



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

Tema:

“Análisis del comportamiento del motor de combustión interna a gasolina en el proceso de descarbonización en la cámara de combustión utilizando un equipo generador de oxihidrógeno.”

Autores: Pazmiño Dávila, Kevin Orlando
Peralvo Mesias, Antonio Fabricio

Director: Ing. Quiroz Erazo, José Lizandro

Latacunga, noviembre 2022



Contenido

- Objetivo
- Planteamiento del problema
- Metas
- Marco teórico
- Diseño y construcción del equipo generador
- Pruebas realizadas
- Conclusiones
- Recomendaciones

Objetivo General

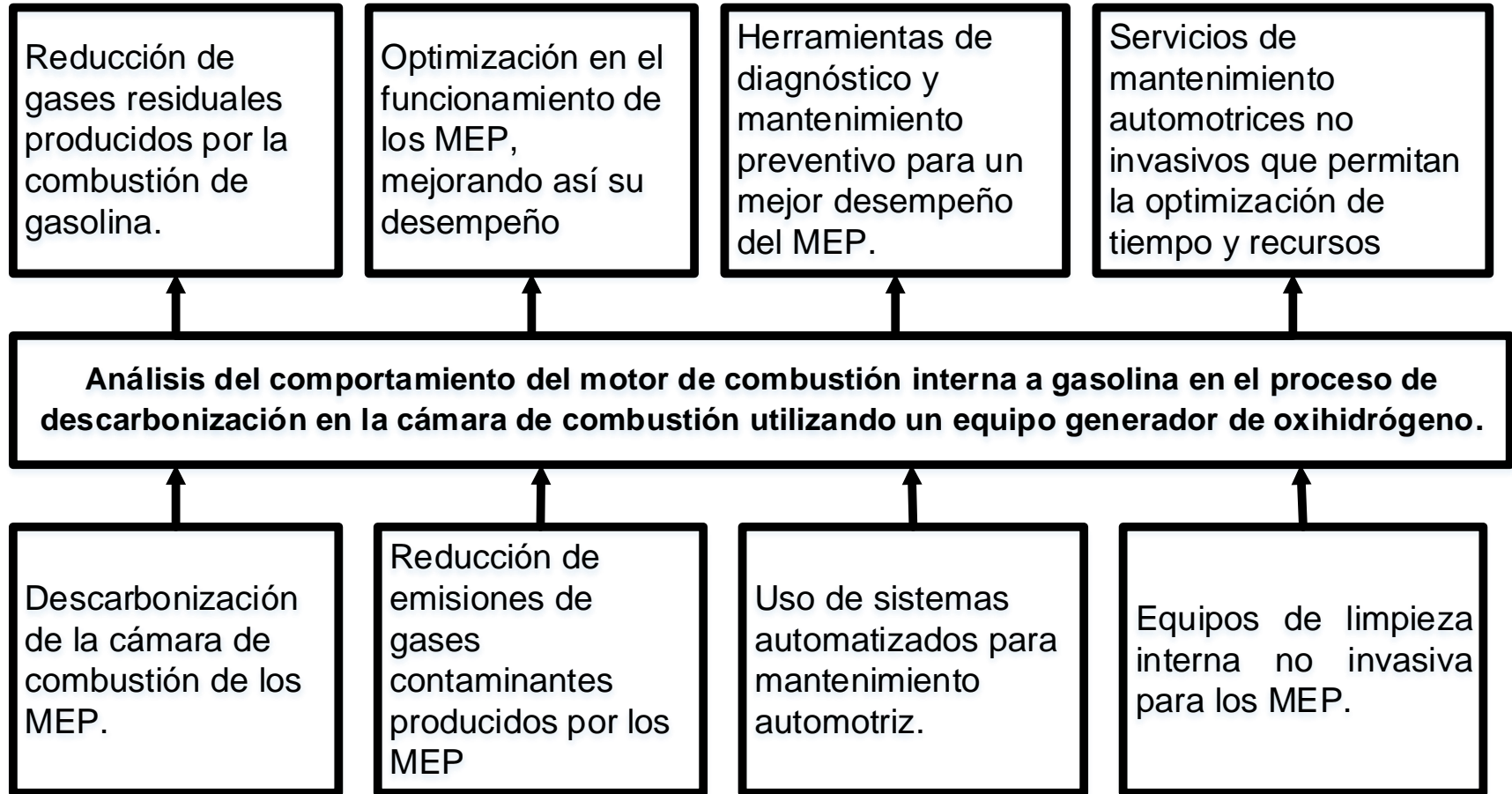
Analizar el comportamiento del motor de combustión interna a gasolina en el proceso de descarbonización en la cámara de combustión utilizando un equipo generador de oxihidrógeno.



