



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Trabajo de unidad de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz**

**Tema: “Diseño y construcción de un sistema de estimación de combustible y autonomía de los motores de inyección directa funcionando con gas licuado del petróleo.”**

**Autores:**

**Guano Rocha Santiago Joel**

**Ibarra López Angel David**

**Tutor:**

**Ing. Leónidas Antonio Quiroz Erazo. MSc.**

**Latacunga, Marzo 2024**





**“La innovación, sin ejecución, es alucinación”**

Henry Ford



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Contenido

- Antecedentes
- Planteamiento del problema
- Objetivos
  - General y Específico
- Metas
- Hipótesis
- Diseño y Construcción de la Propuesta



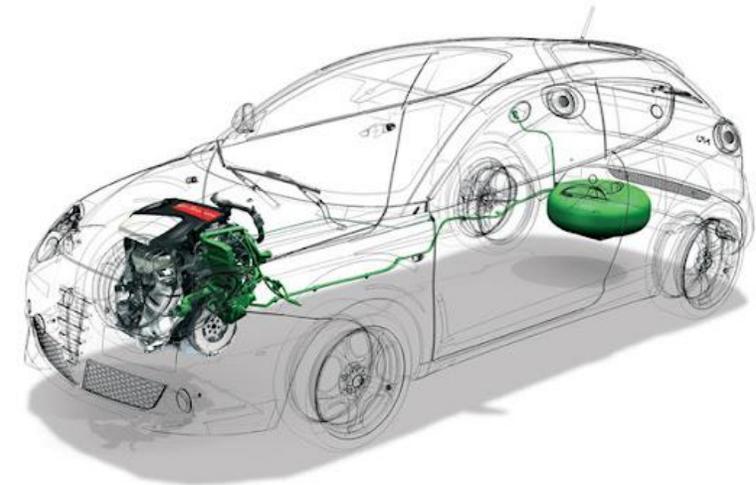
# Antecedentes

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. (Ministerio de Energía y Minas, 2016)

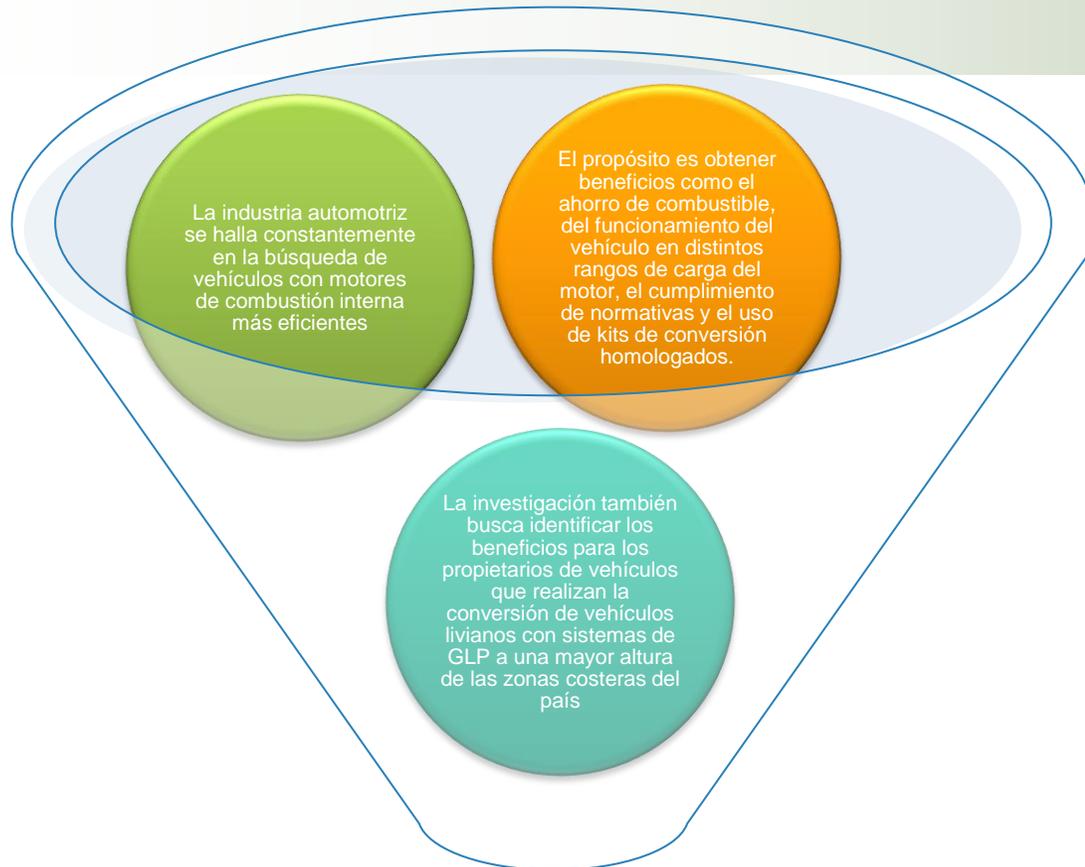
El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es presentado como una alternativa de combustible que contribuye a reducir la huella de carbono en sistemas de combustión interna.

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.

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.



# Planteamiento del problema



¿Cuál es el ahorro de gasolina en un motor GDI con un sistema DUAL?

