

REPORTE DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE ACELERACIÓN, POTENCIA, PAR TORSOR, CONSUMO DE COMBUSTIBLE, RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE, EMISIONES ESTÁTICAS E ÍNDICES DE EMISIÓN.

INFORME FINAL

Combustibles probados: PLASTICOMBUSTIBLES

Cliente: DR. CALDERÓN LABS.

1 Introducción

El siguiente informe presenta los resultados de las pruebas realizadas de aceleración, potencia, par torsor, consumo de combustible, rendimiento de combustible, emisiones estáticas e índices de emisión para un vehículo con motor de combustión interna encendido por chispa (ciclo Otto) operando con gasolinas GA-1, GA-2 y GA-3 al igual que un vehículo con motor de combustión interna encendido por compresión (ciclo Diesel) operando con Diesel DIE-1, DIE-2 y DIE-3.

Los combustibles probados denominados Plasticombustibles Diesel y Gasolina son generados por la empresa DR. CALDERÓN LABS y se encuentran en etapa de pruebas y validación de producto. A continuación se describen las pruebas realizadas y se presentan los resultados obtenidos con su respectivo análisis.

2 Pruebas realizadas

A continuación se realiza una muy breve descripción de los ensayos realizados para comparar el comportamiento en distintas pruebas de los diferentes combustibles suministrados.

- **Aceleración**

Determinación del tiempo en segundos (s) requerido para recorrer 400 m.

- **Potencia y par de torsión**

Determinación del impacto sobre la potencia (kW) y el par de torsión (Nm) asociado al uso de combustibles líquidos derivados de basura plástica.

- **Consumo específico de combustible**

Determinación de la cantidad de combustible consumido, para obtener una determinada potencia durante una hora (g/kWh). Todo lo anterior asociado al uso de combustibles líquidos derivados de basura plástica.

- **Emisiones estáticas**

Determinación del impacto sobre las emisiones vehiculares (CO_2 , CO, HC, O_2) en concentración volumétrica (% V/V) asociado al uso de combustibles líquidos derivados de basura plástica en motores de combustión interna encendidos por chispa (ciclo Otto) y por compresión (Ciclo Diesel).

- **Rendimiento de combustible**

Determinación de la distancia recorrida por una unidad volumétrica de combustible (km/gal) de un vehículo operando con distintos combustibles derivados de basura plástica. Para esta prueba el ciclo de manejo seleccionado fue el JAMA 10-15 diseñado por la Japanese Industrial Safety and Health Association JISHA.

- **Índices de emisión**

Determinación de la cantidad másica de cada contaminante (CO_2 , CO, HC, O_2) generada en una distancia recorrida (g/km).

NOTA: Las pruebas realizadas a los combustibles enviados con los vehículos de ensayo se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Pruebas Dinámicas Automotrices – LPDA ubicado en la Universidad Tecnológica de Pereira – UTP a 1450 m.s.n.m. y una temperatura media durante el periodo de prueba de 23 °C. Solo las pruebas de aceleración se realizaron por fuera de las instalaciones del LPDA en inmediaciones del Municipio de La Virginia, Risaralda a 900 m.s.n.m. y una temperatura media durante la prueba de 25°C.

3 Vehículos de prueba

3.1 Vehículo con motor a gasolina

En esta oportunidad se empleó para la realización de estas pruebas un vehículo Chevrolet AVEO 1,6 L modelo 2010 dotado con un motor de cuatro cilindros en línea, 16 válvulas y una relación de compresión de 9,5:1.

Figura 1. Vehículo de pruebas a gasolina



3.2 Vehículo con motor Diesel

El vehículo empleado para estas pruebas fue un Toyota Hilux 3.0 L Diesel modelo 2014 dotado con un motor de cuatro cilindros en línea, un mecanismo valvular DOC-16 válvulas y un sistema de inyección common rail directa.

Figura 2. Vehículo de pruebas Diesel



4 Resultados

4.1 Aceleración

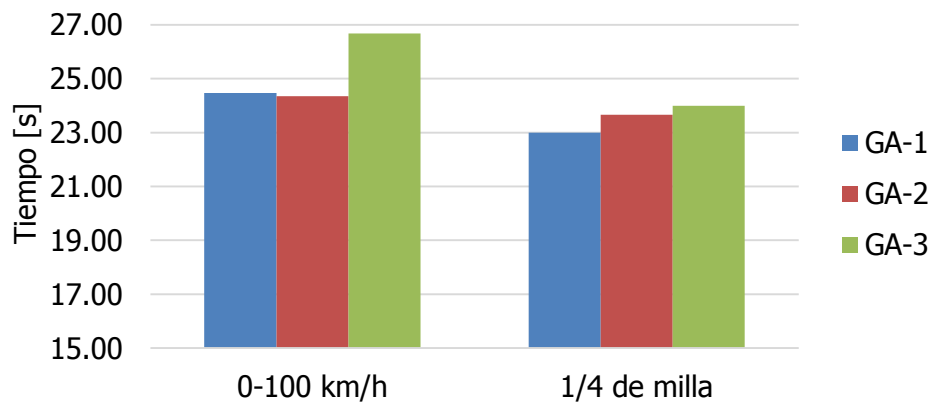
El objetivo de esta prueba es realizar una comparación del tiempo empleado por un vehículo en alcanzar los 100 km/h y en recorrer 400 m con los diferentes combustibles.