Objetivos Específicos

- Diseñar y construir un generador de *HHO* para realizar el proceso de descarbonización en un MCI a gasolina.
- Determinar los protocolos a seguir para el proceso de descarbonización en motores de combustión interna a gasolina a partir de un generador de *HHO*.
- Analizar el funcionamiento del motor mediante el uso de equipos de diagnóstico, herramientas especializadas y pruebas de emisiones de gases.
- Comparar los valores de compresión del motor antes y después del proceso de descarbonización.
- Analizar los valores de las emisiones de gases antes y después del proceso de descarbonización aplicados en el motor de combustión interna a gasolina.

Planteamiento del Problema



Metas

- Se analizará la bibliografía recolectada para el desarrollo de la investigación, ordenándola por prioridades.
- Se diseñará el prototipo generador de oxihidrógeno de celdas secas con la finalidad de determinar las dimensiones, formas y materiales necesarios para su construcción, con la asistencia de un software CAD.
- Se construirá el generador de oxihidrógeno con los materiales diseñados en el software CAD, considerando dimensiones y materiales.

Metas

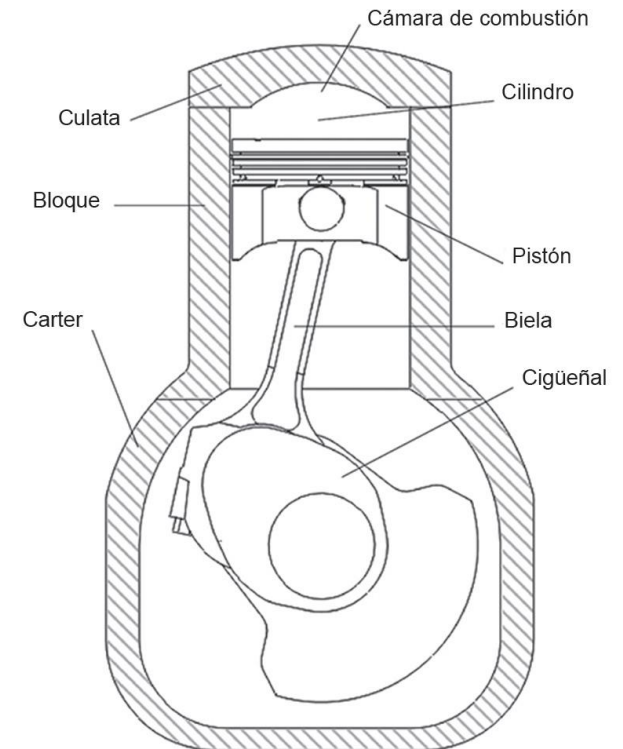
- Se aplicará el oxihidrógeno en los motores a gasolina para realizar la parte técnica de la investigación.
- Se realizarán pruebas de rendimiento a los vehículos con motor a gasolina seleccionados para la investigación.
- Se elaborará un informe técnico detallado con los resultados obtenidos en la investigación.

Marco Teórico



Combustión de un MCI a gasolina

- Requiere de una chispa
- Una combustión óptima, requiere de una mezcla homogénea
- Para ello se requiere una buena pulverización de combustible.
- Esto permite una emisión reducida de hidrocarburos no quemados.
- Las malas mezclas de aire/combustible crean mayores emisiones
- Además, disminuye la potencia y aumenta el consumo de combustible.



Emisiones de Gases de Combustión Producidos por un MEP

- Los MCI emiten *HC, CO, O₂, CO₂* y *NO_x*.
- En el Ecuador las emisiones están controladas por la normativa NTE INEN 2204.
- Las emisiones se miden con un analizador de gases de escape automotrices.



