



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

**TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
GENERACIÓN DE HIDRÓGENO DE CELDA SECA EN EL
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 1800 CC OPEL PARA
DETERMINAR SU INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS
CARACTERÍSTICOS”**

**AUTORES: AIMACAÑA CAISALUISA, DARWIN PAÚL
MASAPANTA ALOMOTO, MARCO EDUARDO**

DIRECTOR: ING. ERAZO LAVERDE, WASHINGTON GERMÁN.

2022



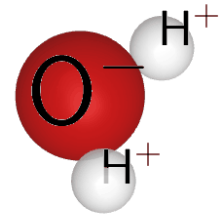
1. Antecedentes.....	3
2. Planteamiento del problema.....	6
3. Objetivos	7
3.1 Objetivo general.....	7
3.2 Objetivos específicos	8
4. Metas del Proyecto.....	10
5. Hipótesis	11
6. Ficha técnica motor OPEL 1.8 L.....	12
7. Introducción	13
8. Conexión mecánica del sistema.....	14
9. Conexión eléctrica del sistema.....	16
10. Preparación electrolito.....	17
11. Análisis de potencia con gasolina extra vs extra – HHO.....	18
12. Análisis de torque con gasolina extra vs extra – HHO	19
13. Análisis de potencia con gasolina super vs super – HHO	20



14. Análisis de torque con gasolina super vs super – HHO.....	21
15. Análisis consumo de combustible WLTP.....	22
16. Resultados y análisis con combustible extra vs extra + HHO.....	23
17. Resultados y análisis con combustible super vs super + HHO.....	24
18. Variación de emisiones contaminantes con combustible extra vs extra + HHO.....	25
19. Variación de emisiones contaminantes con combustible super vs super + HHO.....	26
20. Conclusiones.....	27
21. Recomendaciones	30

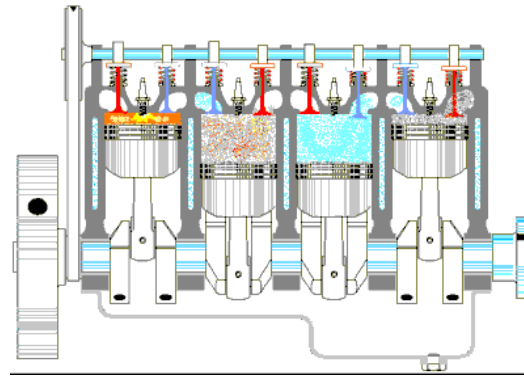


- El hidrógeno es un gas que está presente en abundancia en el universo, por ende, mediante procesos fisicoquímicos y biológicos se encuentra también en la tierra, combinado mayormente con el oxígeno para formar agua.
- Mediante reacciones químicas (electrólisis), se logra separar los átomos de hidrógeno “H” del agua