4.1.1 Aceleración vehículo con motor a gasolina

Tabla 1. Resultados aceleración vehículo a gasolina

| Combustible | Tiempo de 0-100 km/h (s) | Tiempo 400 m (s) |
|-------------|--------------------------|------------------|
| GA-1 | 24,47 | 22,99 |
| GA-2 | 24,35 | 23,66 |
| GA-3 | 26,68 | 23,99 |

Figura 3. Resultados aceleración vehículo a gasolina

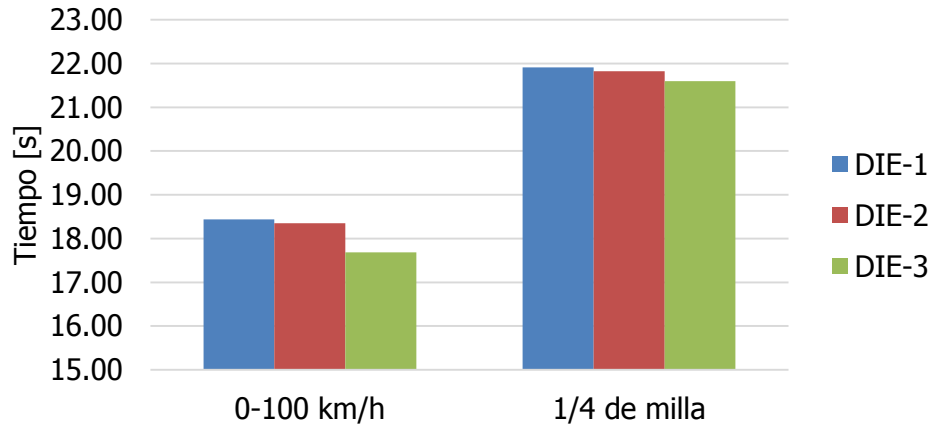


4.1.2 Aceleración vehículo con motor Diesel

Tabla 2. Resultados aceleración vehículo Diesel

| Combustible | Tiempo de 0-100 km/h (s) | Tiempo 400 m (s) |
|--------------|--------------------------|------------------|
| DIE-1 | 18,44 | 21,91 |
| DIE-2 | 18,35 | 21,83 |
| DIE-3 | 17,68 | 21,60 |

Figura 4. Resultados aceleración vehículo Diesel



4.2 Potencia y par de torsión

Con estas pruebas se pretende realizar una comparación entre los valores de potencia y par de torsión (torque) obtenidos con el vehículo a gasolina y el vehículo Diesel operando los combustibles líquidos derivados de basura plástica suministrados.

4.2.1 Potencia y par de torsión en vehículo a gasolina

Tabla 3. Potencia máxima vehículo a gasolina

| Combustible | Potencia máxima (Hp) | RPM |
|-------------|----------------------|------|
| GA-1 | 42,55 | 4784 |
| GA-2 | 41,09 | 4786 |
| GA-3 | 40, 73 | 4802 |

