



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de Ingeniería Automotriz

Tema: Investigación de la incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares

Autores:

**Angamarca Nicaragua, Lennin Ronaldo
Tonato Nata, Stalin Iván**

Director:

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio

Latacunga, Marzo 2024



Frase motivacional

**“Para triunfar en la vida, no es importante llegar primero. Para triunfar simplemente hay que llegar, levantándose cada vez que se cae en el camino,”
Luciano F Negroa.**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Índice de contenido

Antecedentes

Planteamiento del problema

Justificación, importancia y alcance

Objetivos

Fundamento teórico

Normativas

Equipos de medición

Pruebas dinámicas

Pruebas estáticas

Obtención de resultados y análisis

Conclusiones

Recomendaciones



Antecedentes

Los valores ideológicos han cambiado con el tiempo debido a la utilización de los motores de combustión interna.



La Industria Automotriz debe adaptarse a diversos métodos para disminuir el carbono de la producción.



Nuevos combustibles que contribuyan a esta idea, resultando en el sistema de GLP.



Planteamiento del problema



Los cambios constantes en las ventas de gasolina llevan a considerar otros combustibles, como reemplazo, para el uso en los automóviles.

El 80% de la demanda mundial de energía primaria actual proviene de los combustibles fósiles.

Es necesario implementar una nueva alternativa de combustible más económica y de manera dual (GLP-Gasolina) ya que los vehículos cuentan con sistemas de alimentación que requieren la gasolina Súper para su correcto desempeño.



Justificación, importancia y alcance



Un sistema de alimentación de combustible GLP ofrece múltiples ventajas. Tiene un contenido bajo de carbono, lo que significa que las emisiones de gases se reducen.

Al combinar dos tecnologías, surgen interrogantes sobre su compatibilidad y efectos. Es imprescindible investigar la incidencia de utilizar sistemas de alimentación de GLP en lugar de gasolina en motores GDI, para determinar si existen efectos positivos o negativos en las emisiones contaminantes.

La necesidad de reducir las emisiones de gases nocivos y el creciente problema de la contaminación ambiental, es importante investigar el uso de GLP como combustible alternativo puede contribuir a mitigar este problema.



Objetivos

Objetivo General

- Investigar la incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares.

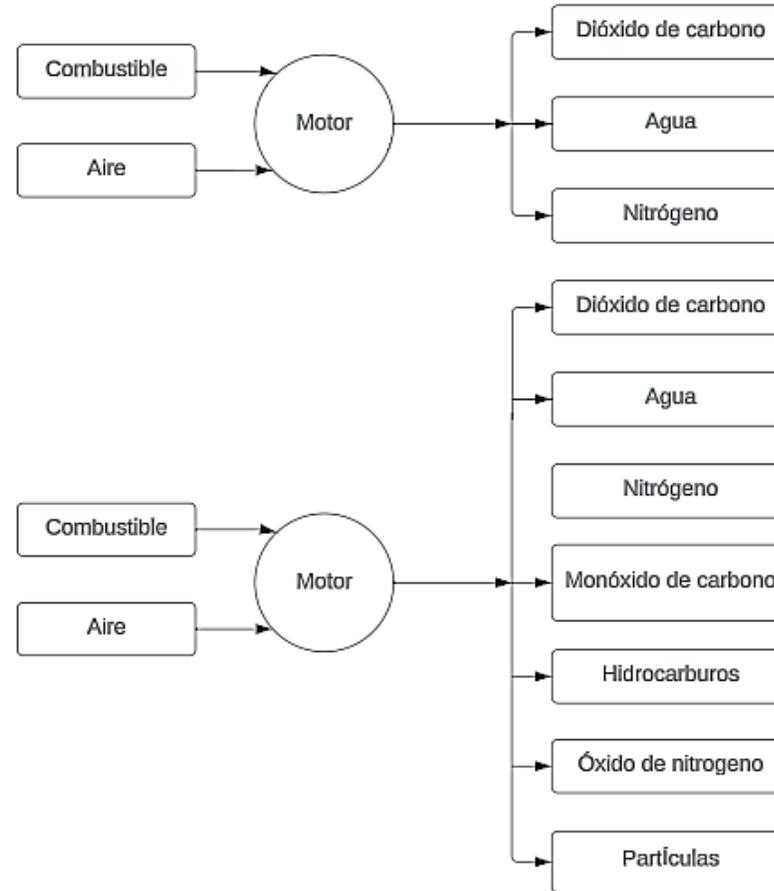
Objetivos específicos

- Realizar ensayos de emisiones en tiempo real en el motor de combustión interna GDI a través de pruebas continuas y test oficial según la NTE INEN 2 203 y NTE INEN 2 204.
- Cuantificar la relación aire – combustible del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI de acuerdo a los valores de HC, CO, CO₂ y NO_x.