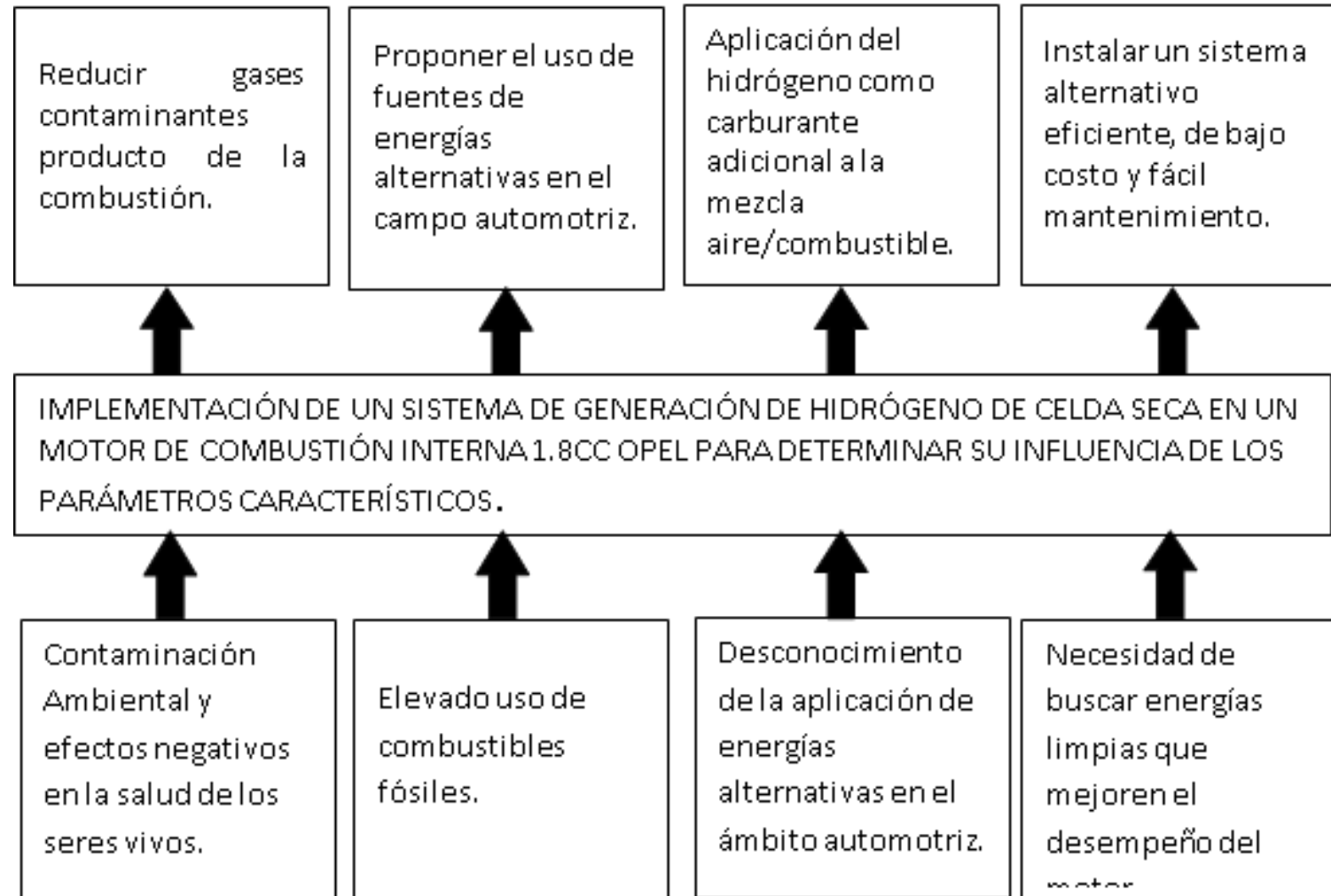


Antecedentes

- El gas HHO, generado por electrólisis, es suministrado directamente al sistema de alimentación del motor, de modo que se combina con la mezcla aire combustible, teniendo como resultado un carburante adicional a la gasolina.
- en el Ecuador de las emisiones de dióxido de carbono consecuencia de la quema de combustibles fósiles ha alcanzado las 2.3 toneladas métricas per cápita en el año 2019, constituyéndose en uno de los principales problemas de contaminación (Grupo Banco Mundial [GBM], 2022).



Planteamiento del problema



Objetivo general

- Implementar el sistema de generación de hidrógeno de celda seca en el MCI 1.8L OPEL para determinar la influencia en sus parámetros característicos de desempeño.



Objetivos específicos

- Investigar en fuentes bibliográficas y casos referentes la implementación de los generadores de hidrógeno de celdas secas en los automóviles.
- Determinar los parámetros característicos del motor de combustión interna Opel 1800cc en condiciones normales de operación.
- Seleccionar los componentes mecánicos y electrónicos relacionados con el generador de hidrógeno de pila seca, mediante especificaciones y normas de seguridad.



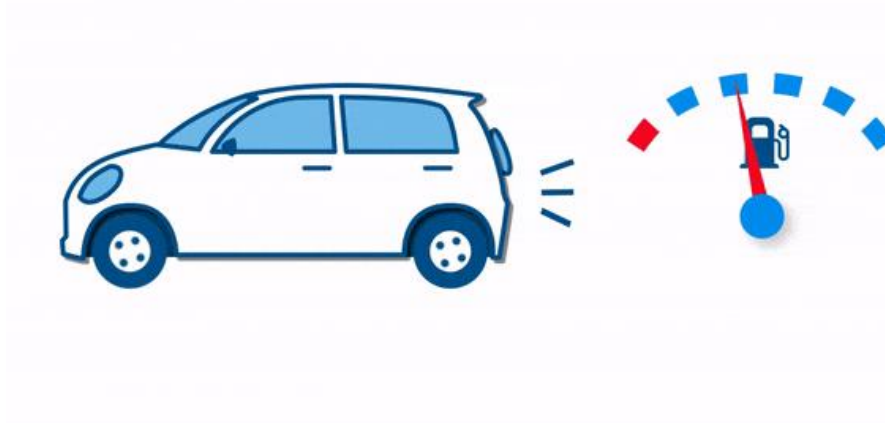
Objetivos específicos

- Realizar la puesta a punto del sistema de generación de hidrógeno en el motor de combustión interna Opel 1800 CC.
- Determinar los parámetros característicos del MCI 1.8L, una vez implementado el sistema de generación de hidrógeno por pila seca en el vehículo.
- Realizar un análisis comparativo de los parámetros característicos de desempeño del MCI entre el uso de combustible tradicional frente a la inyección de hidrógeno.
- Analizar la factibilidad de la implementación del sistema de generación de hidrógeno tipo celda seca.



Metas del proyecto

- Incrementar la potencia del motor OPEL 1.8 L, en un 6 % mediante la implementación de un generador de hidrógeno.
- Disminuir los gases residuales y mejorar la rentabilidad del consumo de combustible en un 15% de un auto convencional a gasolina al utilizar el HHO como carburante adicional.