Figura 5. Comparativos potencia vehículo a gasolina

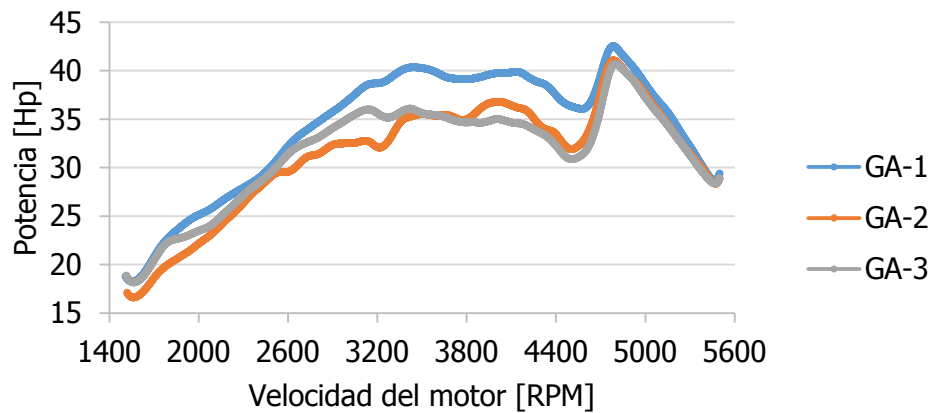
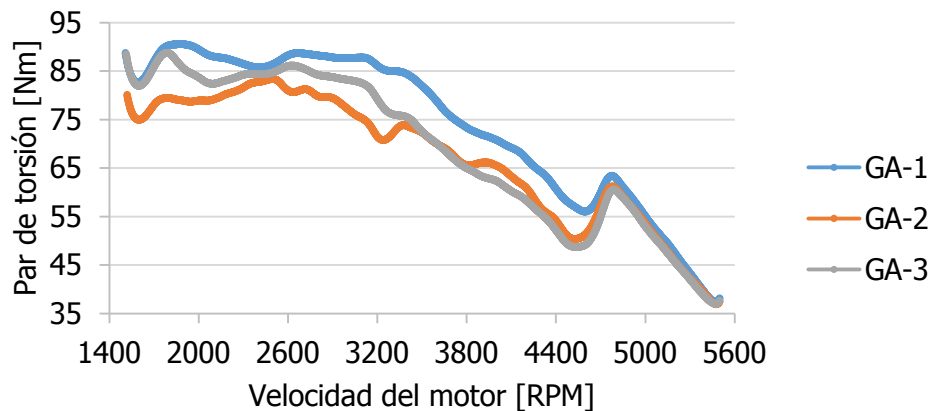


Tabla 4. Par de torsión máximo vehículo a gasolina

| Combustible | Par de torsión Máx. (Nm) | RPM |
|-------------|--------------------------|------|
| GA-1 | 90,54 | 1880 |
| GA-2 | 83,35 | 2500 |
| GA-3 | 88,77 | 1787 |

Figura 6. Comparativos par de torsión vehículo a gasolina



4.2.2 Potencia y par de torsión en vehículo Diesel

Tabla 5. Potencia máxima vehículo Diesel

| Combustible | Potencia Máx. (Hp) | RPM |
|--------------|--------------------|------|
| DIE-1 | 93,71 | 3272 |
| DIE-2 | 94,63 | 3162 |
| DIE-3 | 93,48 | 3260 |

Figura 7. Comparativo potencia vehículo Diesel

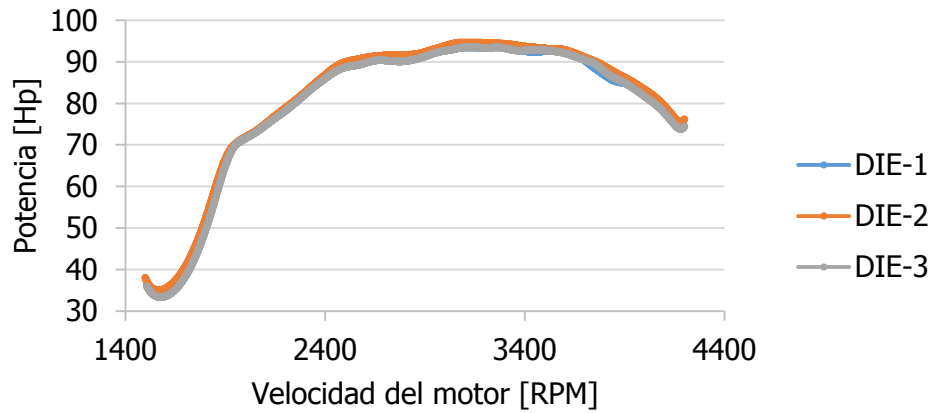
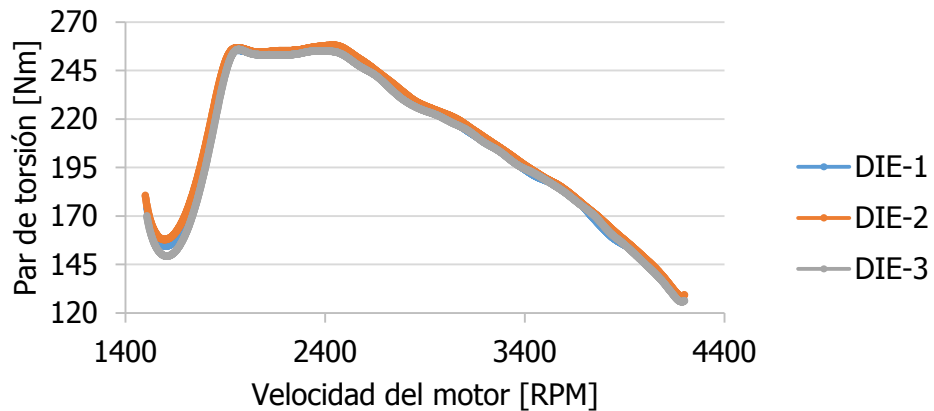