Fundamento teórico

Productos de la combustión



Lambda

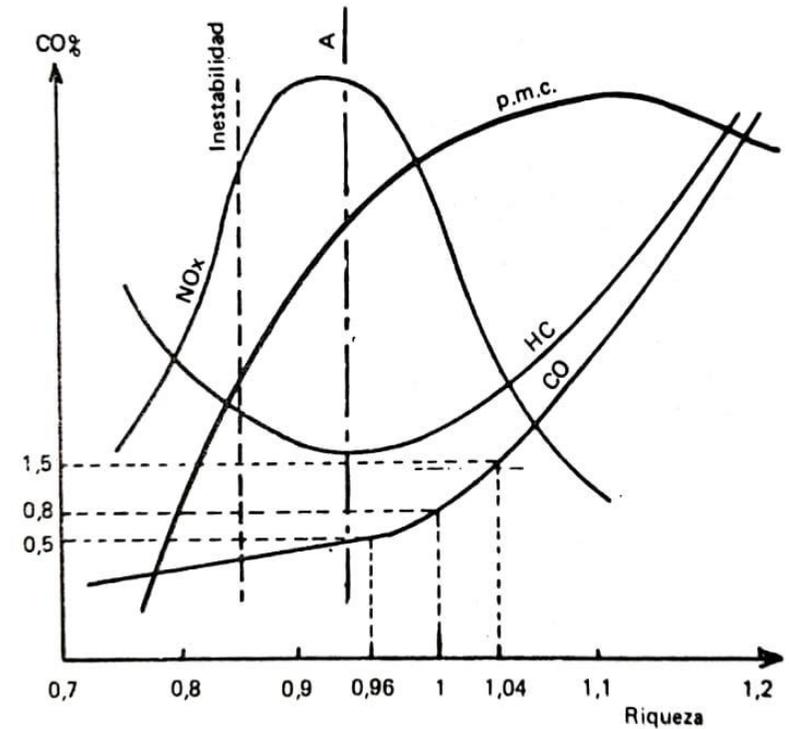
Gasolina

- 14,7 unidades de aire por una de gasolina

GLP

- 15,63 unidades de aire por una de GLP

$$\lambda = \frac{\text{Masa de aire aportado}}{\text{Necesidad de aire teórico}}$$



Normativas

- Normativa NTE INEN 2 203:2000
- Normativa NTE INEN 2 204: 2002

Rangos de aprobación

Año	HC (PPM)	CO (%)	O2 (%)	TIPO DE FALTA	RESULTADO
DEL 2000 EN ADELANTE	$0 \leq X < 160$	$0 \leq X < 0,6$	$0 \leq X < 3$	0	APROBADO SIN FALTAS
	$160 \leq X < 180$	$0,6 \leq X < 0,8$	$3 \leq X < 4$	1	APROBADO CON FALTA TIPO 1
	$180 \leq X < 200$	$0,8 \leq X < 1$	$4 \leq X < 5$	2	APROBADO CON FALTA TIPO 2
	$X \geq 200$	$X \geq 1$	$X \geq 5$	3	RECHAZADO

Protocolos de emisiones de gases

- Protocolo NEDC
- Protocolo FTP-75



Equipos de medición

Analizador de gases
KANE AUTOPLUS 4-2



KANE LIVE



Analizador de gases
AGS-688



MGT 300-EVO



Pruebas dinámicas

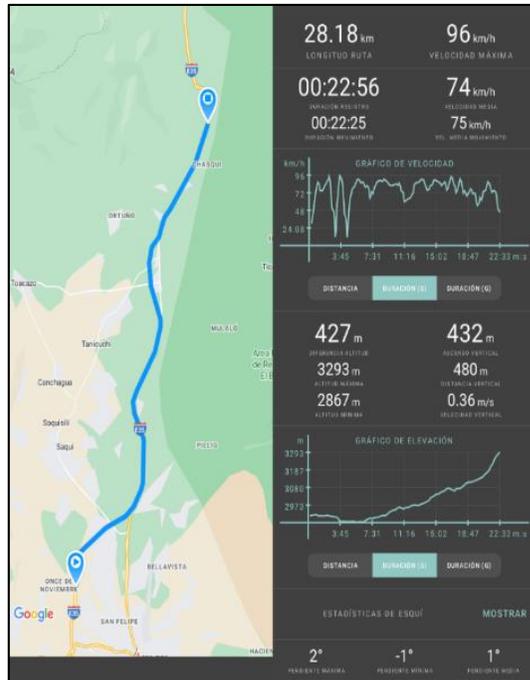
Consiste en realizar la medición de gases con el analizador portátil cuando el vehículo de prueba se encuentre en movimiento en la ruta establecida.

Rutas de prueba

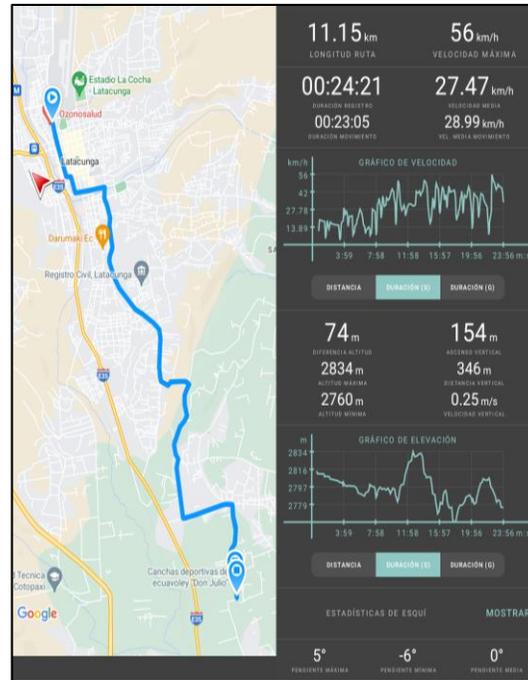
Ruta	Distancia [Km]	Tiempo [min]	Velocidad máxima [Km/h]
Carretera	27	23	100
Urbana	11	25	50
Combinada	23	30	50 (urbana) 100 (carretera)