- La implementación de un sistema de generación de hidrógeno tipo celda seca en un MCI 1.8L OPEL aportará una mejora en la potencia, reducción de emisiones contaminantes y un menor consumo de combustible (gasolina).



Ficha técnica motor OPEL 1.8 L

Tabla 5

Ficha técnica Vehículo OPEL CORSA 1.8 L

Prestaciones y dimensiones		
	Combustible	Nafta
	Capacidad	44 L
	Litros	1.8
	Diámetro Cilindro	80.5 mm
	Carrera	88.2 mm
	Relación de compresión	9.5
	Cilindros	4
Normas de emisiones	Normativa	EU 3
	Nivel CO2 combinado	185 g/km
Potencia	Potencia máxima	102 HP
	Régimen de potencia máxima	6000 rpm
	Par máximo	165 Nm
	Régimen de par máximo	4600 rpm
Consumo	Urbano	11 litros / 100 km
	Extraurbano	5.8 litros / 100 km
	Combinado	7.7 litros / 100 km



Nota: La ficha técnica detalla las prestaciones del vehículo Opel Corsa 1.8 L.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Funcionamiento del sistema de generación de hidrógeno de celda seca.



Nota. Díaz et al. (2017). Esquema de montaje sistema de producción HHO. [Fotografía].