Tabla 6. Par de torsión máximo vehículo Diesel

| Combustible | Par de torsión máximo (Nm) | RPM |
|--------------|----------------------------|------|
| DIE-1 | 255,68 | 2386 |
| DIE-2 | 258,01 | 2440 |
| DIE-3 | 255,06 | 2360 |

Figura 8. Comparativo par de torsión vehículo Diesel



4.3 Consumo específico de combustible

Figura 9. Comparativo resultados consumo específico vehículo a gasolina

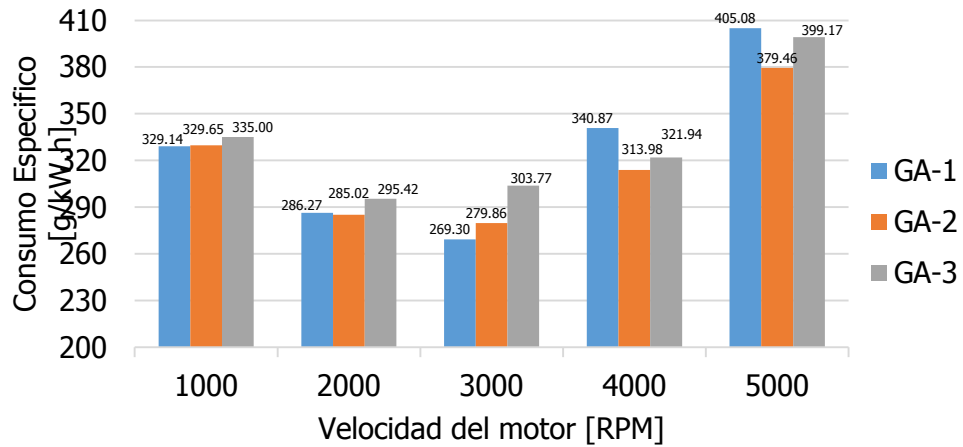
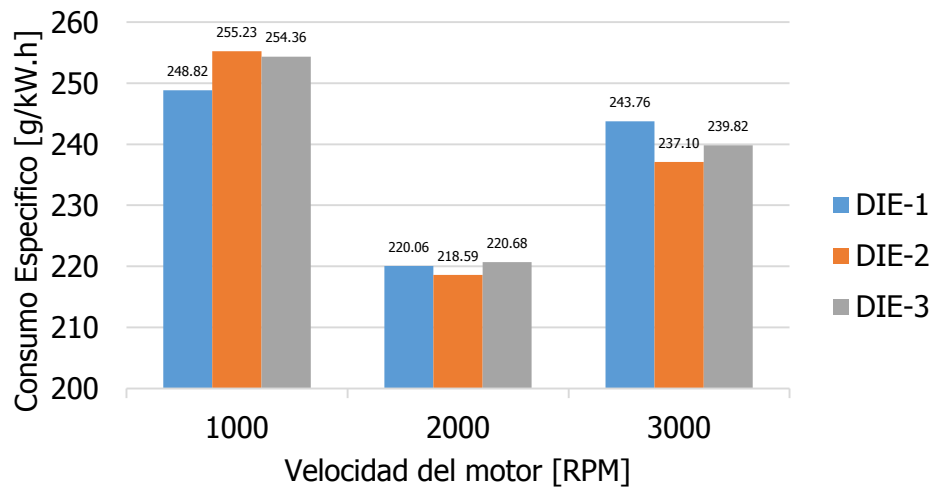


Figura 10. Comparativo resultados consumo específico vehículo Diesel



4.4 Emisiones estáticas

4.4.1 Emisiones estáticas a gasolina

Tabla 7. Emisiones estáticas ralenti vehículo a gasolina

| Combustible | CO [%] | HC [ppm] | CO ₂ [%] | NO _x [ppm] |
|-------------|--------|----------|---------------------|-----------------------|
| GA-1 | 0,0 | 26,67 | 9 | 46 |
| GA-2 | 0,0 | 32 | 8,93 | 34,33 |

| | | | | |
|-------------|-----|-------|------|-------|
| GA-3 | 0,0 | 19,17 | 9,27 | 51,33 |
|-------------|-----|-------|------|-------|

Tabla 8. Emisiones estáticas a velocidad cruceo para vehículo gasolina

| Combustible | CO [%] | HC [ppm] | CO₂ [%] | NO_x [ppm] |
|--------------------|---------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------|
| GA-1 | 0,0 | 29,33 | 11,47 | 83 |
| GA-2 | 0,0 | 28,17 | 11,87 | 104 |
| GA-3 | 0,0 | 17,17 | 11,93 | 113 |

