

## Sistema de estimación de consumo de combustible y autonomía de los motores de inyección directa funcionando con gas licuado del petróleo.

### Fuel consumption and range estimation system for direct injection engines running on liquefied petroleum gas.

Guano Rocha Santiago Joel, Ibarra López Ángel David

"Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE" / Departamento de Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz Quito, Ecuador

Correspondencia Autores: [sjguano@espe.edu.ec](mailto:sjguano@espe.edu.ec) / [adibarra@espe.edu.ec](mailto:adibarra@espe.edu.ec)

Recibido: 18 de julio 2022, Publicado: 18 de diciembre de 2022

**Resumen—** El presente artículo científico describe el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de estimación de consumo de combustible y autonomía para motores de inyección directa (GDI) operando con Gas Licuado de Petróleo (GLP). Se evaluó el comportamiento del sistema de alimentación de combustible dual (gasolina y GLP) de quinta generación mediante pruebas de ruta en tres escenarios: urbano, carretera y combinado. La metodología utilizada se fundamentó en protocolos internacionales de conducción WLTP que permitieron realizar un análisis comparativo entre el consumo de gasolina y el sistema dual.

Se emplearon interfaces como ECO OBDII, ELM327, CarScanner y Geo Tracker, además de software especializado como Landi Renzo System A, para la recolección, visualización y análisis de datos en tiempo real. Se instalaron indicadores visuales y mecánicos en el tablero del vehículo para monitorear el nivel de carburante. El método gravimétrico fue la base para determinar con precisión el consumo de combustible. Los resultados obtenidos muestran un ahorro significativo de combustible: 28,91% en entorno urbano, 31,99% en carretera y 29,73% en rutas combinadas. Asimismo, se registró una autonomía adicional de hasta 784,53 km con el uso del sistema dual y gdi incluido. Se demuestra la viabilidad técnica y económica de integrar sistemas de GLP en vehículos de inyección directa, aportando una alternativa sostenible frente al consumo exclusivo de gasolina

**Palabras clave—** GLP, DUAL, Consumo de combustible, Autonomía, GDI

**Abstract—** This scientific article describes the design, development, and implementation of a fuel consumption and range estimation system for direct injection (GDI) engines operating with Liquefied Petroleum Gas (LPG). The behavior of a fifth-generation dual fuel system (gasoline and LPG) was evaluated through road tests across three scenarios: urban,

highway, and combined. The methodology was based on WLTP international driving protocols that enabled a comparative analysis of fuel consumption between gasoline and the dual system.

Interfaces such as ECO OBDII, ELM327, CarScanner, and Geo Tracker, as well as specialized software like Landi Renzo System A, were used to collect, display, and analyze real-time data. Visual and mechanical indicators were installed on the vehicle dashboard to monitor fuel level. The gravimetric method was used to accurately determine fuel consumption. The results show significant fuel savings: 28.91% in urban settings, 31.99% on highways, and 29.73% on combined routes. Additionally, an increase of up to 784.53 km in range was recorded with the dual system.

This article demonstrates the technical and economic feasibility of integrating LPG systems into direct injection vehicles, offering a sustainable alternative to exclusive gasoline

**Keywords—** LPG, Fuel consumption, Range, GDI .

#### I INTRODUCCIÓN

La Resolución MME 40246 de 2016 establece que el gas licuado de petróleo (GLP) es una mezcla de hidrocarburos compuesta por propano y butano. En Ecuador, este recurso desempeña un papel importante en su cartera energética y puede ser utilizado para generar energía en motores de combustión interna M.E.P, reemplazando a la gasolina. No obstante, se enfatiza la necesidad de garantizar la fiabilidad del rendimiento de los motores de combustión de inyección directa asistidos por la gestión electrónica. [1].

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) en general emerge como una alternativa de combustible que contribuye a reducir la huella de carbono en sistemas de combustión

interna presentes en vehículos equipados con sistemas de quinta y sexta generación, tanto para el transporte público como privado en diversos países [2]

Este combustible se posiciona como una opción viable en el parque automotor debido a su menor costo y alto rendimiento, especialmente en el ámbito del transporte masivo o público. Su uso común en el transporte público y vehículos livianos se destaca por la reducción de emisiones de gases tóxicos y partículas sólidas al medio ambiente, siendo una alternativa que no contamina el aire. Además, se presenta como un método rentable, económico y respetuoso con el medio ambiente, según [3].