Revista UIS Ingenierías. <https://bit.ly/3MQOdAy>

Conexión mecánica del sistema



Componentes



Instalación del reactor



Depósito del electrolito



Filtro de impurezas



Filtro de HHO



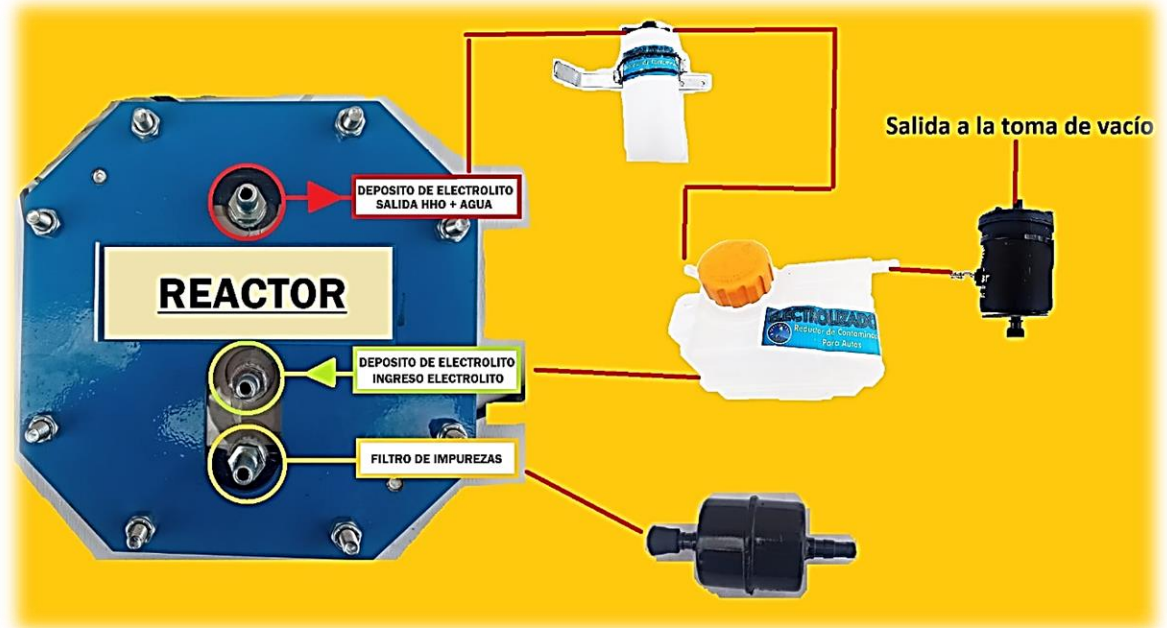
Trampa de agua



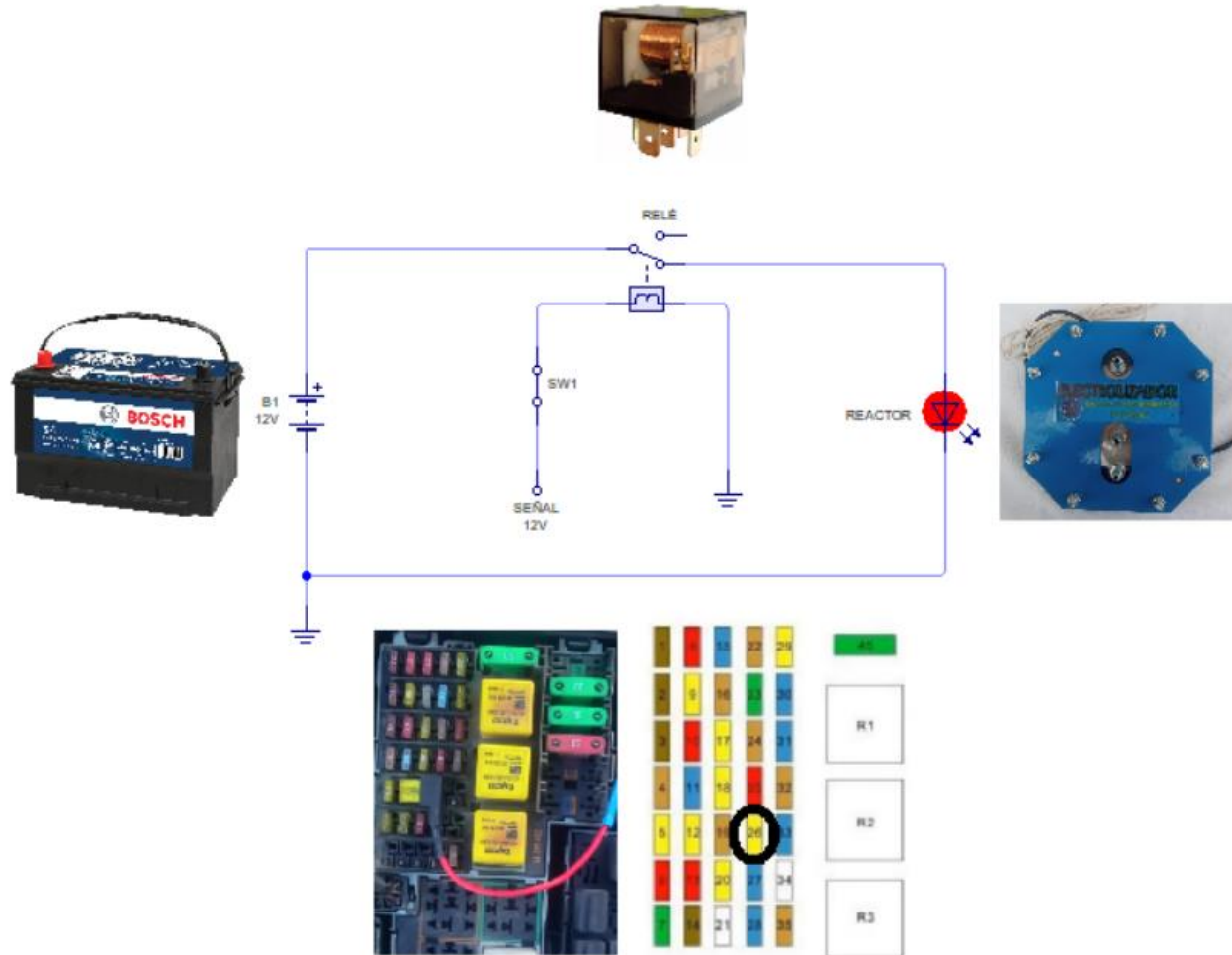
Conexión mecánica del sistema



Toma de vacío



Conexión eléctrica del sistema



Preparación electrolito

Producto	Cantidad
Hidróxido de potasio	20 gramos
Bicarbonato de sodio	10 gramos
Concentrado de refrigerante	20 mililitros



Análisis de potencia con gasolina extra vs extra - HHO

Figura 34

Relación de potencia gasolina extra vs gasolina extra + HHO.

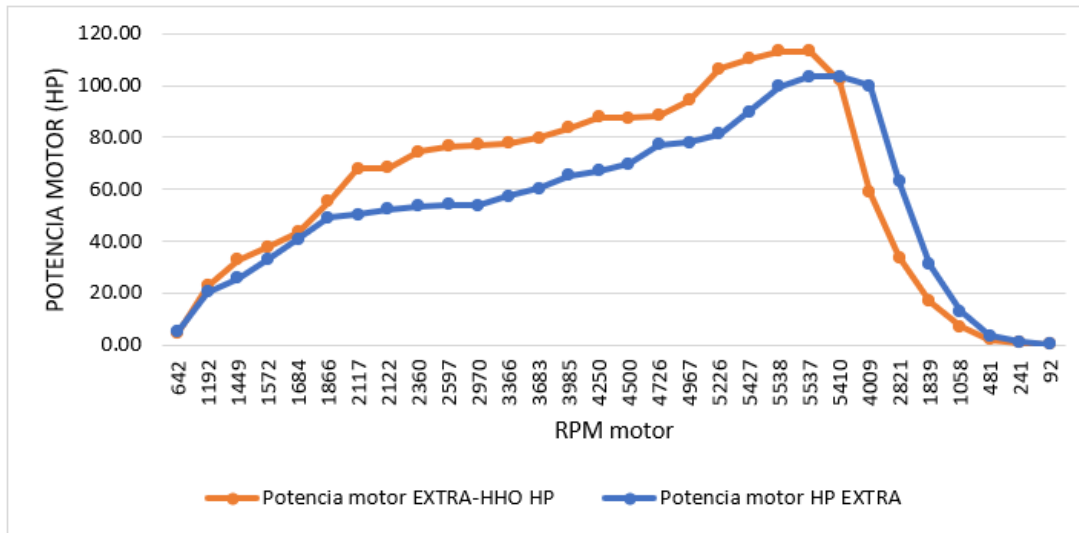


Tabla 15

Variación porcentual de potencia (hp) con gasolina extra + HHO.