4.4.2 Emisiones estáticas Diesel

Tabla 9. Emisiones estáticas ralenti vehículo Diesel

| Combustible | CO [%] | HC [ppm] | CO₂ [%] | Opacidad [%] |
|--------------------|---------------|-----------------|---------------------------|---------------------|
| DIE-1 | 0,03 | 6 | 2 | 1,63 |
| DIE-2 | 0,02 | 6,17 | 1,9 | 2,23 |
| DIE-3 | 0,02 | 12,67 | 1,9 | 1,65 |

Tabla 10. Emisiones estáticas a velocidad cruceo para el vehículo Diesel

| Combustible | CO [%] | HC [ppm] | CO₂ [%] | Opacidad [%] |
|--------------------|---------------|-----------------|---------------------------|---------------------|
| DIE-1 | 0,06 | 5,17 | 2,22 | 4,55 |
| DIE-2 | 0,05 | 8,33 | 2,15 | 4,12 |
| DIE-3 | 0,05 | 7,83 | 2,23 | 3,23 |

4.5 Prueba dinámica de emisiones y rendimiento de combustible

En estos ensayos se realizaron las mediciones que permitieron obtener los índices de emisión, así como el rendimiento de combustible de los vehículos probados bajo condiciones controladas de operación por medio del ciclo de manejo JAMA 10-15 diseñado por la Japanese Industrial Safety and Health Association JISHA.

4.5.1 Prueba dinámica de emisiones y rendimiento de combustible vehículo a gasolina

Tabla 11. Resultados prueba dinámica vehículo a gasolina

| | CO₂ [g/km] | CO [g/km] | HC [g/km] | Rendimiento [km/gal] |
|-------------|------------------------------|------------------|------------------|-----------------------------|
| GA-1 | 311,9478833 | 2,73285 | 0,2182833 | 40,509084 |
| GA-2 | 287,0705167 | 2,60225 | 0,1221833 | 42,320248 |

| | | | | |
|-------------|-------------|--------|-----------|-----------|
| GA-3 | 329,2475833 | 2,6371 | 0,1308833 | 44,724663 |
|-------------|-------------|--------|-----------|-----------|