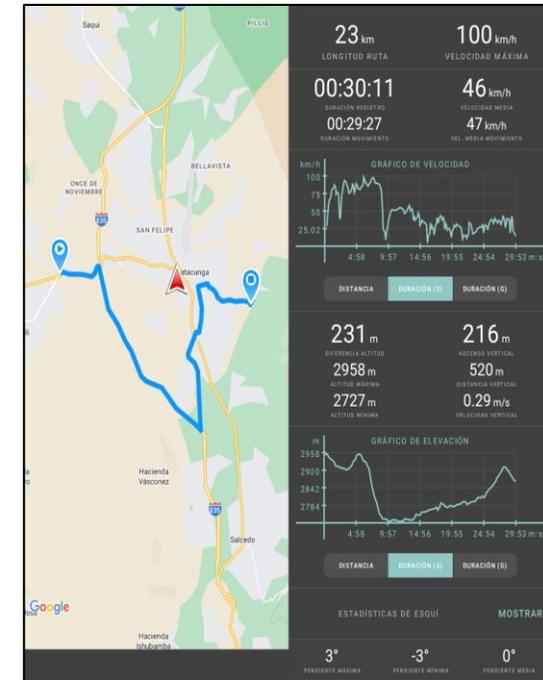
CARRETERA



URBANA



COMBINADA



Pruebas estáticas

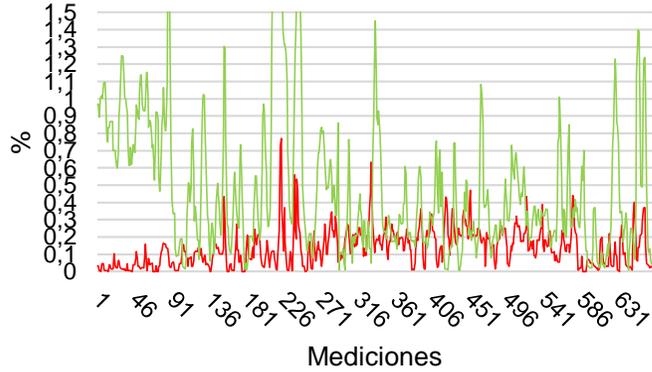
- Test oficial
 - Prueba al mínimo (500 - 1200 rpm)
 - Prueba acelerada (2400 - 2600 rpm)
- Test continuo
 - Rangos de aceleración de 1000 rpm a 4000 rpm con incrementos de 1000 revoluciones y a régimen de 5500 rpm de su potencia máxima



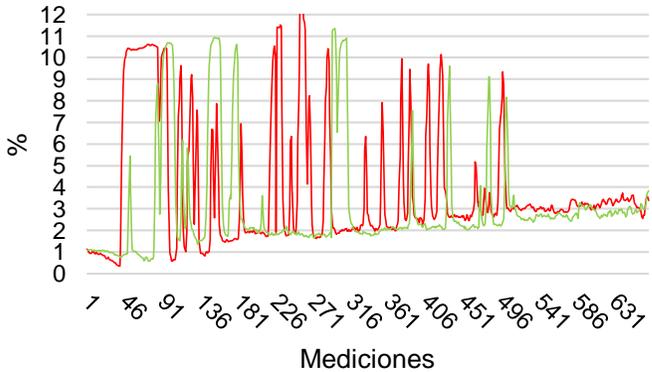
Obtención de resultados y análisis

Ruta en carretera

CO



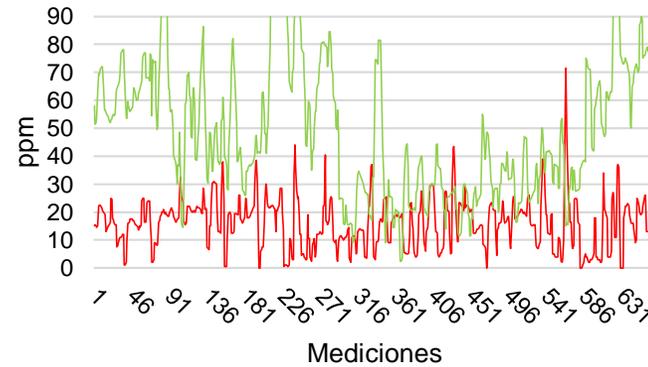
O2



Año	HC (PPM)	CO (%)	O2 (%)	TIPO DE FALTA	RESULTADO
DEL 2000 EN ADELANTE	$0 \leq X < 160$	$0 \leq X < 0,6$	$0 \leq X < 3$	0	APROBADO SIN FALTAS
	$160 \leq X < 180$	$0,6 \leq X < 0,8$	$3 \leq X < 4$	1	APROBADO CON FALTA TIPO 1
	$180 \leq X < 200$	$0,8 \leq X < 1$	$4 \leq X < 5$	2	APROBADO CON FALTA TIPO 2
	$X \geq 200$	$X \geq 1$	$X \geq 5$	3	RECHAZADO