Investigación basada en las siguientes condiciones:

- Un motor de combustión interna de ciclo Otto con sistema de inyección directa de gasolina y turboalimentado
- Monitoreo del consumo de carburante GLP y gasolina en una altitud de alrededor de 2860 msnm



# Objetivo general

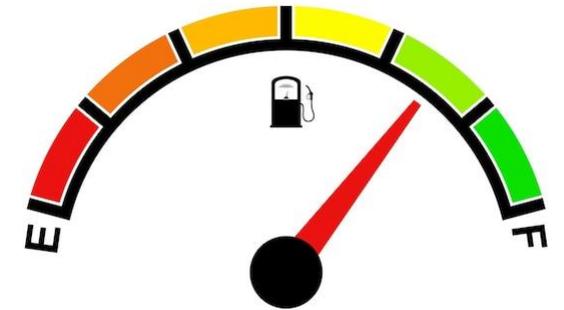
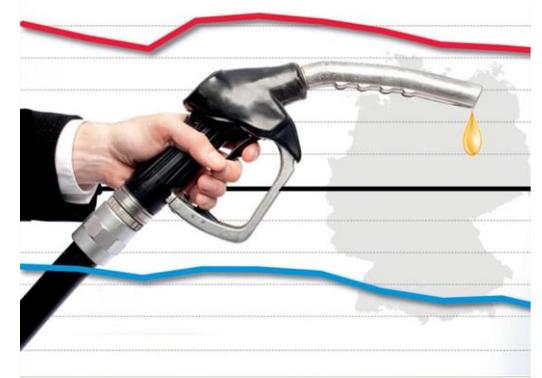
Diseñar y construir un sistema de estimación de consumo de combustible y autonomía de los motores de inyección directa funcionando con gas licuado del petróleo.



# Objetivos específicos

Desarrollar un método matemático de estimación y consumo de combustible y autonomía del sistema de alimentación de combustible GLP de quinta generación en motores GDI.

Realizar pruebas dinámicas por ciclos homologados para la determinación del consumo de combustible y autonomía desde el punto de vista técnico, ambiental y económico como alternativa en movilidad sostenible, efectiva y ecológica.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Hipótesis



# Método gravimétrico: Consumo GLP

La fórmula general utilizada en el método gravimétrico se puede expresar:

$$C = \frac{\rho_c * D}{m_c}$$

Técnica analítica utilizada para determinar la cantidad de sustancia que se presenta en una muestra

Donde:

$\rho_c$  = densidad del carburante GLP ( $\rho = 0,557 \frac{kg}{l}$ ) (INEN, 2020)

$D$  = distancia recorrida de la ruta (km)

$m_c$  = variación de la masa antes y después de la ruta

$C$  = consumo establecido  $\frac{km}{l} =$



# Método gravimétrico: Consumo GLP

Esta investigación se enfoca en la estimación del consumo de combustible y la autonomía de un motor de inyección directa funcionando con Gas Licuado de Petróleo (GLP). Se centra en la instalación de un sistema de quinta generación de GLP en un vehículo de ensayo equipado con motor de inyección directa de gasolina (GDI).