La modificación de un vehículo de gasolina a GLP presenta dos beneficios principales: es económica y tiene menores costos de mantenimiento. Este ahorro se estima en aproximadamente un 50% en comparación con el uso de gasolina. Además, garantiza la vida útil de los componentes del vehículo, como mantener las bujías limpias, evitar la contaminación del aceite y reducir la necesidad de recambios frecuentes.

[3] Desde el año 2008, las empresas de taxis cuentan con la autorización para cambiar su sistema de combustible por gas licuado de petróleo (GLP), lo que implica un gasto hasta tres veces menor en comparación con la gasolina. Entre enero y marzo de 2022, el consumo de GLP en el sector automotor se triplicó en relación con el año anterior, pasando de 26.829 barriles a 60.960, según datos de [4].

El aumento en la demanda de GLP en el sector de taxis se inició en 2019, cuando se eliminó parcialmente el subsidio al precio del combustible Extra o Ecopáis. Antes de 2019, la demanda para la instalación de sistemas GLP era de dos o tres vehículos al día, mientras que en la actualidad se ha elevado a 10 a 12 autos diarios. Para las compañías de taxis, el GLP tiene un precio fijo de USD 0,33 por cada kilogramo, por debajo del precio real de importación que es de USD 1,18, lo que representa una subvención estatal de USD 0,85 por kilo

[5] En 2007, mediante Decreto Ejecutivo, se autorizó a los taxistas a utilizar el GLP como alternativa al combustible. Esta decisión se tomó debido a que algunos conductores ya empleaban el gas de manera precaria y al margen de la ley. Aunque se realizó un plan piloto en Guayaquil, no se extendió a otras ciudades, y hasta la fecha, no se ha llevado a cabo una prueba para evaluar su efecto positivo en lugares con altitudes superiores a los 2000 metros sobre el nivel del mar. La Federación de taxistas de Ecuador ha solicitado al Gobierno que promueva el uso del GLP a nivel nacional, como se estableció en el decreto 630.

En Guayaquil, solo cinco estaciones de servicio privadas ofrecen GLP para los taxistas. El sistema de GLP implica

la instalación en el motor del vehículo, conectándolo con un cilindro diseñado específicamente para automóviles y colocado en el maletero. Se utiliza un sistema italiano que no elimina por completo el sistema de gasolina, ya que el vehículo se enciende y apaga con combustible.

La autonomía de un motor de combustión interna puede variar debido a varios factores, en los vehículos de combustión interna, el rendimiento del motor y el estilo de conducción influyen en la eficiencia del combustible. Aspectos como el tipo de ruta y la calidad del camino también son determinantes, ya que carreteras en mal estado o con pendientes pronunciadas pueden afectar la capacidad de recorrido. [6].

Según [7], el consumo de combustible de un vehículo se refiere a la cantidad de gasolina que el motor utiliza por unidad de distancia recorrida. Se expresa en términos de eficiencia del carburante, representando cuántos kilómetros puede recorrer el vehículo con una cierta cantidad de combustible.

Los ciclos de conducción son patrones estandarizados de aceleración, desaceleración y velocidad constante que se utilizan en pruebas de emisiones y eficiencia de combustible para evaluar el rendimiento de los vehículos en condiciones de manejo simuladas. Estos ciclos están diseñados para representar situaciones de conducción típicas y se utilizan como herramientas de prueba en laboratorios para evaluar las emisiones de escape y el consumo de combustible de los vehículos en condiciones controladas. [8]

Según [9], el protocolo WLTP es un conjunto de pruebas que se realizan en los vehículos livianos para determinar consumo y niveles de contaminantes de forma más real, este protocolo comenzó en la Unión Europea, India y Japón bajo la supervisión Europea. Esta prueba tiene una duración aproximada de 1800 segundos y alrededor de 34 kilómetros, consta de 3 fases urbano, extraurbano y combinado con sus diferentes variantes.