Gases de Combustión Producidos por un MEP

Hidrocarburos (*HC*).

Partículas de combustible que no se quemaron en el proceso de combustión.

Monóxido De Carbono (*CO*).

Combustión incompleta de una mezcla rica.

Óxidos Nitrosos (*NO_x*).

- Cuando la mezcla es pobre y existen altas temperaturas
- el **O₂** sobrante se une a los nitrógenos presentes en el aire.



Acumulación de carbón en la cámara de combustión

- Los MCI, carbonizan poco a poco las partes internas, cámara, bujías, válvulas, inyectores, colectores, etc.
- Eficiencia del motor
- Desgaste por fricción y temperatura
- Mantenimiento correctivo (reparación)
- Gases generados por mala combustión



Engine Valve



Engine EGR Valve



Petrol injectors

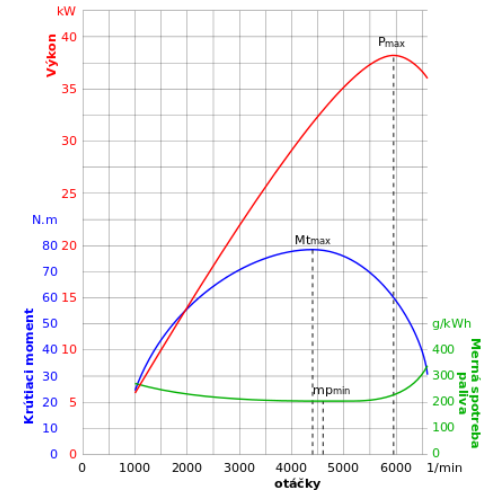


Engine Spark Plug

Descarbonización de los MEP

Pirolisis

- La pirolisis es una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión.
- Usa HHO producido de la electrólisis
- Método no invasivo
- Recuperación de la eficiencia del MEP
- Tiempo de vida útil



Oxihidrógeno

- Su proceso de combustión produce agua y aumenta la temperatura de trabajo en el motor.
- Su método de obtención es mediante el proceso de electrólisis del agua.
- El hidrógeno debido a sus ventajas sobre el combustible tradicional, tanto en el poder calorífico como en su octanaje, de manera agregada

OXIHIDRÓGENO
SISTEMA • ECOLÓGICO • AUTOMOTRIZ

Oxihidrógeno

- Es un elemento poco nocivo para la salud en pequeñas cantidades y no genera contaminación.
- El hidrógeno es 0% contaminante, inodoro e incoloro y lo importante, no es tóxico. Es un elemento poco utilizado en la industria automotriz debido a su complejo almacenamiento, sin embargo, su eficiencia energética supera a los otros combustibles con relación al peso lo que la convierte en una opción atractiva

OXIHIDRÓGENO
SISTEMA • ECOLÓGICO • AUTOMOTRIZ

Uso del HHO para descarbonizar MCI-EP

- Aumenta temperatura en la cámara de combustión y provoca la pirolisis (descarbonización).
- Elimina la gran parte de la carbonilla acumulada en la cámara de combustión
- Su tiempo es aproximado de 2 horas.
- Se puede aplicar en cualquier tipo de MCI.



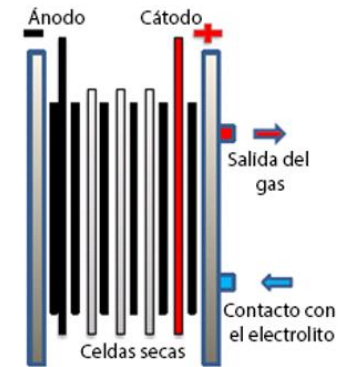
Generación de Hidrógeno por electrólisis

- El proceso de electrólisis para la obtención del gas *HHO* consiste en la descomposición de las moléculas de agua (H_2O) en
 - Oxígeno (O_2).
 - Hidrógeno (*HHO*).
- La cantidad de *HHO* generado depende de la corriente suministrada a las celdas secas.