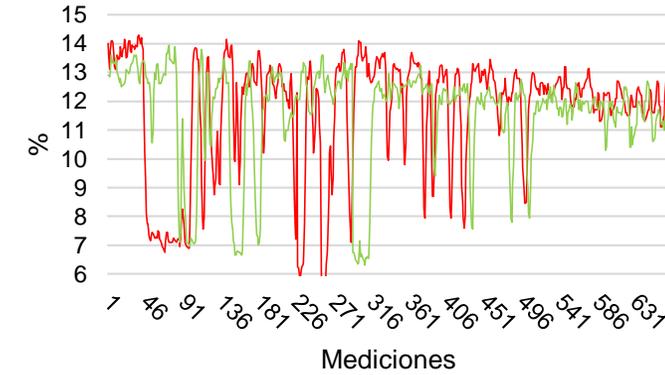
— GASOLINA
— GLP

HC



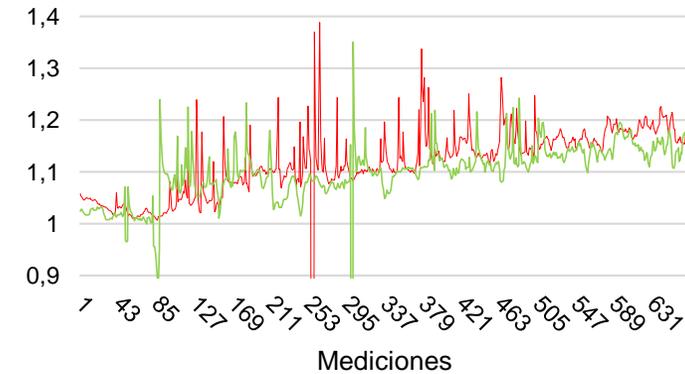
— GASOLINA
— GLP

CO2



— GASOLINA
— GLP

Lambda

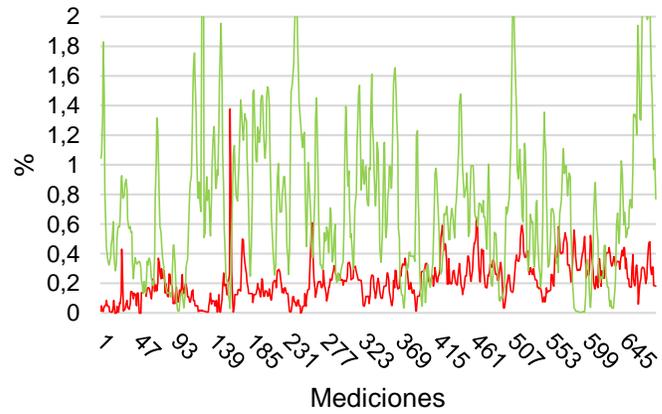


— GASOLINA
— GLP

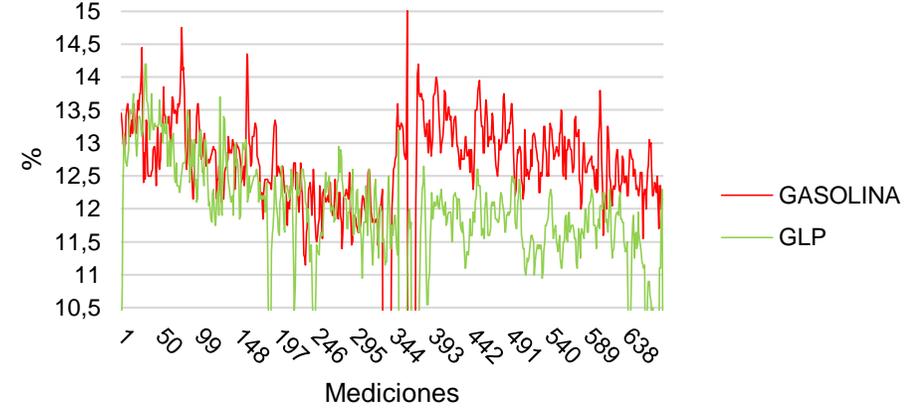


Ruta urbana

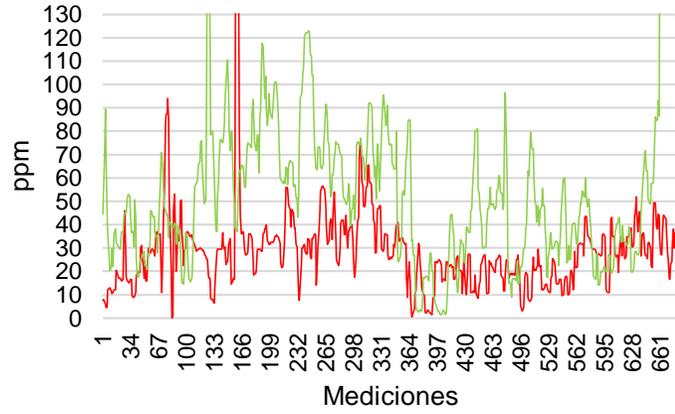
CO



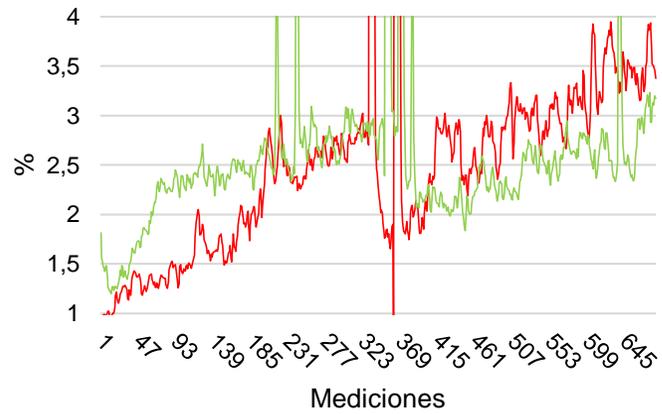
CO2



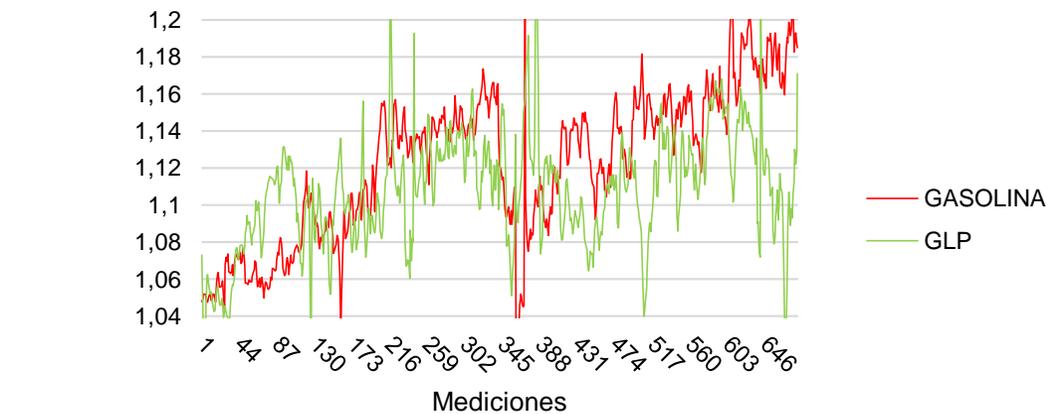
HC



O2

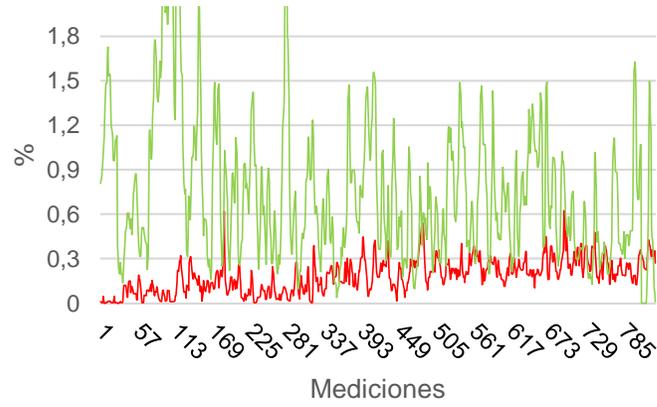


Lambda

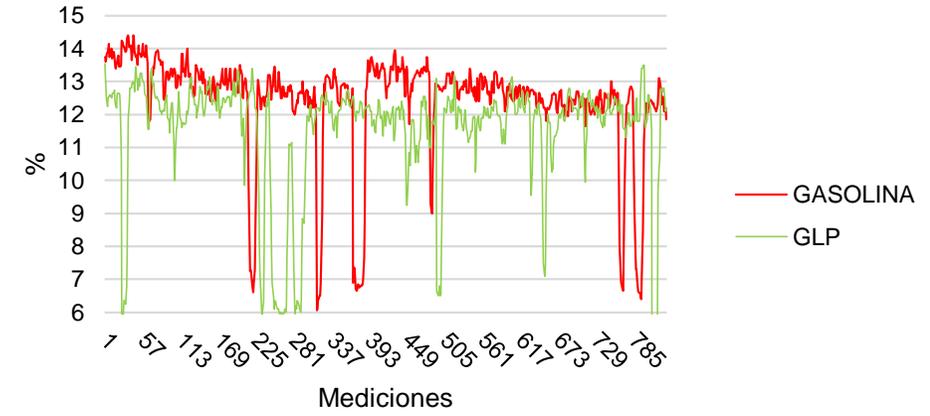


Ruta combinada

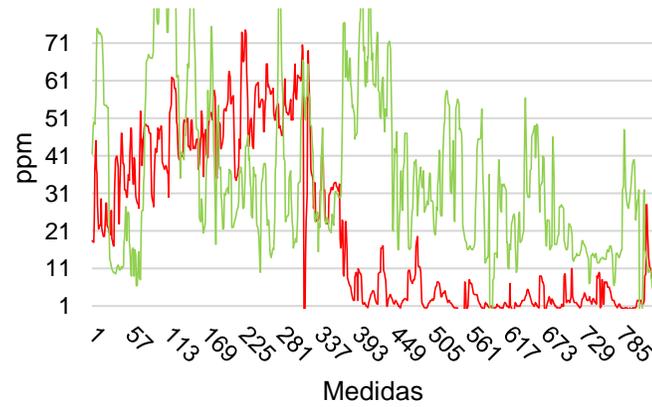
CO



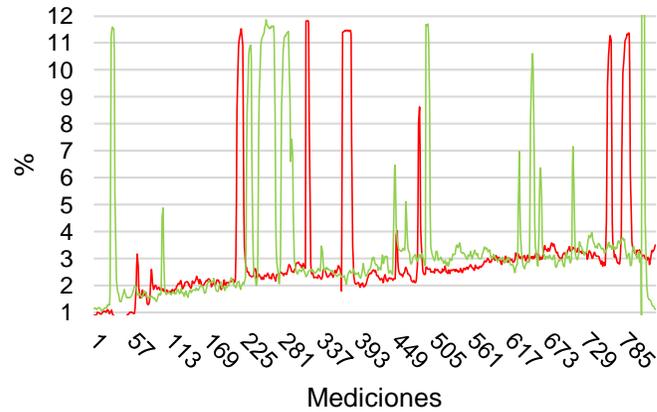
CO2



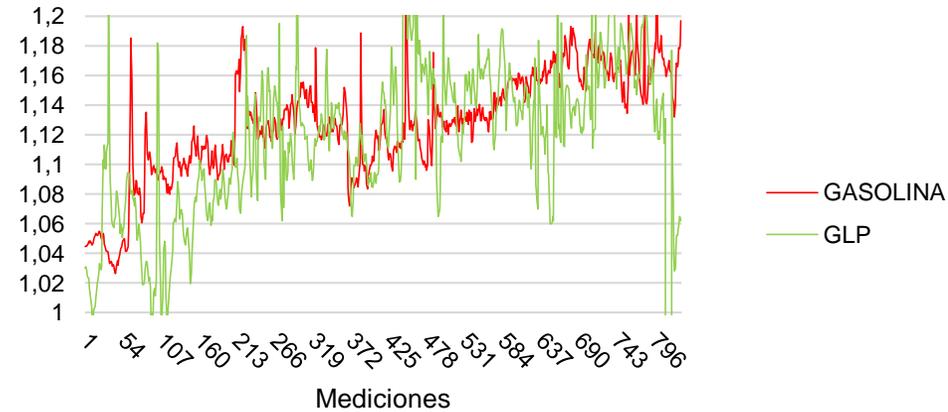
HC



O2



Lambda



Test oficial

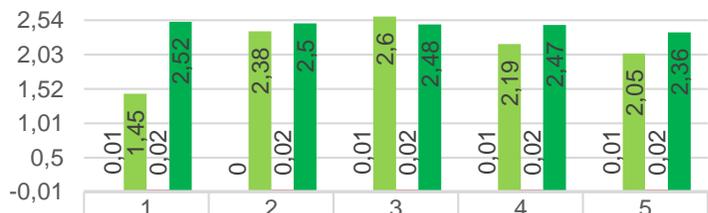
 TEST OFICIAL GASES DE ESCAPE	
ANALIZADOR GASES : AGS-688 TACÓMETRO	
Número de Serie : 160513000054	Número de Serie :
Número de Homologación : OM00292EST006cNET	Número de Homologación :
Fecha vencimiento calibración : 19/05/2024	Fecha vencimiento calibración :
DATOS TALLER	
NAME ADDRESS TELEPHONE ZIP - CITY FAX-EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO	
Placa : PBE4563	No. Chasis : JMGER2939G216897