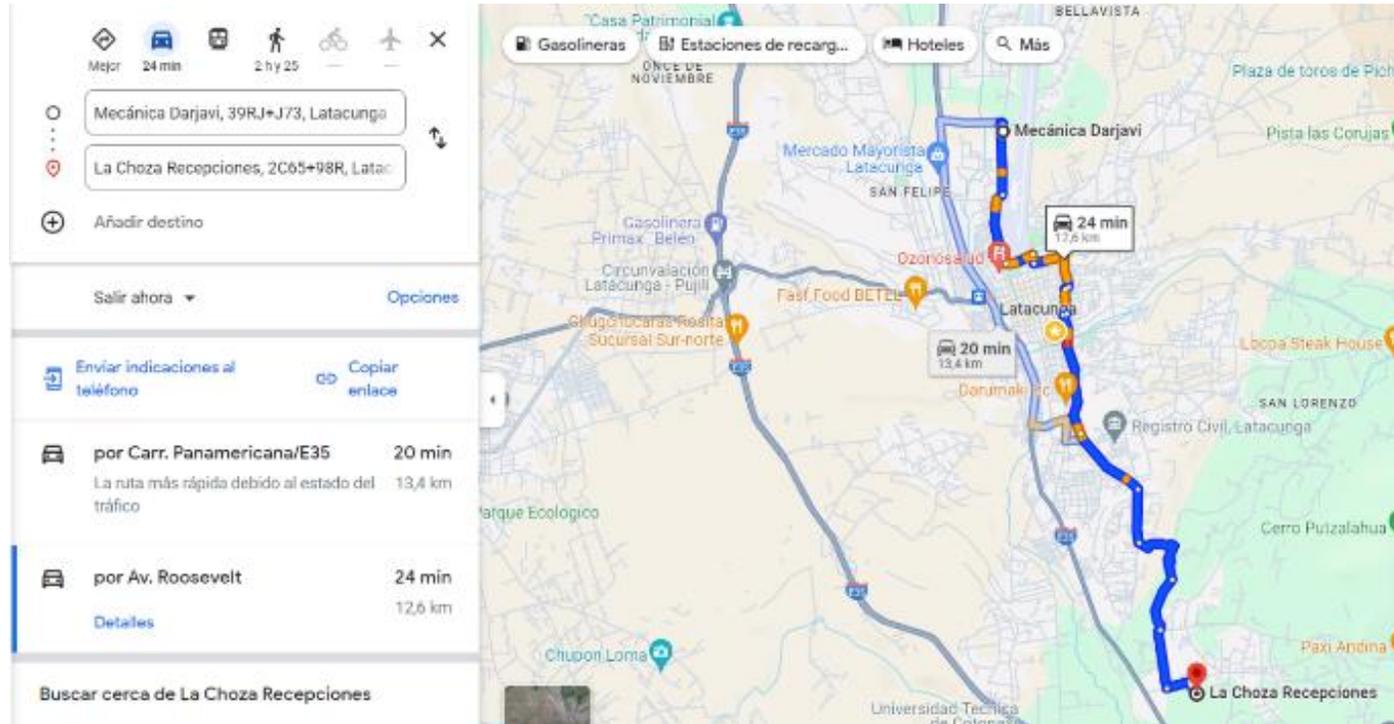


## Requerimientos previos

Antes de iniciar las pruebas de ruta en el marco de la investigación, se establecieron requisitos previos esenciales. Estos incluyeron la verificación del óptimo funcionamiento del vehículo de prueba y la planificación detallada de las rutas a seguir. Se llevaron a cabo inspecciones exhaustivas que abarcaron los aspectos mecánicos, eléctricos y electrónicos del vehículo.



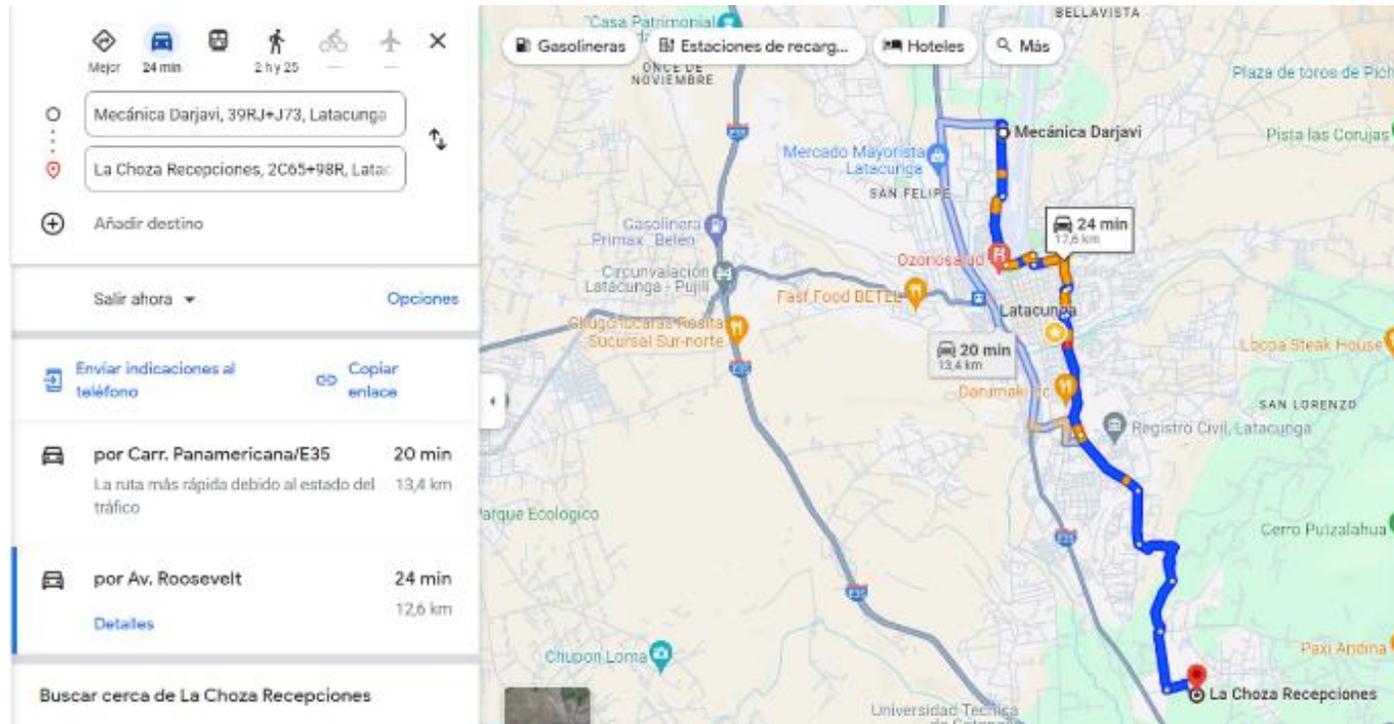
# Prueba de consumo de combustible: Ruta Urbana