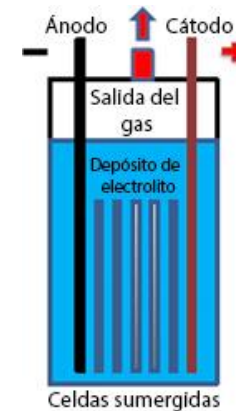


Electrólisis con Celdas Secas

- Máquina electroquímica.
- Los electrodos de este tipo de celdas están separados por láminas aislantes las cuales evitan que el electrólito se escape de la celda hacia las conexiones eléctricas.
- El electrólito fluye por el interior de la celda.



Celdas Secas



Celdas Húmedas

Nota. Celdas Electrolíticas.

Módulo de celdas secas: Electroodos

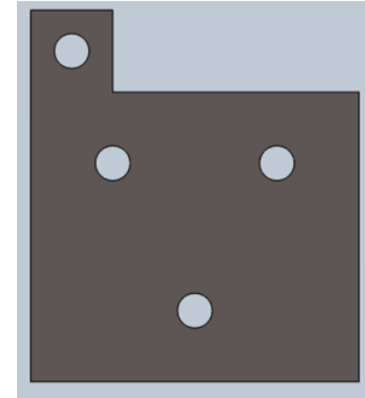
Electrodo Polarizado

- Electroodos positivos y negativos.
- Misma geometría y dimensiones.

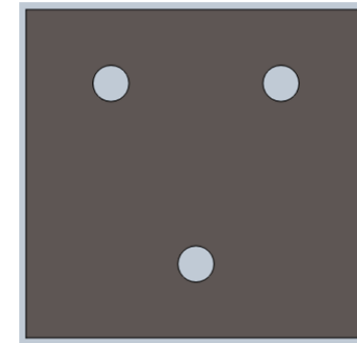
Electrodo Neutro

- Separa las semiceldas.

Tiene orificios por donde entran los elementos de sujeción y el electrolito, de esta forma se ensambla la celda seca electrolítica



Polarizado



Neutro

Nota. Componentes del módulo de celdas secas.

Módulo de celdas secas: Láminas aislantes

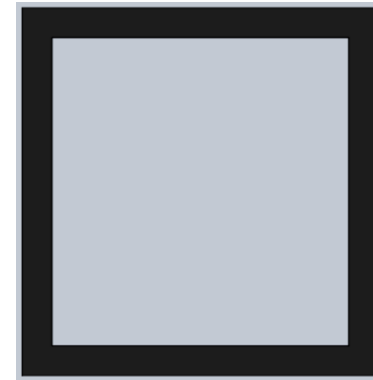
La celda seca ocupa dos tipos de material aislante:

Externos

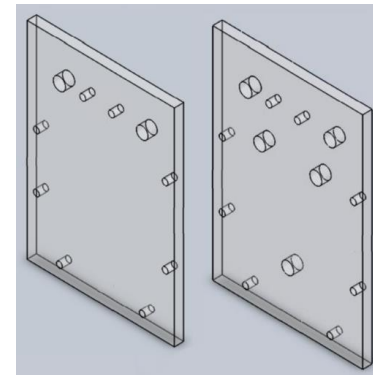
- Sirven como soporte y protegen los electrodos de agentes externos.

Internos

- Entre las semiceldas para que no entren en contacto entre ellas.