Marca : MAZDA	No. Tubos de Escape : 2
Modelo : CX7	2 Tiempos / 4 Tiempos : 4
Año de Construcción : 2009	Odómetro : 119730
Combustible : GASOLINA	
LIMITES PRESCRITOS	
Temperatura Motor : 80 [°C]	Régimen Motor en Aceleración : 2400 - 2500 [1/min]
Régimen Motor al Mínimo : 500 - 1200 [1/min]	
O2 : 5.0 [%Vol]	CO : 1.0 [%Vol] HC : 200 [ppmVol]
VALORES MEDIDOS	
PRUEBA AL MINIMO Tubo.1 Tubo.2 Promedio Temp. Motor : 96 [°C] RPM : 1080 1070 1075 [1/min] CO : 0.01 0.01 0.01 [%Vol] CO2 : 15.1 15.2 15.2 [%Vol] O2 : 0.28 0.24 0.26 [%Vol] HC : 11 10 11 [ppmVol] Lambda : 1.012 1.010 1.011 [-]	PRUEBA EN ACELERACION Tubo.1 Tubo.2 Promedio Temp. Motor : 96 [°C] RPM : 2480 2500 2495 [1/min] CO : 0.02 0.01 0.02 [%Vol] CO2 : 15.0 15.1 15.1 [%Vol] O2 : 0.60 0.34 0.47 [%Vol] HC : 11 12 12 [ppmVol] Lambda : 1.027 1.015 1.021 [-]
RESULTADO DEL TEST : APROBADO SIN FALTAS	
Fecha y hora de inicio prueba : 29/12/2023 11:07:33	
Fecha y hora de termine prueba : 29/12/2023 11:12:30	
Examinador : STALIN	
Firma	

 TEST OFICIAL GASES DE ESCAPE	
ANALIZADOR GASES : AGS-688 TACÓMETRO	
Número de Serie : 160513000054	Número de Serie :
Número de Homologación : OM00292EST006cNET	Número de Homologación :