Según [10] en Ecuador, el Gas Licuado de Petróleo (GLP), es una opción de combustible que se ofrece en varias estaciones de servicio, es una alternativa a los combustibles convencionales y es ampliamente utilizado en turismo y furgonetas. Una de las principales empresas que ofrece GLP es Terpel, que fue pionera en abrir una estación de servicio pública con surtidores, POS y tanques de almacenamiento para GLP. Actualmente, Terpel tiene más de 250 clientes que utilizan GLP.

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es considerado un combustible más limpio en comparación con la gasolina y el Diesel debido a varias razones. Durante la combustión, el GLP emite menos contaminantes atmosféricos, como dióxido de azufre, partículas en suspensión y óxidos de nitrógeno, lo que mejora la calidad del aire. Además, su combustión produce menos compuestos de carbono, reduciendo las emisiones de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles,

que son precursores de problemas de salud y smog. El contenido de azufre en el GLP es significativamente menor que en algunos combustibles convencionales, disminuyendo las emisiones de dióxido de azufre y mitigando impactos en la salud humana y el medio ambiente. [11]

Según [12], El trasvase o recarga de GLP doméstico se realiza en las estaciones de servicio autorizadas. Según la Ley de Hidrocarburos, la comercialización, almacenamiento, distribución y venta al público de GLP debe ser realizada directamente por las empresas públicas, o por delegación por empresas nacionales o extranjeras

Existen normas como: CFR 40 de los Estados Unidos, la NBR 7024 de Brasil o el reglamento 83 de la UNECE, las cuales presentan metodologías que sirven para definir un estándar de medición. [13]

El método gravimétrico es una técnica analítica utilizada para determinar la cantidad de sustancia que se presenta en una muestra, basada en la medida de un cambio de masa. Este método implica la formación de un precipitado o la liberación de un gas seguido por la separación y pesaje del componente de interés. [13]

## II MÉTODOS Y MATERIALES

El proceso de investigación comprende la ejecución de pruebas de consumo en tres modalidades de ruta: urbana, carretera y combinada. Se llevaron a cabo antes de proceder con la instalación del sistema GLP. Se seleccionaron rutas representativas para evaluar el desempeño del motor en diferentes condiciones de manejo, proporcionando así datos relevantes para la estimación precisa del consumo de combustible en situaciones reales.

La interfaz ELM327 es una herramienta para diagnosticar vehículos con sistemas OBD II, abarcan gran parte del mercado americano, europeo y asiático, cuenta con el conector de diagnóstico de 16 pines. Es un dispositivo electrónico que funciona mediante el protocolo de comunicación automáticamente con la ECU del vehículo, para leer datos (PID'S) en tiempo real y borrar códigos de falla o DTC'S y visualizar valores de funcionamiento de sensores y actuadores.

ELM OBD II es un aplicativo informático para teléfono celular Android y computadores portátiles los cuales tengan disponibilidad de bluetooth, los cuales permiten al operario grabar y leer datos de los diferentes parámetros del vehículo donde la ECU este monitoreando.

De igual forma se observa los PID'S y los DTC'S generados por mal funcionamiento del vehículo el cual provoca que se encienda la luz de "Check Engine

Geo Tracker, es una aplicación que aportaron información como la localización, valores de tiempo, distancias y velocidades para las rutas establecidas. Proporcionaron gráficas de distancia y duración, elevación.

### Pruebas de consumo de combustible

En la prueba se midió parámetros de interés al recorrer con el vehículo la ruta establecida, se obtiene el registro de datos para en caso de necesitar valores más específicos durante el trayecto de la ruta.

Se conecta las interfases ya mencionadas como el ELM 327 y App Geo Tracker, nuevamente al realizar las rutas mientras que con el combustible de GLP tener listo el software Landi Renzo System A.