Interno

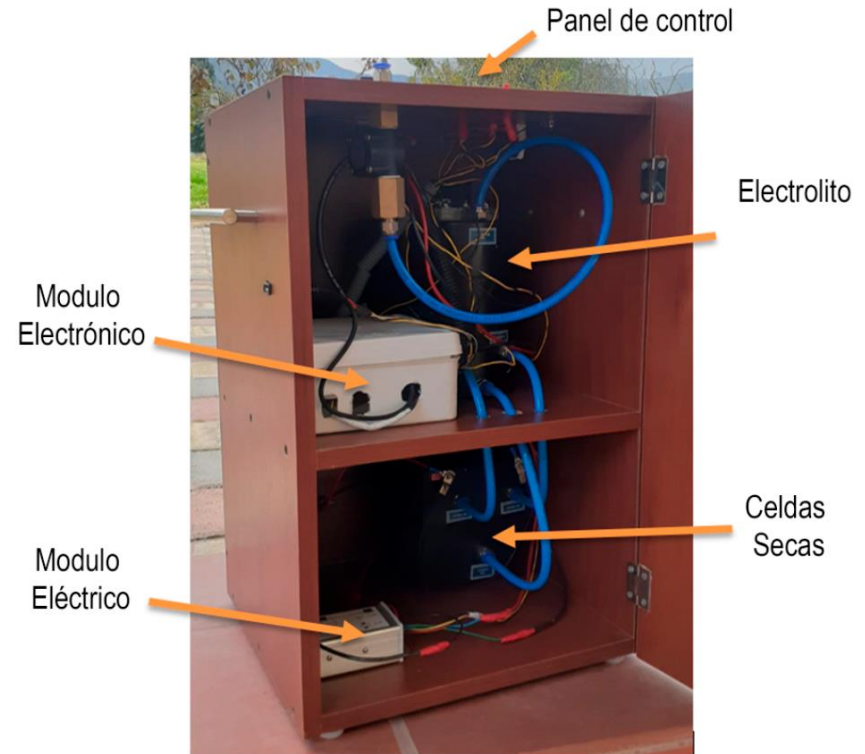
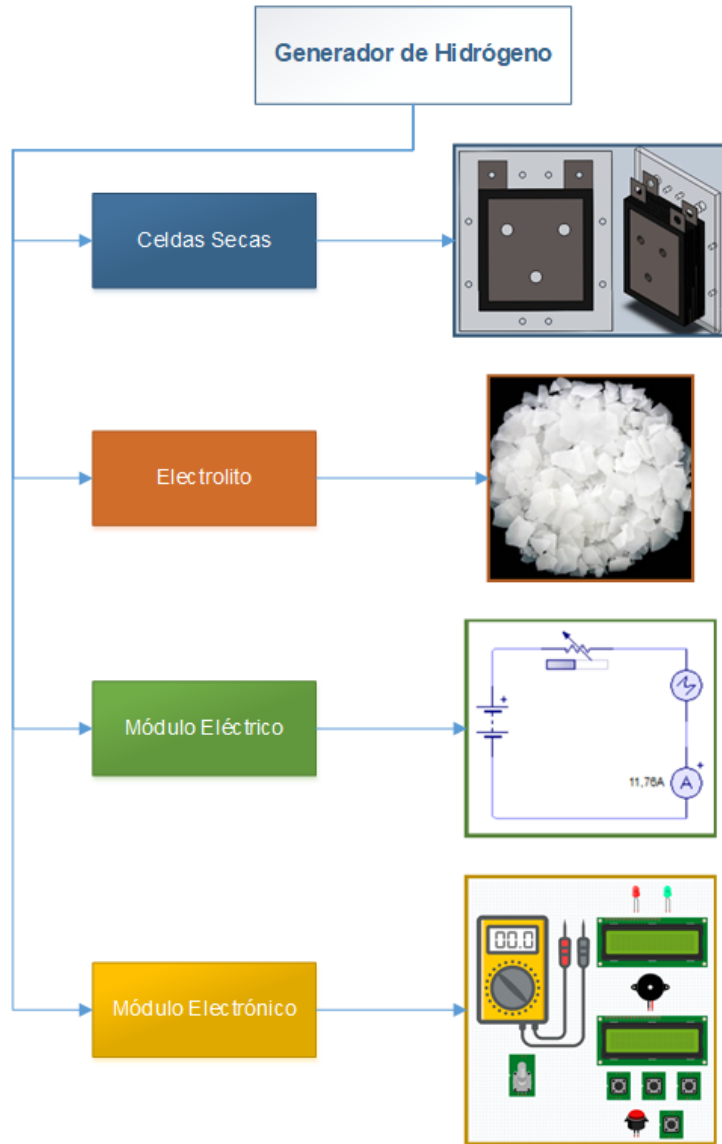


Externo

Nota. Componentes del módulo de celdas secas.