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



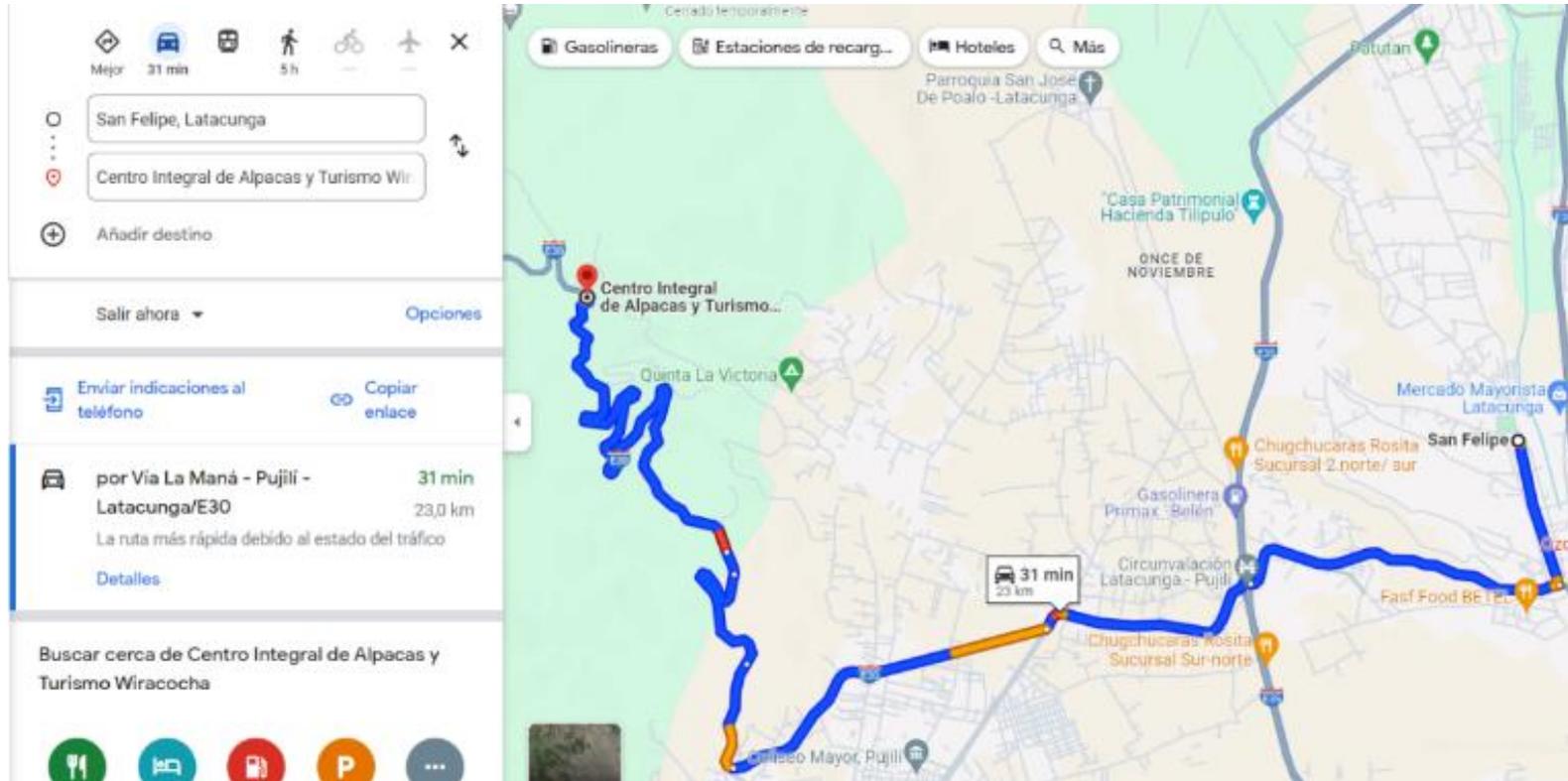
# Prueba de consumo de combustible: Ruta Carretera



Con el vehículo de ensayo estático se colocaron los instrumentos de medición; siguiendo la ruta establecida indicó un rango moderado de velocidad de  $>100$  km/h -  $<135$  km/h. La ruta establecida fue desde los puntos  $0^{\circ}56'56.9''S$ ,  $78^{\circ}50'52''W$  hasta  $0^{\circ}54'16.3''S$ ,  $78^{\circ}43'26.8''W$ , sectores de Wiracocha – Tigua.



# Prueba de consumo de combustible: Ruta Combinada



Sector de Wiracocha y el punto de llegada Sector de San Felipe



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Análisis de Resultados

## Resultados Ruta Urbana - Gasolina



La imagen indica los datos finales de las condiciones de manejo de la ruta urbana con gasolina. a) Gráfica de la duración (km/h vs m:s) y la elevación que existió (m vs m:s) . b) Gráfica de la distancia de la ruta (km/h vs km) y su elevación (m vs km). c) Gráfica de la velocidad (km/h vs m:s) y su elevación (m vs m:s)