### Ruta de autonomía

Se establece una ruta de al menos 100 km para determinar la autonomía total del vehículo. Comprobando así la distancia máxima que pueda alcanzar o recorrer hasta que se termine el combustible del depósito

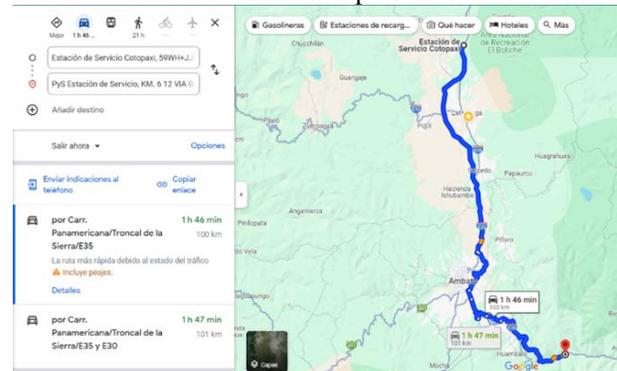


Figura 2. Ruta de prueba de consumo de combustible.

### Software Landi Renzo

Es un software que se usa para determinar el porcentaje que existe en el indicador de pluma del depósito y del indicador de leds ubicado en la parte izquierda del volante. Este software se usa mediante un cable que comunica la ECU de GLP del vehículo con el ordenador y aportó varios parámetros de los cuales se destacar el nivel en el depósito. Se conectó el cable con el socket ubicado a lado de la batería en el motor del vehículo, el socket de 4 pines y la entrada USB al computador para comenzar con la comunicación



Figura 3. Interfase de consumo de combustible

### Indicador de nivel de carburante GLP

Este indicador del carburante está ubicado en el tablero de instrumentos, en el lado izquierdo del volante, proporciona información del nivel de depósito del gas licuado de petróleo, 4 leds encendidos de color verde indican el depósito completo (60 kg de GLP domestico) y 1 led encendido de color rojo indica que ya está por terminarse el carburante.



Figura 4. Indicador de nivel en el depósito de GLP

Este indicador trabaja de forma mecánica con una boya ubicada dentro del depósito del carburante, a su vez este tiene un indicador de pluma para visualizar, de igual forma envía la información al indicador led ubicado en el tablero de instrumentos.



Figura 5. Indicador mecánico de nivel de GLP.

### III. PRUEBAS Y RESULTADOS

En los primeros minutos de las gráficas de consumos de combustible en las distintas rutas realizadas, se observa que las mediciones de consumo de combustible muestran valores significativamente altos. Esto se debe a la falta de datos recopilados durante este breve período inicial. La escasez de información detallada sobre cómo el vehículo de ensayo está funcionando y cuánto combustible está consumiendo al inicio del trayecto puede llevar a estimaciones poco precisas o a la percepción de que el

consumo es excesivamente alto.

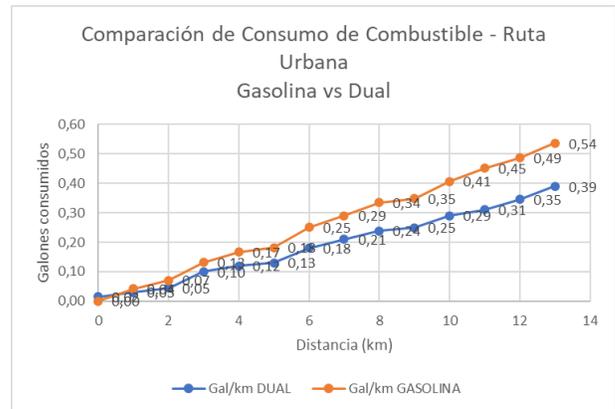


Figura 6. Comparación de consumo de combustible en la ruta urbana. (Gasolina vs Dual)

En la figura 6 se describe la tendencia del consumo de combustible de gasolina vs DUAL varía significativamente alrededor de 28.91 % de ahorro de gasolina durante ambas rutas. Ambas tienen tendencia directamente proporcional, como puntos de análisis en el kilómetro 5 de la ruta se evidenció una reducción mínima del consumo de 0,05 galones; en el kilómetro 9 tiene reducción significativa de 0,10 galones. Al finalizar el trayecto se tiene una variación de 0,15 galones consumidos.