Fecha vencimiento calibración : 19/05/2024	Fecha vencimiento calibración :
DATOS TALLER	
NAME ADDRESS TELEPHONE ZIP - CITY FAX-EMAIL	
DATOS DEL VEHICULO	
Placa : PBE4563	No. Chasis : JMGER2939G216897
Marca : MAZDA	No. Tubos de Escape : 2
Modelo : CX7	2 Tiempos / 4 Tiempos : 4
Año de Construcción : 2009	Odómetro : 120798
Combustible : GLP	
LIMITES PRESCRITOS	
Temperatura Motor : 80 [°C]	Régimen Motor en Aceleración : 2400 - 2500 [1/min]
Régimen Motor al Mínimo : 500 - 1200 [1/min]	
O2 : 5.0 [%Vol]	CO : 1.0 [%Vol] HC : 200 [ppmVol]
VALORES MEDIDOS	
PRUEBA AL MINIMO Tubo.1 Tubo.2 Promedio Temp. Motor : 94 [°C] RPM : 1190 1200 1195 [1/min] CO : 2.25 2.12 2.18 [%Vol] CO2 : 13.2 13.2 13.2 [%Vol] O2 : 0.13 0.09 0.11 [%Vol] HC : 117 121 119 [ppmVol] Lambda : 0.938 0.939 0.939 [-]	PRUEBA EN ACELERACION Tubo.1 Tubo.2 Promedio Temp. Motor : 94 [°C] RPM : 2460 2460 2460 [1/min] CO : 2.42 2.52 2.47 [%Vol] CO2 : 12.8 12.9 12.9 [%Vol] O2 : 0.22 0.10 0.16 [%Vol] HC : 219 212 218 [ppmVol] Lambda : 0.932 0.925 0.929 [-]
RESULTADO DEL TEST : RECHAZADO	
Fecha y hora de inicio prueba : 28/01/2024 10:58:28	
Fecha y hora de termine prueba : 28/01/2024 11:04:56	
Examinador : TONATO	
Firma	