rpm	Extra (hp)	Extra + HHO (hp)	Variación
1878	50,1	55,2	9,24%
5486	103,6	110,2	6%

Nota: Valores de potencia en hp.

Nota: (Color naranja) Potencia con extra + HHO. (Color azul) Potencia con extra.



Análisis de torque con gasolina extra vs extra - HHO

Figura 35

Relación de torque gasolina extra vs gasolina extra + HHO.

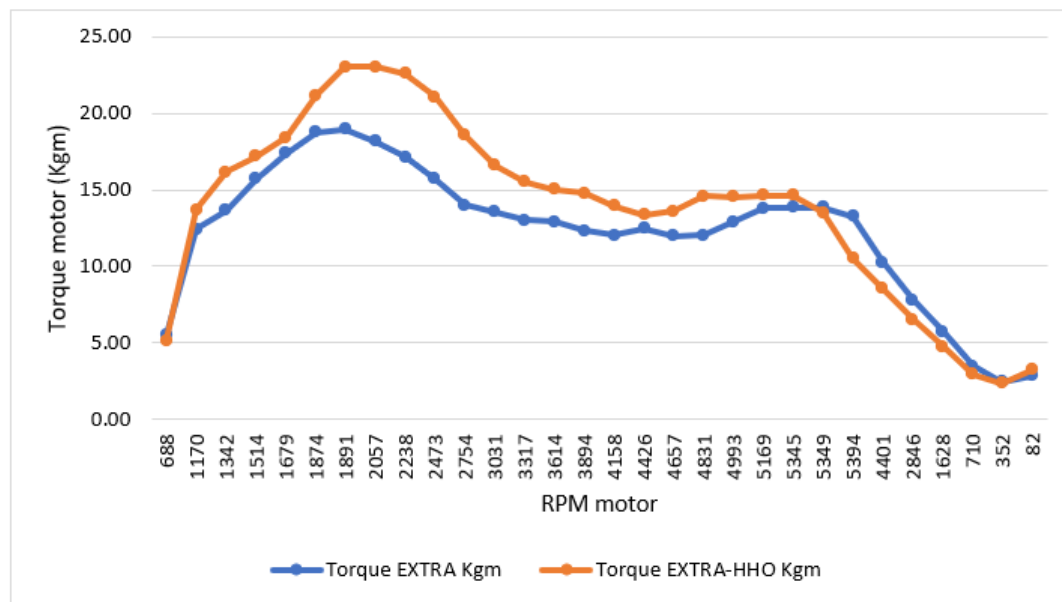


Tabla 16

Variación porcentual de torque con gasolina extra + HHO.

rpm	Extra	Extra + HHO	Variación
1878	18,97	21,19	10,48%
5486	13,86	14,54	4,68%

Nota: Valores de torque en Kg-m.

Nota: (Curva azul) Torque con gasolina extra. (Curva naranja) Torque extra + hidrógeno.



Análisis de potencia con gasolina super vs super - HHO

Figura 38

Relación de potencia de combustible super vs super + HHO.