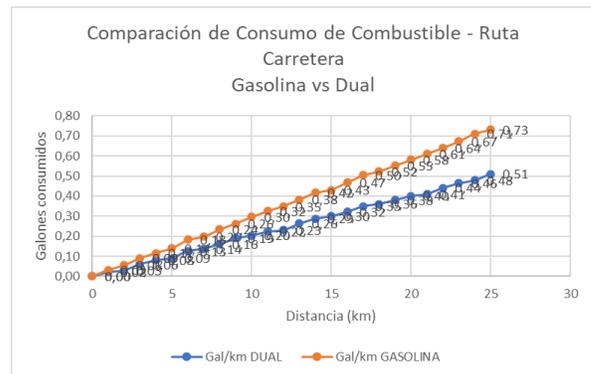


Figura 7. Comparación de consumo de combustible en la ruta carretera. (Gasolina vs Dual)

La figura 7 presenta la reducción del consumo de gasolina durante el trayecto de la ruta de carretera, con un promedio de ahorro de combustible de 31,99% de gasolina (0,22 galones) , los puntos de análisis son en los kilómetros 5 y 11, donde describe una reducción en la variación del consumo, con 0,04 galones el primer kilómetro y de 0,10 galones en el segundo.

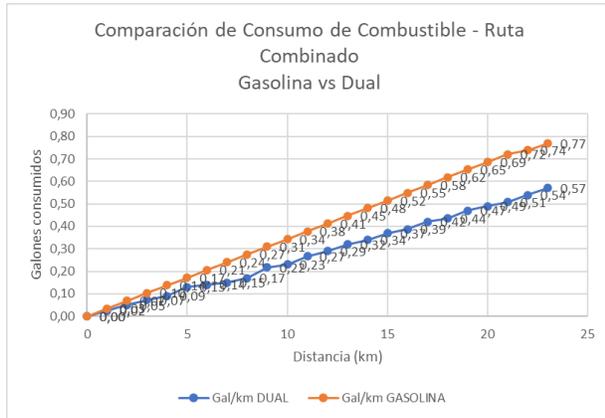


Figura 8. Comparación de consumo de combustible en la ruta combinada. (Gasolina vs Dual).

La figura 8 evidenció un ahorro del 29,84% en el ahorro de combustible (USD 0,2) existiendo un menor ahorro debido a la combinación de las rutas, debido a que la congestión vehicular se presenta a partir de la ruta urbana. Los puntos de análisis son los kilómetros 7 y 17, donde se ve aumento en la variación del consumo con el sistema DUAL, en el primer punto obteniendo 0,10 galones de diferencia, y en el segundo punto con 0,16 galones entre ambos sistemas



Figura 9. Análisis autonomía de gasolina.

La figura 9 describe una tendencia de 0.70 galones (\$ 1,68) por cada 5 km verificando el comportamiento de la autonomía del vehículo de prueba, la variación de los galones consumidos el directamente proporcional a los kilómetros recorrido.



Figura 10. Análisis de autonomía GLP

La tasa de crecimiento de la gasolina consumida durante la activación del sistema DUAL es de 0,45 Galones por cada 25 km y al finalizar el trayecto fue de 4,12 galones de gasolina.

Se determinó el costo de la gasolina durante la ruta para ello se utilizó un factor de conversión de galones al costo unitario por galón en (USD).

$$4,12 \text{ Gal} \times \frac{\$ 2,40 \text{ (USD)}}{1 \text{ Gal}} = \$ 9,88 \text{ (USD)}$$

El depósito de carburante completamente lleno costó USD 6 con dos tanques de gas doméstico, recomendado por el fabricante, al no contar con una estación de servicio en la ciudad que se realizó la investigación.

#### IV. CONCLUSIONES

En esta investigación, se utilizó un sistema para estimar el consumo de combustible y la autonomía de motores de inyección directa operando con gas licuado del petróleo (GLP).

Mediante la integración de indicadores mecánicos y electrónicos, junto con software especializado, se logró obtener información acerca del nivel de depósito de GLP, permitiendo así una gestión más eficiente del combustible.

El indicador del nivel de depósito de GLP, ubicado en el tablero de instrumentos, proporciona una visualización clara y precisa del nivel de combustible disponible, permitiendo al conductor tomar decisiones informadas sobre la gestión de su consumo.

Tras la aplicación y desarrollo del método de medición gravimétrico que se centra en la variación de la masa del depósito de GLP, logramos estimar el volumen de combustible consumido durante las diferentes rutas de pruebas realizadas. Este enfoque implica la medición del