# Análisis de Resultados

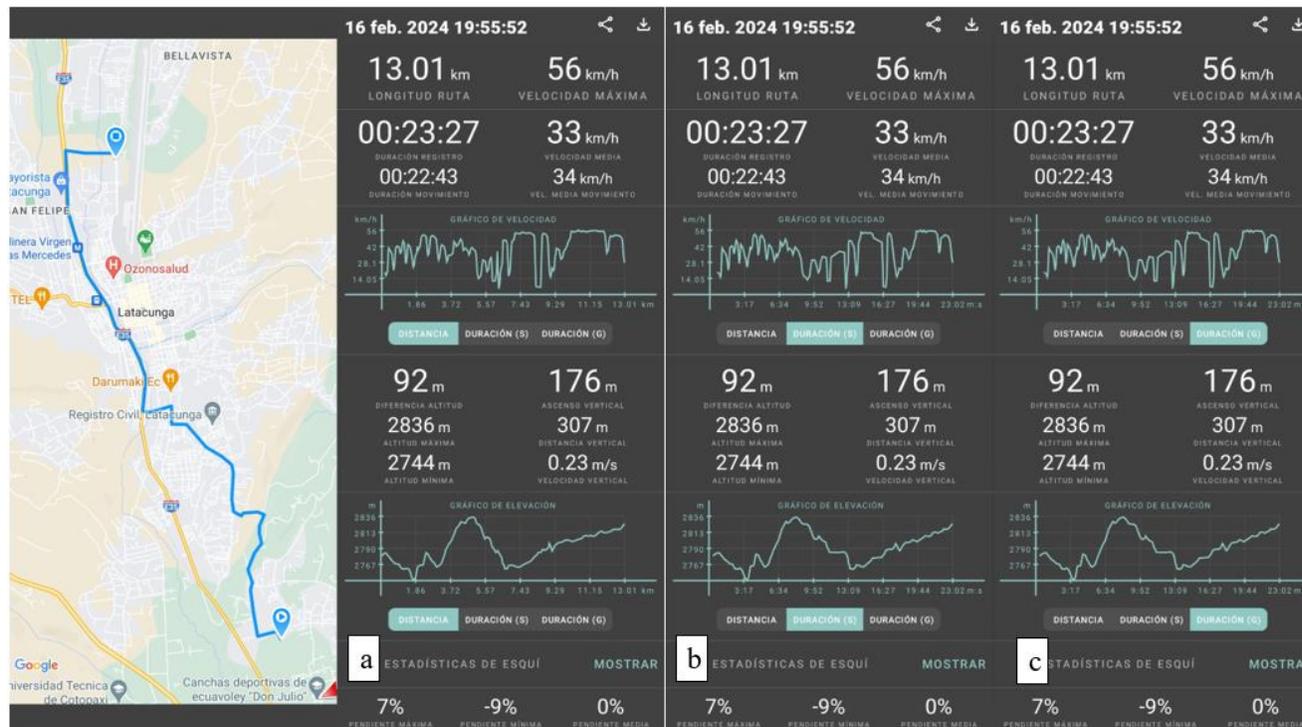
## Resultados Ruta Carretera - Gasolina



La imagen indica los datos finales de las condiciones de manejo de la ruta carretera con gasolina. a) Gráfica de distancia (km/h vs km) y la elevación que existió (m vs km) . b) Gráfica de la duración (km/h vs m:s) y su elevación (m vs m:s). c) Gráfica de la duración (km/h vs m:s) y su elevación (m vs m:s)

# Análisis de Resultados

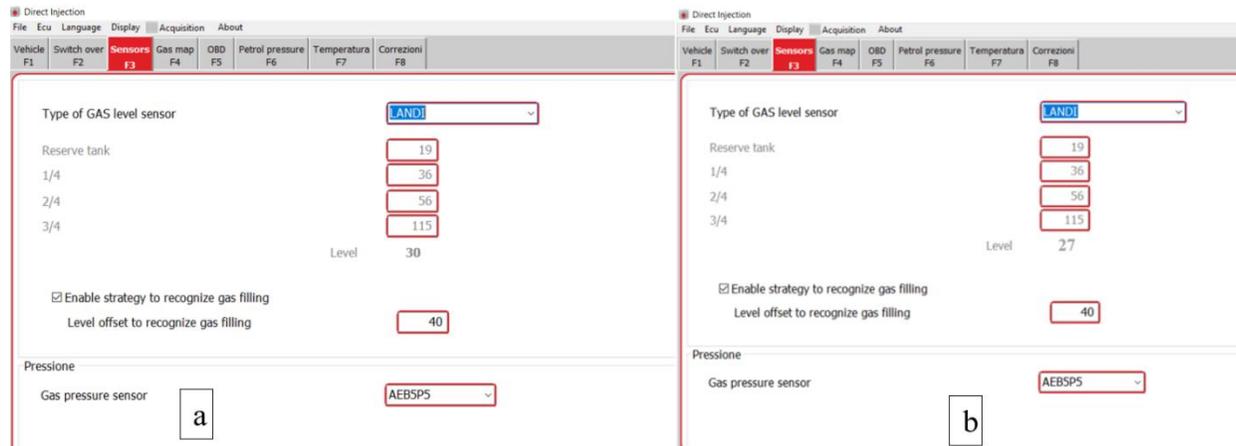
## Resultados de consumo de combustible con gas licuado de petróleo – GLP



La imagen indica los datos finales de las condiciones de manejo de la ruta urbana con carburante GLP. a) Gráfica de distancia (km/h vs km) y elevación (m vs km) . b) Gráfica de duración (km/h vs m:s) y elevación (m vs m:s). c) Gráfica de duración (km/h vs m:s) y elevación (m vs m:s)

# Análisis de Resultados

El valor de la masa del GLP se expresa en 30kg al inicio de la ruta urbana



El valor de la masa del GLP se expresa en 30kg al inicio de la ruta urbana.

La ruta urbana se realizó con peso inicial de 30 kg y al finalizar se obtuvo un peso de 27 kg durante el transcurso de la prueba. lo que se obtuvo un cambio neto de 3 kg en este segmento específico del recorrido.

# Análisis de Resultados

El valor de la masa del GLP se expresa en 30kg al inicio de la ruta urbana

The image displays two screenshots of the 'Direct Injection' software interface, showing the configuration for a gas level sensor. Both screenshots show the 'Sensors' tab selected in the top menu.

**Screenshot (a):** Shows the 'Type of GAS level sensor' set to 'LANDI'. The 'Reserve tank' is set to 19. The 'Level' is 45. The 'Gas pressure sensor' is set to 'AEBSP5'. A box labeled 'a' is placed next to the 'Gas pressure sensor' dropdown.