Figura 11. CO₂ [g/km] vehículo a gasolina

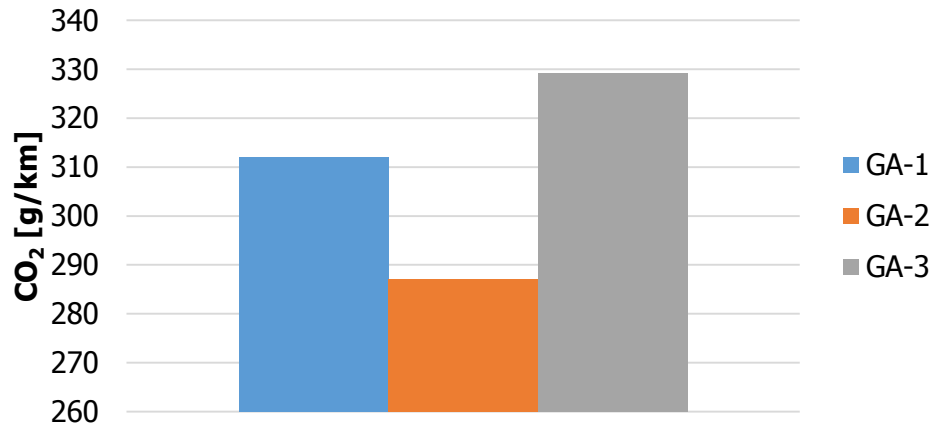


Figura 12. CO [g/km] vehículo a gasolina

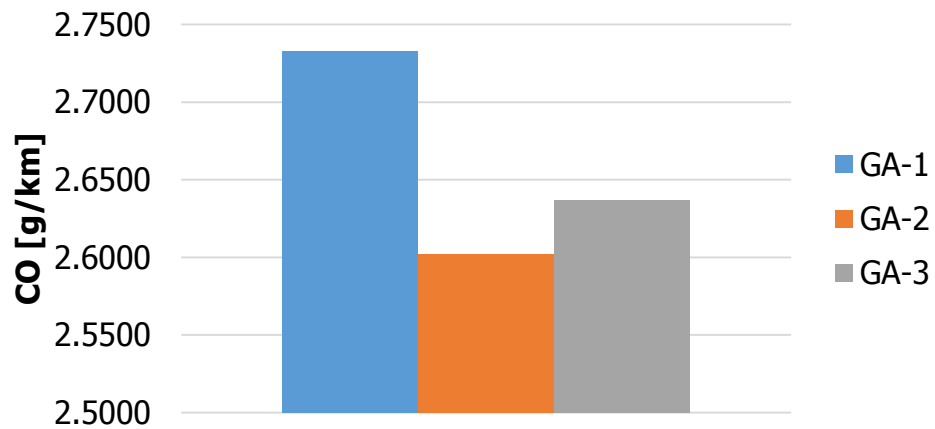


Figura 13. HC [g/km] vehículo a gasolina

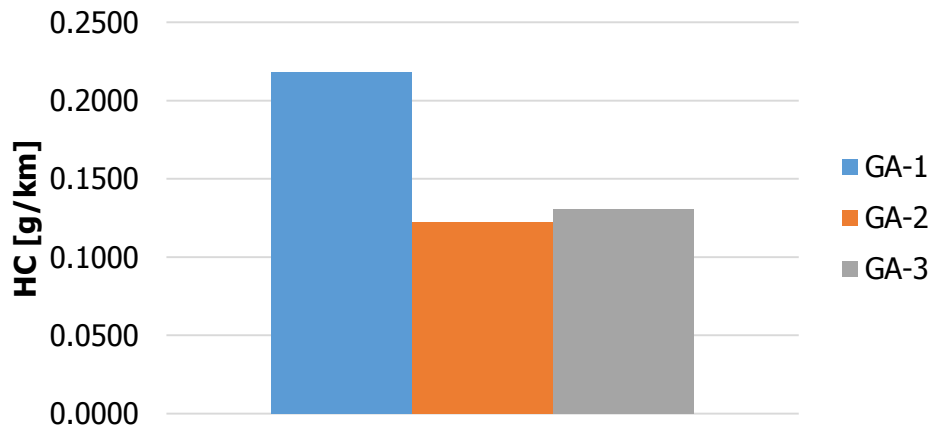
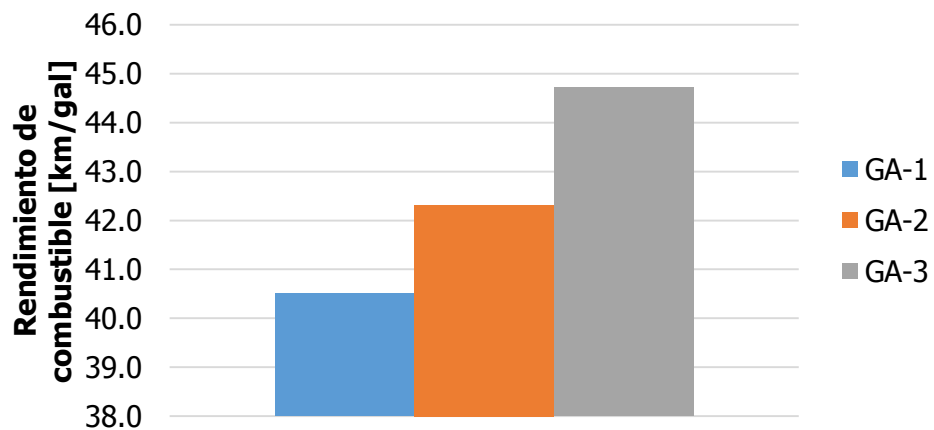


Figura 14. Rendimiento de combustible [km/gal] vehículo a gasolina



4.5.2 Prueba dinámica de emisiones y rendimiento de combustible vehículo Diesel

Tabla 12. Resultados prueba dinámica vehículo Diesel

| | CO ₂ [g/km] | CO [g/km] | HC [g/km] | Rendimiento [km/gal] |
|--------------|------------------------|------------|------------|----------------------|
| DIE-1 | 168,7010167 | 1,45621667 | 0,11451667 | 54,7012759 |
| DIE-2 | 148,72975 | 1,1888667 | 0,0667 | 52,664868 |
| DIE-3 | 160,88335 | 0,97505 | 0,1048833 | 55,6335256 |

