J. C. (2012). Construcción de bancos de entrenamiento para la capacitación en los sistemas de inyección diésel y gasolina multipunto y monopunto. Repositorio de la universidad, [Universidad Politécnica Salesiana, Tesis de grado], Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4261>
- Universidad Nacional de la Plata. (s.f.). Funcionamiento del sistema de inyección electrónica. Recuperado el 12 de Marzo de 2024, de <https://unlp.edu.ar/wpcontent/uploads/2022/07/CURSO-DEMECANICA-II-Clase-5.pdf> University of Michigan. (18 de Febrero de 2016). Los conductores de EE.UU tienen en sus manos las llaves para ayudar a reducir las emisiones de carbono. Obtenido de <https://espanol.umich.edu/noticias/2016/02/18/los-conductores-de-ee-uutienen-en-sus-manos-las-llaves-paraayudar-a-reducir-las-emisiones-decarbono/>
- Yoon, S., Lee, S., Kwon, H., Lee, J., & Park, S. (2018). Effects of the swirl ratio and injector hole number on the combustion and emission characteristics of a light duty diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 142, 68-78. doi:<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.06.076>