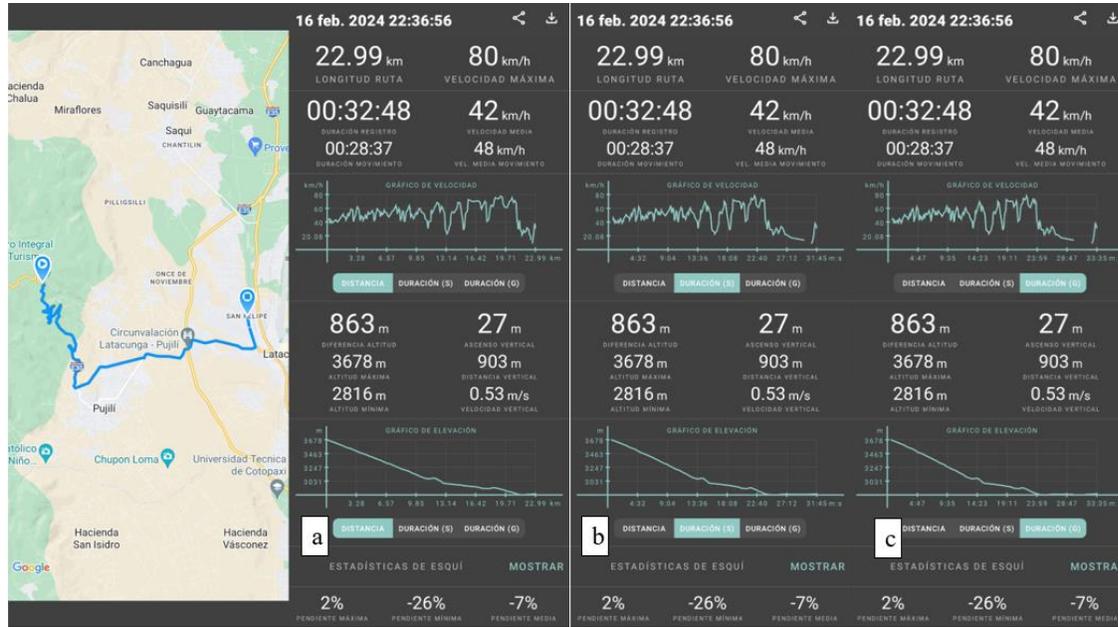
**Screenshot (b):** Shows the 'Type of GAS level sensor' set to 'LANDI'. The 'Reserve tank' is set to 19. The 'Level' is 43. The 'Gas pressure sensor' is set to 'AEBSP5'. A box labeled 'b' is placed next to the 'Gas pressure sensor' dropdown.

La ruta de carretera se realizó con peso inicial de 45 kg y al finalizar se obtuvo un peso de 43 kg durante el transcurso de la prueba, lo que sugiere un cambio neto de 2 kg en este segmento específico del recorrido.



# Análisis de Resultados

## Ruta Combinada

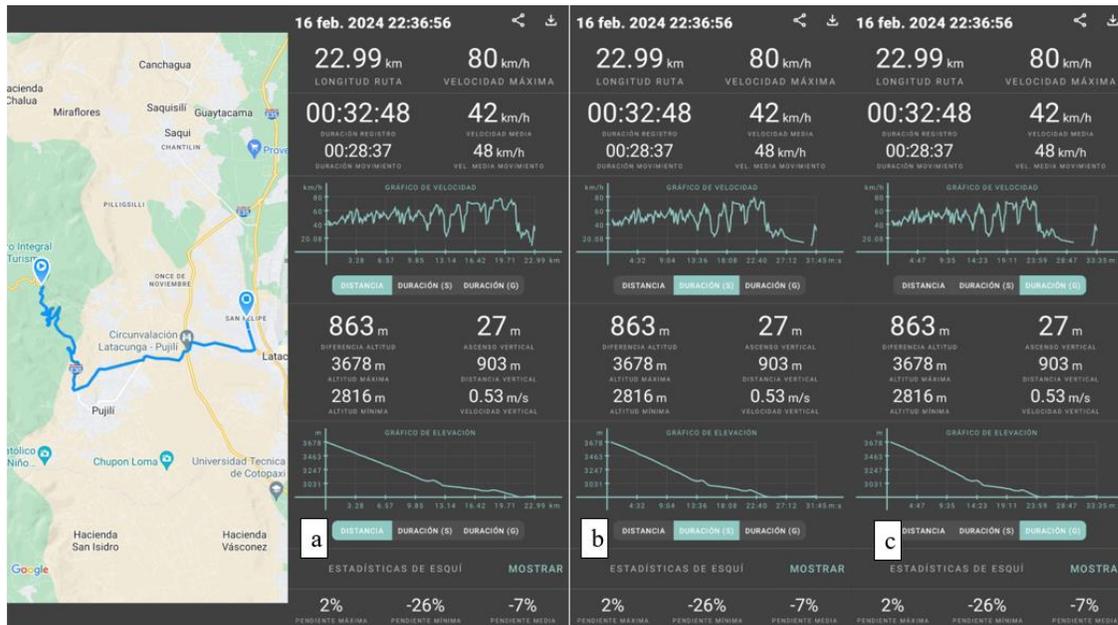


La imagen indica los datos finales de las condiciones de manejo de la ruta combinada con combustible DUAL. a) Gráfica de distancia (km/h vs km) y elevación (m vs km) . b) Gráfica de duración (km/h vs m:s) y elevación (m vs m:s). c) Gráfica de duración (km/h vs m:s) y elevación (m vs m:s)