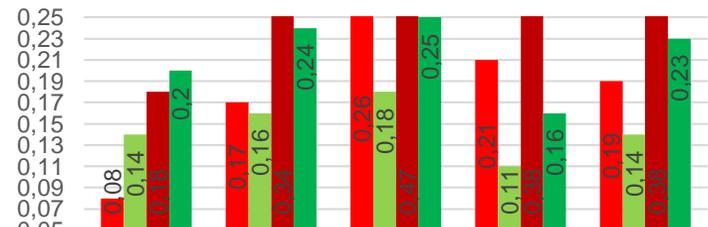
Test oficial

CO



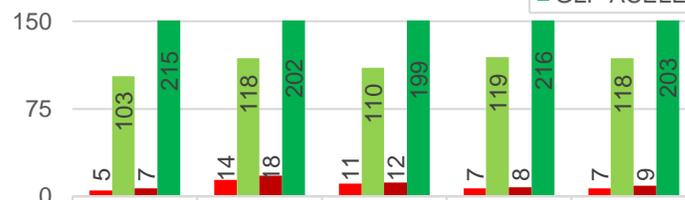
	1	2	3	4	5
■ GASOLINA MÍNIMO	0,01	0	0,01	0,01	0,01
■ GLP MÍNIMO	1,45	2,38	2,6	2,19	2,05
■ GASOLINA ACELERACIÓN	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
■ GLP ACELERACIÓN	2,52	2,5	2,48	2,47	2,36

O2



	1	2	3	4	5
■ GASOLINA MÍNIMO	0,08	0,17	0,26	0,21	0,19
■ GLP MÍNIMO	0,14	0,16	0,18	0,11	0,14
■ GASOLINA ACELERACIÓN	0,18	0,34	0,47	0,38	0,38
■ GLP ACELERACIÓN	0,2	0,24	0,25	0,16	0,23

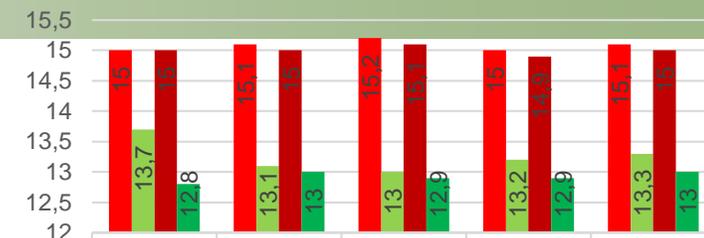
HC



	1	2	3	4	5
■ GASOLINA MÍNIMO	5	7	11	7	7
■ GLP MÍNIMO	103	118	110	119	118
■ GASOLINA ACELERACIÓN	14	18	12	8	9
■ GLP ACELERACIÓN	215	202	199	216	203

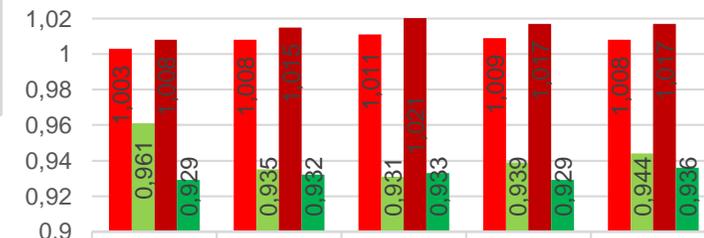
Año	HC (PPM)	CO (%)	O2 (%)	TIPO DE FALTA	RESULTADO
DEL 2000 EN ADELANTE	0 ≤ X < 160	0 ≤ X < 0,6	0 ≤ X < 3	0	APROBADO SIN FALTAS
	160 ≤ X < 180	0,6 ≤ X < 0,8	3 ≤ X < 4	1	APROBADO CON FALTA TIPO 1
	180 ≤ X < 200	0,8 ≤ X < 1	4 ≤ X < 5	2	APROBADO CON FALTA TIPO 2
	X ≥ 200	X ≥ 1	X ≥ 5	3	RECHAZADO

CO2



	1	2	3	4	5
■ GASOLINA MÍNIMO	15	15,1	15,2	15	15,1
■ GLP MÍNIMO	13,7	13,1	13	13,2	13,3
■ GASOLINA ACELERACIÓN	15	15	15,1	14,9	15
■ GLP ACELERACIÓN	12,8	13	12,9	12,9	13

Lambda



	1	2	3	4	5
■ GASOLINA MÍNIMO	1,003	1,008	1,011	1,009	1,008
■ GLP MÍNIMO	0,961	0,935	0,931	0,939	0,944
■ GASOLINA ACELERACIÓN	0,968	1,015	1,021	1,017	1,017
■ GLP ACELERACIÓN	0,929	0,932	0,933	0,929	0,936



Test continuo

 BrainBee® ANÁLISIS GASES ESCAPE <small>WORKSHOP SOLUTIONS</small>			
ANALIZADOR Número de serie :	AGS-688 160513000054	CUENTARREVOLUCIONES Número de serie :	
ADDRESS ZIP - CITY		NAME TELEPHONE FAX - EMAIL	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: CX-7
Matrícula	: PBE-4563	No. Chasis	: JM3ER293X90216897
Combustible	: GASOLINA	Km recorridos	: 119730
Valores relevados:			
Temp. motor	[°C]	:	93
RPM	[1/min]	:	1080
COcorr	[%Vol]	:	0.00
Lambda	[-]	:	1.016
CO	[%Vol]	:	0.00
CO ₂	[%Vol]	:	15.0
HC	[ppmVol]	:	3
O ₂	[%Vol]	:	0.35
NO	[ppmVol]	:	75
Fecha y hora prueba	:	29/12/2023	13:50
Sello			
Firma			