Figura 15. CO₂ [g/km] vehículo Diesel

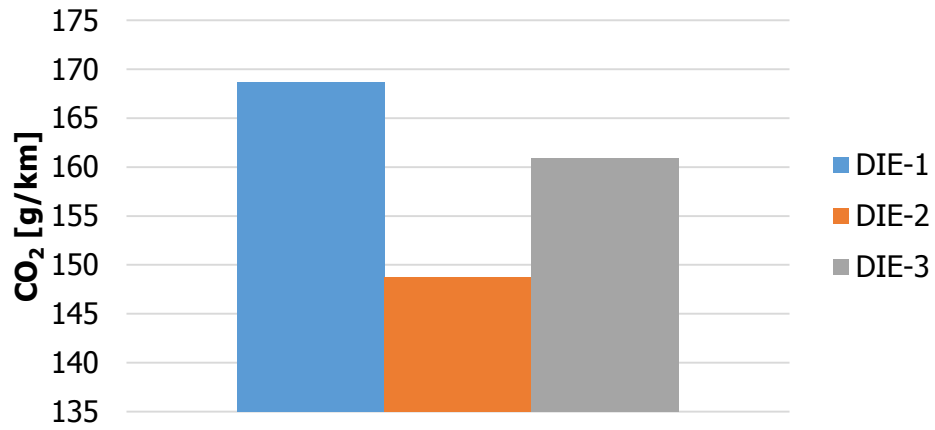


Figura 16. CO [g/km] vehículo Diesel

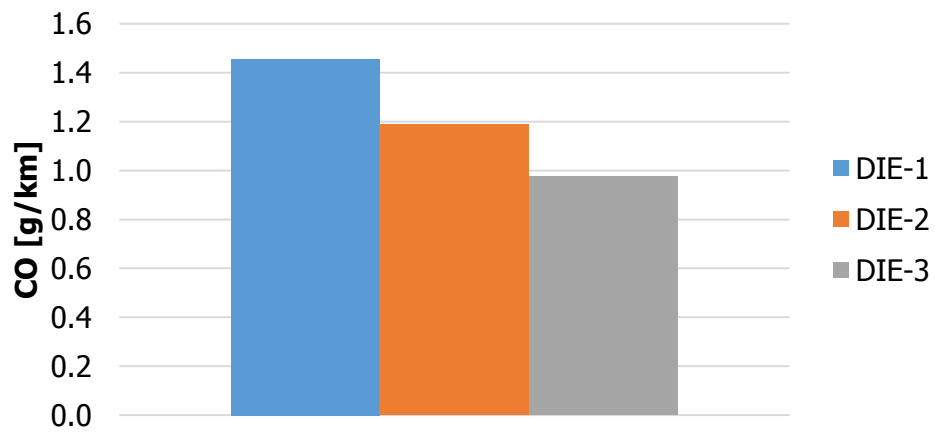


Figura 17. HC [g/km] vehículo Diesel

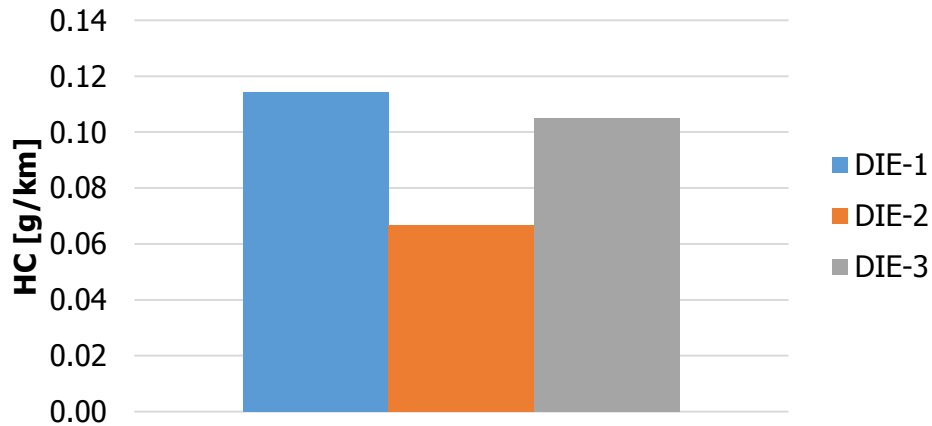
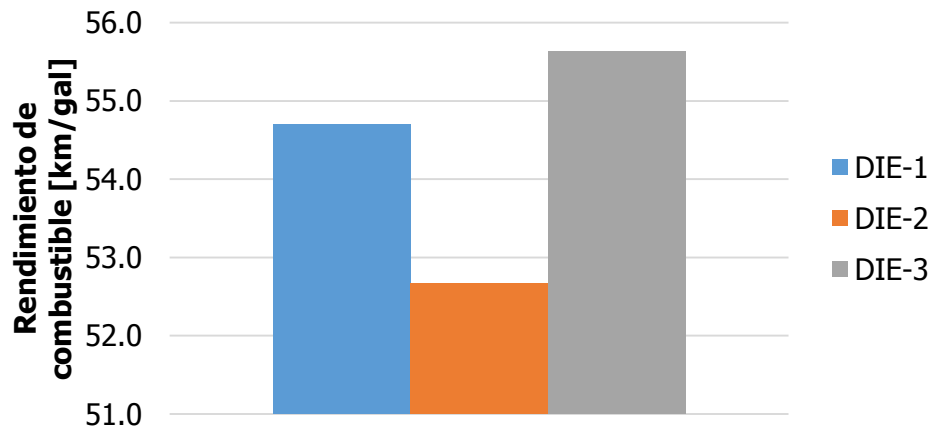


Figura 18. Rendimiento de combustible [km/gal] vehículo Diesel



5 Conclusiones

Los resultados expuestos en el presente informe son el reflejo de la operación de los dos vehículos de prueba ensayados con los combustibles enviados y bajo las condiciones del Laboratorio de Pruebas Dinámicas de la UTP.