# Análisis de Resultados

## Resultados de autonomía con GLP



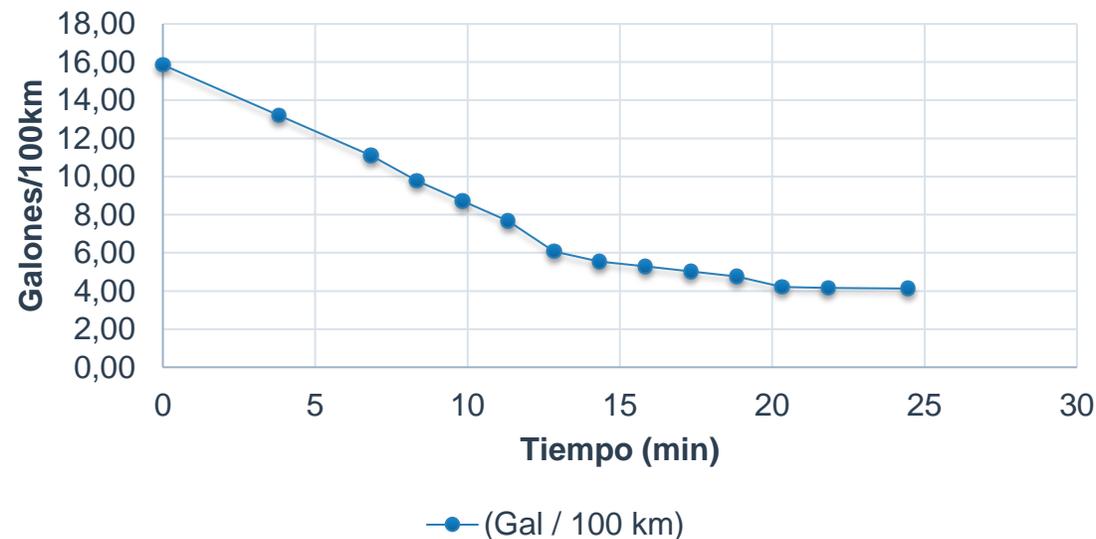
Nota. La imagen indica los datos finales de las condiciones de manejo de la ruta de autonomía con combustible DUAL. a) Gráfica de distancia (km/h vs km) y elevación (m vs km) . b) Gráfica de duración (km/h vs m:s) y elevación (m vs m:s). c) Gráfica de duración (km/h vs m:s) y elevación (m vs m:s)



# Análisis de Resultados

## Resultados de autonomía con GLP

### Consumo de combustible Gasolina Ruta Urbana - Galones/ 100 km



La grafica indica variaciones en el consumo de combustible desde aproximadamente el minuto 12 de la ruta. Se realizó un análisis del consumo de combustible a lo largo de una ruta, donde se obtuvo un consumo inicial de 15,85 Galones por cada 100 kilómetros (Gal/100 km). Durante el intervalo de tiempo de 0 a 12 minutos desde el inicio de la ruta, se observa una reducción significativa en el consumo de aproximadamente 10 Gal/100 km.

# Análisis de Resultados

## Resultados de autonomía con GLP

### Combustible Usado (Gal) - Gasolina Ruta Urbana



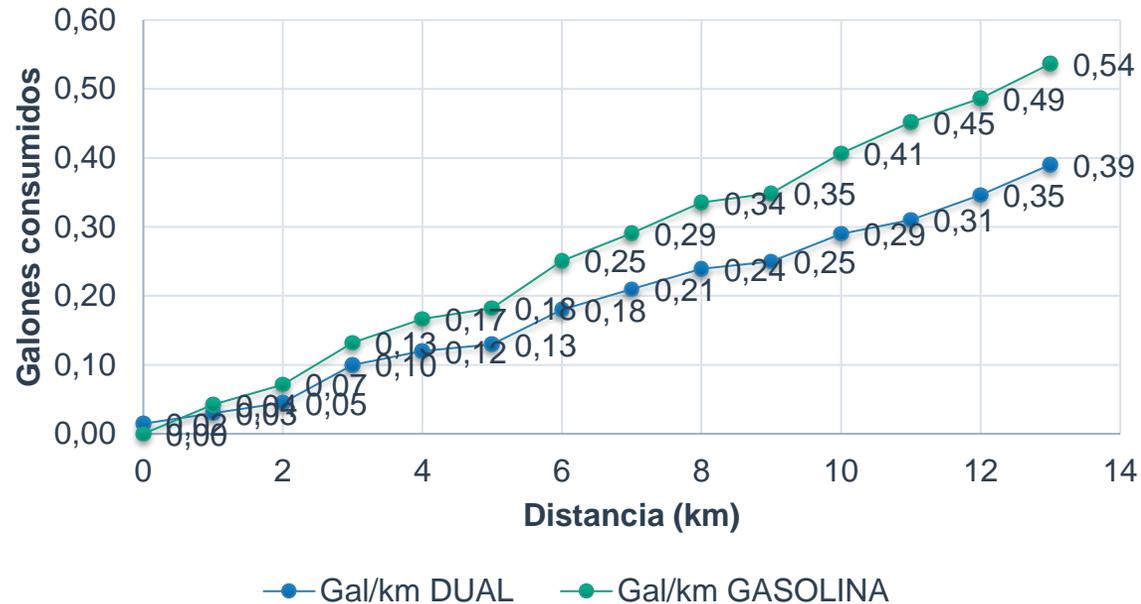
El análisis de la gráfica revela el consumo de combustible durante un trayecto urbano específico. Se destacan variaciones significativas, particularmente en los tramos de 3 a 4 kilómetros y de 6 a 8 kilómetros de la ruta. En el primer tramo, se registró un consumo de 0,04 galones, mientras que en el segundo tramo el consumo ascendió a 0,09 galones