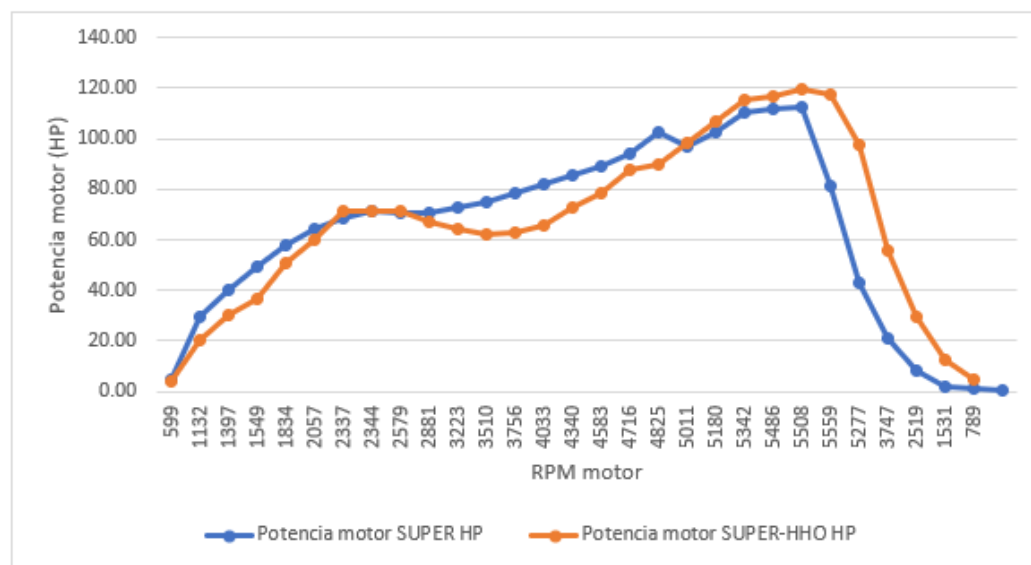


Tabla 19

Variación porcentual de potencia hp con combustible super + HHO.

rpm	Super	Super + HHO	Variación
1350	29,4	30,2	+2,65%
2550	71,7	71,3	-0,56%
5486	112,5	116,7	+3,60%

Nota: (+) Incremento, (-) disminución de potencia.

Nota: Las curvas corresponden a la potencia del motor utilizando gasolina super (curva azul) y super + hidrógeno (curva naranja).



Análisis de torque con gasolina super vs super - HHO

Figura 39

Relación de torque con combustible super vs super + HHO

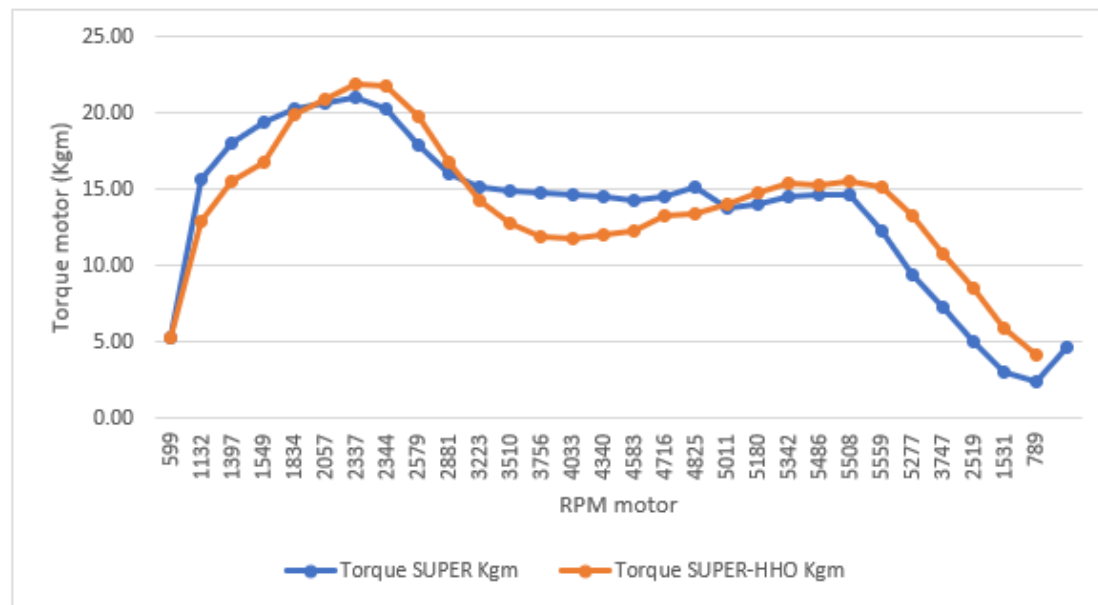


Tabla 20

Variación porcentual de torque Kg-m con combustible super + HHO.

rpm	Super	Super + HHO	Variación
1350	15,61	15,5	0,70%
2550	20,32	19,79	2,61%
5486	14,69	15,23	3,55%

Nota: (+) Incremento, (-) disminución de torque.

Nota: Las curvas corresponden al torque del motor utilizando gasolina super y super + hidrógeno.