 BrainBee® ANÁLISIS GASES ESCAPE <small>WORKSHOP SOLUTIONS</small>			
ANALIZADOR Número de serie :	AGS-688 160513000054	CUENTARREVOLUCIONES Número de serie :	
ADDRESS ZIP - CITY		NAME TELEPHONE FAX - EMAIL	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: CX-7
Matrícula	: PBE-4563	No. Chasis	: JM3ER293X90216897
Combustible	: GASOLINA	Km recorridos	: 119730
Valores relevados:			
Temp. motor	[°C]	:	93
RPM	[1/min]	:	2010
COcorr	[%Vol]	:	0.00
Lambda	[-]	:	1.009
CO	[%Vol]	:	0.00
CO ₂	[%Vol]	:	15.1
HC	[ppmVol]	:	8
O ₂	[%Vol]	:	0.19
NO	[ppmVol]	:	330
Fecha y hora prueba	:	29/12/2023	13:52
Sello			
Firma			



Test continuo

CO [%]



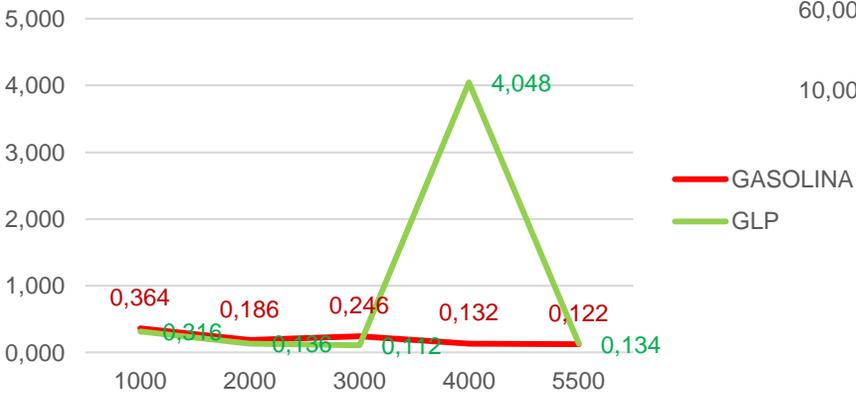
CO2 [%]



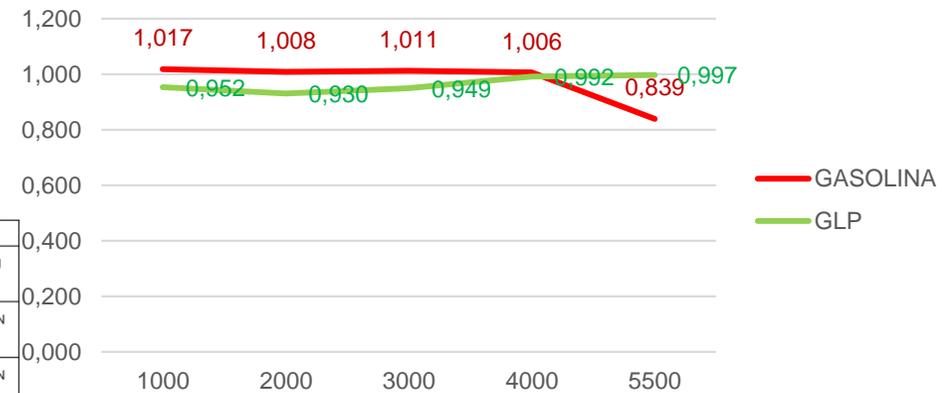
HC [ppm]



O2 [%]



Lambda



Año	HC (PPM)	CO (%)	O2 (%)	TIPO DE FALTA	RESULTADO
DEL 2000 EN ADELANTE	$0 \leq X < 160$	$0 \leq X < 0,6$	$0 \leq X < 3$	0	APROBADO SIN FALTAS
	$160 \leq X < 180$	$0,6 \leq X < 0,8$	$3 \leq X < 4$	1	APROBADO CON FALTA TIPO 1
	$180 \leq X < 200$	$0,8 \leq X < 1$	$4 \leq X < 5$	2	APROBADO CON FALTA TIPO 2
	$X \geq 200$	$X \geq 1$	$X \geq 5$	3	RECHAZADO



Conclusiones

- Se investigó la incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares.
- Se realizaron ensayos de emisiones en tiempo real en el motor de combustión interna GDI a través de pruebas continuas y test oficial según la NTE INEN 2 203 y NTE INEN 2 204 y se cuantifico la relación aire – combustible del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI de acuerdo a los valores de HC, CO, CO₂ y NO_x.
- Se evaluó de manera integral y precisa el impacto del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI, para observar una reducción significativa en las emisiones vehiculares en comparación con el uso exclusivo de gasolina convencional, debido a las propiedades de combustión más limpias inherentes al GLP.
- Los incrementos de hidrocarburos de 112 a 208 [ppm] en régimen de aceleración se deben a que la calibración de los vehículos con gas licuado de petróleo tiene relaciones de aire – combustible mayor a 1, hace que tenga mayor demanda de carburante y es evidente en su ralentí que se encuentra por encima de las revoluciones establecidas.



Recomendaciones

- Optimizar el desempeño del sistema del gas licuado de petróleo considerando el avance al encendido mediante el uso de variadores al avance de encendido con control electrónico de gestión integral para ajustar el ángulo de avance, que mejora la eficacia de la combustión de la mezcla aire-combustible para reducir emisiones.
- Implementar un controlador de GLP que permite la inyección secuencial directa para una precisa dosificación del combustible en todo el rango de revoluciones, con un consumo mínimo de combustible.
- Efectuar la aplicación de inyectores de gas licuado de petróleo sin límite de recorrido que permita ser utilizado en motores turbo cargados para obtener mejores parámetros de trabajo y que permitan la excelente disipación del calor de la bobina del inyector.
- Adecuar sensores de presión para GLP que permitan medir la presión del gas licuado de petróleo, el vacío del colector y la temperatura del gas en el recorrido del GLP.