# Análisis de las comparativas de los resultados

## Ruta Urbana

### Comparación de Consumo de Combustible - Ruta Urbana Gasolina vs Dual

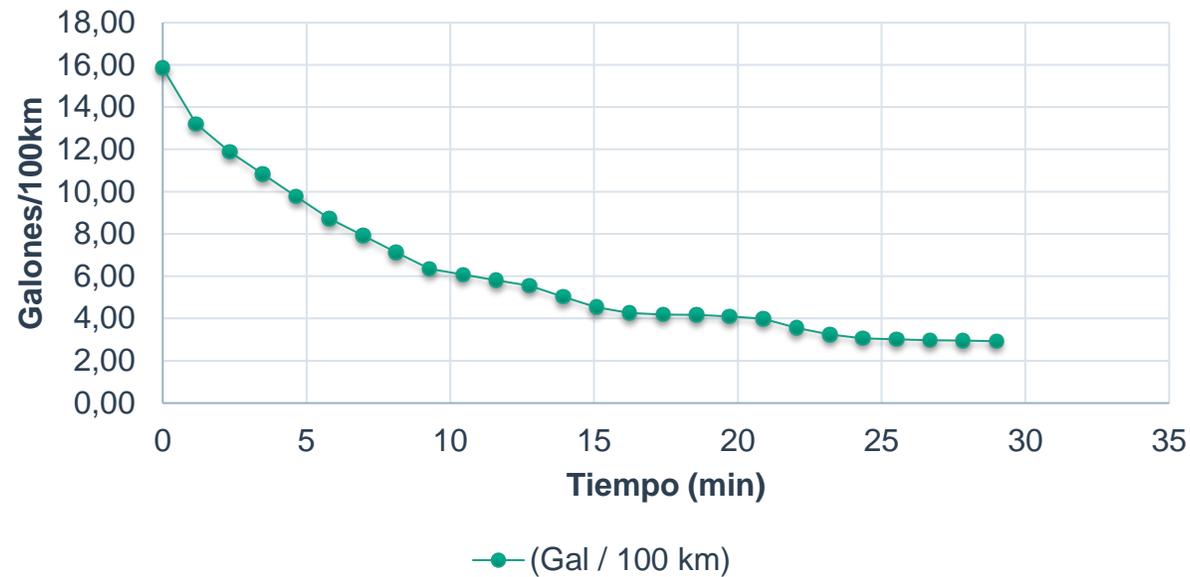


El gráfico describe la tendencia del consumo de combustible de gasolina vs DUAL varía significativamente alrededor de 28.91 % de ahorro de gasolina durante ambas rutas. Ambas tienen tendencia directamente proporcional, como puntos de análisis en el kilómetro 5 de la ruta se evidenció una reducción mínima 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.

# Análisis de Resultados

## Resultados de autonomía con GLP

### Consumo de combustible Gasolina Ruta Carretera- Gal/ 100 km



Se realizó un análisis del consumo de combustible a lo largo de una ruta, donde se obtuvo un consumo inicial de 15,85 Galones por cada 100 kilómetros (Gal/100 km). Durante el intervalo de tiempo de 0 a 20 minutos desde el inicio de la ruta, se observa una reducción significativa en el consumo de aproximadamente 12 Gal/100 km. A partir de los 20 minutos, se evidencia una variación más moderada en el consumo, con una fluctuación de alrededor de 1,17 Gal/100 km hasta la conclusión de la ruta.

# Conclusiones

- El diseño y construir del sistema de estimación de consumo de combustible y autonomía de los motores de inyección directa funcionando con gas licuado del petróleo se ejecutó a partir del uso de software propio del kit de conversión de quinta generación con el vínculo de dispositivos con aplicaciones Android y OBD II.
- Se desarrollo el método matemático gravimétrico para la de estimación y consumo de combustible y autonomía a través de método experimental; aplicado como medio para establecer la incidencia ambiental y económica del sistema de alimentación de combustible GLP de quinta generación en motores GDI; mediante pruebas dinámicas por ciclos homologados como alternativa en movilidad sostenible, efectiva y ecológica.
- Las pruebas dinámicas realizadas se fundamentaron en el ciclo armonizado WLTP para la determinación de consumos de combustible y autonómica del vehículo de ensayo; Se obtuvo una reducción en el consumo de combustible de 28,91% en la ruta urbana, 31,99% en la ruta de carretera y 28,84% en la ruta combinada.

# Recomendaciones

- El diseño y construir del sistema de estimación de consumo de combustible y autonomía de los motores de inyección directa funcionando con gas licuado del petróleo se ejecutó a partir del uso de software propio del kit de conversión de quinta generación con el vínculo de dispositivos con aplicaciones Android y OBD II.
- Se desarrollo el método matemático gravimétrico para la de estimación y consumo de combustible y autonomía a través de método experimental; aplicado como medio para establecer la incidencia ambiental y económica del sistema de alimentación de combustible GLP de quinta generación en motores GDI; mediante pruebas dinámicas por ciclos homologados como alternativa en movilidad sostenible, efectiva y ecológica.
- Las pruebas dinámicas realizadas se fundamentaron en el ciclo armonizado WLTP para la determinación de consumos de combustible y autonómica del vehículo de ensayo; Se obtuvo una reducción en el consumo de combustible de 28,91% en la ruta urbana, 31,99% en la ruta de carretera y 28,84% en la ruta combinada.