Análisis consumo de combustible WLTP

Tabla 21

Protocolo WLTP para consumo de combustible

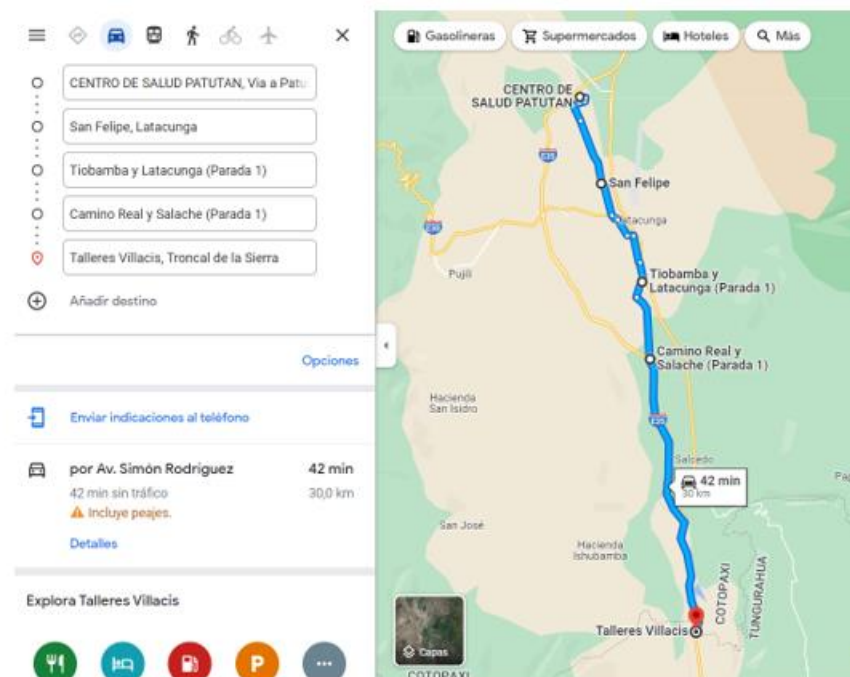
Protocolo WLTP (Procedimiento de prueba de vehículos ligeros armonizados en todo el mundo)	
Ciclo de prueba	Ciclo dinámico
Duración de ciclo	Mínimo 30 minutos
Distancia del ciclo	Mínimo 23,25 kilómetros
Fase de conducción	52% urbano – 48% extraurbano
Velocidad media	46,5 kilómetros por hora
Velocidad máxima	131 kilómetros por hora
Cambios de velocidad	Calculados para cada automotor
Temperaturas de prueba	14°C a 23°C

Nota: En la tabla se observa los parámetros básicos del protocolo a cumplir para la prueba de consumo de combustible en ruta. Obtenido de:

<https://www.dsautomobiles.es/universo-ds/tecnologia/wltp.html>

Figura 40

Ruta para el análisis de consumo de combustible.



Nota: Detalle de trayecto recorrido conseguido con Google Maps.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Resultados y análisis con combustible extra vs extra + HHO

Tabla 22

Datos de prueba de ruta con combustible extra vs extra + HHO.

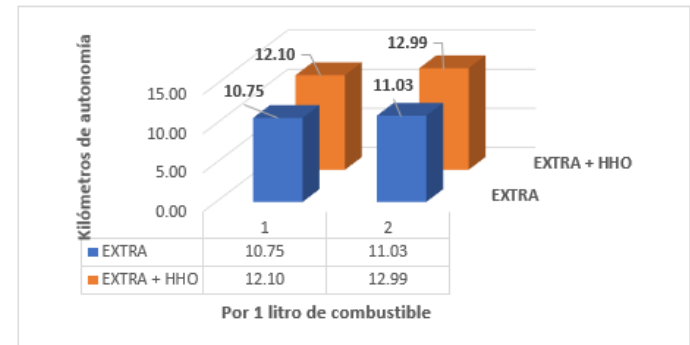
Sistema	Número de pruebas	Cantidad consumida (l)	Distancia ruta (Km)	Velocidad media km/h	Tiempo empleado min	Autonomía Km/l	Valor promedio	Variación autonomía (%)
Extra	1	2,79	30	46,32	45	10,75	10,89	
	2	2,72	30	44,26	48	11,03		
Extra + HHO	1	2,48	30	45,25	46	12,10	12,54	15,16
	2	2,31	30	47,29	43	12,99		

Nota: En la tabla se observa el nivel de consumo efectuado en condición solo EXTRA y combinado EXTRA – HHO, dos pruebas cada condición.



Figura 41

Análisis de consumo de combustible extra vs extra + HHO.



Nota: Comparación de la autonomía del combustible extra representado por el color azul, frente a la combinación del extra y HHO representado por el color naranja.



Resultados y análisis con combustible super vs super + HHO

Tabla 23

Datos de prueba de ruta de combustible super vs super + HHO.

Sistema de pruebas	Número de pruebas	Cantidad consumida (l)	Distancia ruta (Km)	Velocidad media km/h	Tiempo empleado min	Autonomía Km/l	Valor promedio	Variación autonomía
Super	1	2,56	30	47,12	47	11,72	11,86	
	2	2,50	30	47,98	44	12,00		
Super + HHO	1	2,28	30	44,52	48	13,16	13,59	14,58
	2	2,14	30	45,29	46	14,02		

Nota: En la tabla se observa el nivel de consumo efectuado en condición solo SUPER y su combinado super + HHO, dos pruebas cada condición.



Figura 42

Análisis de consumo de combustible super vs super + HHO



Nota: En la figura se observa la comparación de la autonomía del combustible super (azul) frente a la combinación del super + HHO (naranja).



Variación de emisiones contaminantes con combustible extra vs extra + HHO

Tabla 26

Variación de emisiones contaminantes con combustible extra vs extra + HHO.