- Aceleración:
 - En el vehículo a gasolina se registró un mejor comportamiento en la prueba de aceleración con el combustible GA-1 empleando menor tiempo en alcanzar los 100 km/h y en llegar a los 400 m.

- Con el combustible GA-3 se aprecia un considerable aumento en el tiempo empleado en alcanzar los 100 km/h con respecto al GA-1 y el GA-2.
- El combustible DIE-3 tuvo mejor comportamiento en la prueba de aceleración comparado con el DIE-1 registrando una disminución en el tiempo empleado en alcanzar los 100 km/h y en llegar a los 400 m, del 4,1% y el 1,4% respectivamente.
- Potencia y par torsor:
 - Los combustibles GA-2 y GA-3 registraron una disminución en la potencia máxima del vehículo probado del 3,4% y 4,2% respectivamente, comparados con el GA-1.
 - Se presentó una tendencia similar en el comportamiento del par de torsión registrado con los combustibles GA-2 y GA-3, apreciándose una disminución cercana al 8% y 2% respectivamente, comparado con el torque medido en el mismo vehículo operando con GA-1.
 - En el vehículo operado con los combustibles Diesel se registró tanto para el DIE-2 como para el DIE-3 una mínima variación (menor del 1%) en la potencia máxima como en el par de torsión máximo.
 - Para el vehículo probado con los plasticombustibles Diesel los regímenes de revolución a los cuales se presentó la potencia máxima fueron los mismos para los tres combustibles probados.
 - Para el vehículo probado con los plasticombustibles Diesel los regímenes de revolución a los cuales se presentó el par torsor máximo fueron los mismos para los tres combustibles probados.
- Consumo específico de combustible:
 - En el vehículo a gasolina el plasticombustible GA-1 tuvo mejor comportamiento comparado con el GA-2 y el GA-3 en la prueba de consumo específico de combustible a regímenes de revolución iguales e inferiores a 3000 RPM.
 - A regímenes altos de revolución (superiores a 3000 RPM) los plasticombustible GA-2 y GA-3 registraron mejor comportamiento que el GA-1.

- Para el vehículo Diesel los plasticombustibles DIE-1 y DIE-2 presentaron tendencia a mayor consumo específico de combustible a regímenes de revolución menores o iguales a 2000 RPM.
- Emisiones estáticas:
 - El vehículo a gasolina probado con los tres plasticombustibles GA-1, GA-2 y GA-3 registró emisiones de CO y HC por debajo de los límites permitidos por la legislación colombiana.
 - El vehículo operando con GA-2 y GA-3 registró una disminución en los hidrocarburos no quemados con respecto a GA-1 durante las pruebas de emisiones estáticas, lo que puede ser visto como un aspecto positivo en temas ambientales.
 - La opacidad medida para el vehículo Diesel operando con los plasticombustibles DIE-1, DIE-2 y DIE-3 registró valores muy por debajo del límite establecido en la resolución 910 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Prueba dinámica de emisiones y rendimiento de combustible
 - Para el vehículo a gasolina operado con plasticombustible, se registró una disminución en los índices de emisión en [g/km] de CO y HC con GA-2 respecto a GA-1 y GA-2.
 - GA-2 y GA-3 registraron un aumento en el rendimiento de combustible [km/gal] del 4,5% y 10,4% respectivamente en comparación con el plasticombustible GA-1.
 - DIE-1 y DIE-2 registraron una disminución en los índices de emisión [g/km] de CO y HC con respecto a estos mismos índices obtenidos con DIE-1.
 - El plasticombustible DIE-3 presentó las mejores prestaciones en cuando al rendimiento de combustible bajo las condiciones de la prueba dinámica realizada en el vehículo Diesel, aumentando en un 1,7%.

6 Recomendaciones

- Se sugiere a la empresa DR CALDERÓN LABS realizar estudios de calidad de combustible orientados a determinar la degradación de los mismos.

- Se sugiere realizar mejores procesos de filtrado del combustible porque se encontraron sólidos en suspensión que pueden generar problemas de obstrucción de filtros, vías de conducción de combustible o incluso inyectores.
- Se sugiere realizar estudios con mayor número de mezclas (Combustible fosil – Plasticombustible) con miras a determinar el comportamiento de las propiedades en diferentes concentraciones.

Nota: los resultados presentados en el presente informe corresponden a los obtenidos con los combustibles enviados y para los vehículos que fueron objeto de estudio.



SEBASTIÁN OSPINA CASTRO

Ingeniero de proyectos

Laboratorio de Pruebas Dinámicas Automotrices

Universidad Tecnológica de Pereira