Parámetros	Ralentí			Crucero			Limite
	Extra	Extra + HHO	Variación	Extra	Extra + HHO	Variación	
HC (ppm)	166	174,67	+4,96%	54,33	58,33	+6,86%	200 ppm
CO (%V)	0,60	0,53	-11,67%	0,73	0,74	-0,90%	1%
CO2 (%V)	13,26	13,31	+0,38%	13,34	13,31	-0,17%	7%
O2 (%V)	0,04	0,05	+20,00%	0,05	0,02	60%	5%

Nota: La tabla indica las variaciones en modo ralentí y crucero de la prueba estática de emisiones contaminantes con la norma INEN NTE 2204 al utilizar combustible extra + HHO.



Variación de emisiones contaminantes con combustible super vs super + HHO

Tabla 29

Variación de emisiones contaminantes con combustible super vs super + HHO

Parámetros	Ralentí			Crucero			Limite
	Super	Super + HHO	Variación	Super	Super + HHO	Variación	
HC (ppm)	168,33	173,33	+2,88%	52,33	53,00	+1,26%	200 ppm
CO (%V)	0,63	0,55	-12,70%	0,76	0,77	+1,30%	1%
CO2 (%V)	13,31	13,37	+0,45%	13,45	13,50	- 0,37%	7%
O2 (%V)	0,06	0,06	0,00%	0,03	0,03	0,00%	5%



Nota: La tabla indica las variaciones en modo ralentí y crucero de la prueba estática de emisiones contaminantes con la norma INEN NTE 2204 al utilizar combustible super + HHO.



- Se implementó de manera exitosa el sistema de generación de hidrógeno de celda seca en el MCI 1.8 L Opel.
- Las pruebas de desempeño, consumo y emisiones se realizaron con combustible extra y super, cuyos valores de octanaje son 87 y 92 octanos respectivamente y su combinación con HHO.
- La mezcla del electrolito está preparada por componentes de fácil acceso en el mercado, como es hidróxido de potasio, bicarbonato, concentrado de refrigerante y agua común.
- El reactor de HHO consume un amperaje de 4,55 amperios a 13,91 voltios en corriente continua, valor equivalente a 6 bombillos del auto.



- Al añadir combustible extra y HHO al sistema de admisión del motor se obtuvo un incremento en la potencia motor de 6,6 hp a un régimen aproximado de 5400 rpm, representando así una variación del 6%, por otra parte, al inyectar combustible super y HHO al sistema se obtuvo un incremento en la potencia motor de 4,2 hp a un régimen aproximado de 5486 rpm, representando así una variación del 3%.
- Al añadir combustible extra y HHO al sistema de admisión del motor se obtuvo un incremento en el torque de 0,68 kg-m a un régimen aproximado de 5486 rpm, representando así una variación del 4,68%, por otra parte, al inyectar combustible super y HHO al sistema se obtuvo un incremento en el torque de 0,54 kg-m a un régimen aproximado de 5486 rpm, representando así una variación del 3,55%.



- Se obtuvo un ahorro de combustible de un 15,16% con combustible extra y HHO, y un 14,58% con combustible super y HHO, estos valores fueron obtenidos aplicando el protocolo WLTP para pruebas de consumo de combustible.
- Referente a las emisiones contaminantes al ingresar combustible extra y HHO al sistema se redujo en un 11.67% el monóxido de carbono a ralentí, y una disminución del dióxido de carbono de un 0.17% en régimen crucero, y al ingresar combustible super y HHO se redujo un 12.70% el monóxido de carbono a ralentí, y una disminución del dióxido de carbono de un 0.37% en régimen crucero, mismos valores aprueban la norma NTE INEN 2204.



- Para el estudio de la influencia del HHO sobre los parámetros característicos del motor, requiere de la puesta a punto y óptimo funcionamiento del mismo, para obtener datos fiables para el análisis.
- Verificar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico del generador de hidrógeno voltaje, amperaje y resistencias, para evitar una ineficiencia en el reactor o un consumo inadecuado del voltaje de la batería que presentaría problemas para el correcto funcionamiento del vehículo.
- Para la conexión de ductos y acoples que transportan el hidrógeno, se debe comprobar posibles fugas de este, para esto se recomienda el uso de una solución jabonosa que permitirá visualizar una inadecuada conexión.



- Es recomendable para las pruebas y análisis de parámetros característicos del motor, basar en la ficha técnica, normas y protocolos vigentes, como es WLTP para las pruebas de consumo y la norma NTE INEN 2204 para análisis de gases contaminantes.
- Al realizar la prueba de consumo de combustible es necesario un prototipo del sistema de almacenamiento y bombe del mismo, que permita medir con mayor precisión su volumen.
- Previo a realizar las pruebas de este estudio es muy importante tomar medidas de protección, como el uso de mascarilla, gafas de protección, guantes, mandil, extintor, números telefónicos de emergencia entre otros, debido a la manipulación de sustancias altamente inflamables.