Diseño y Construcción

Diseño y construcción del equipo descarbonizador



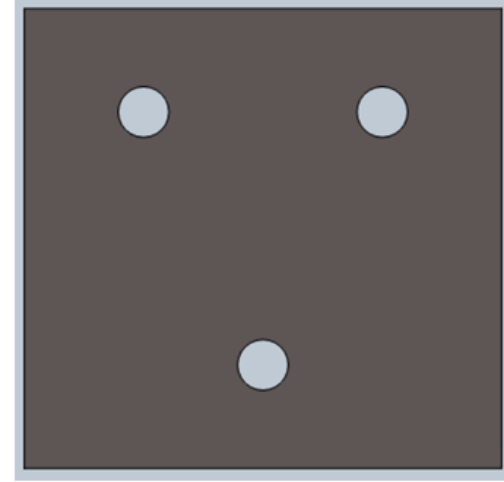
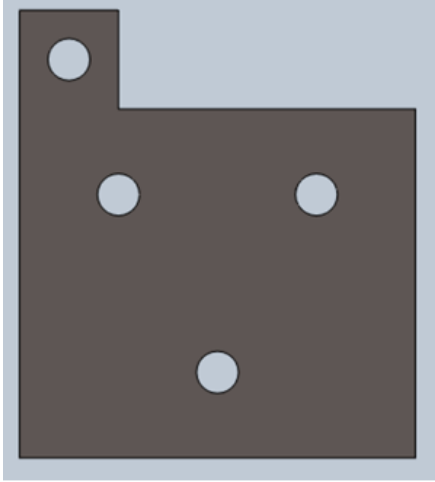
Nota. Equipo descarbonizador, componentes agrupados por módulos.

Módulo de celdas secas: Número de electrodos

Ecuación	Resultado	
Reacción del Electrodo	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	
Carga eléctrica del circuito de celdas secas	$Q = I * t$	$Q = 120[C]$
Masa generada de hidrógeno	$m_H = \frac{M * Q}{z * F}$	$m_H = 2,2927 [g]$
Volumen del hidrogeno diatómico	$V_H = \frac{m_H}{d_H}$	$V_H = 32,2927 [ml \text{ de } H]$
Caudal de hidrógeno diatómico	$Q_H = \frac{V_H}{t}$	$Q_H = 0,322927 [lt/min]$
Número de electrodos requeridos	$n_e = \frac{C_{MCI}}{Q_H}$	$n_e = 20 \text{ electrodos polarizados}$

Nota. Tabla de Ecuaciones para calcular el número de electrodos necesarios.

Módulo de celdas secas: Electrodos



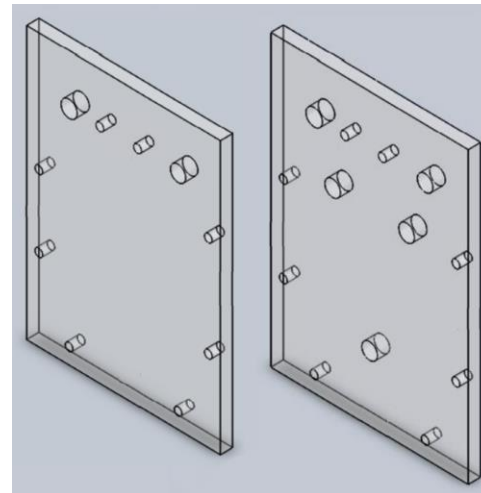
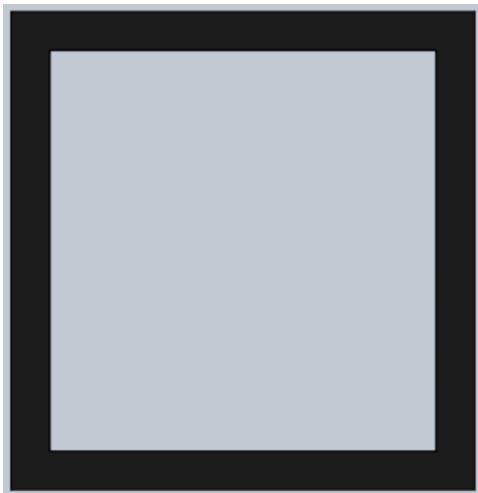
Electrodos Polarizados

Material	Acero AISI 316
Dimensiones	Cuadrado: 200x200mm Agujeros: 10mm
Cantidad	10 pares

Electrodos Neutrales

Material	Acero AISI 316
Dimensiones	Cuadrado: 200x200mm Agujeros: 10mm
Cantidad	10 pares

Módulo de celdas secas: Láminas Aislantes



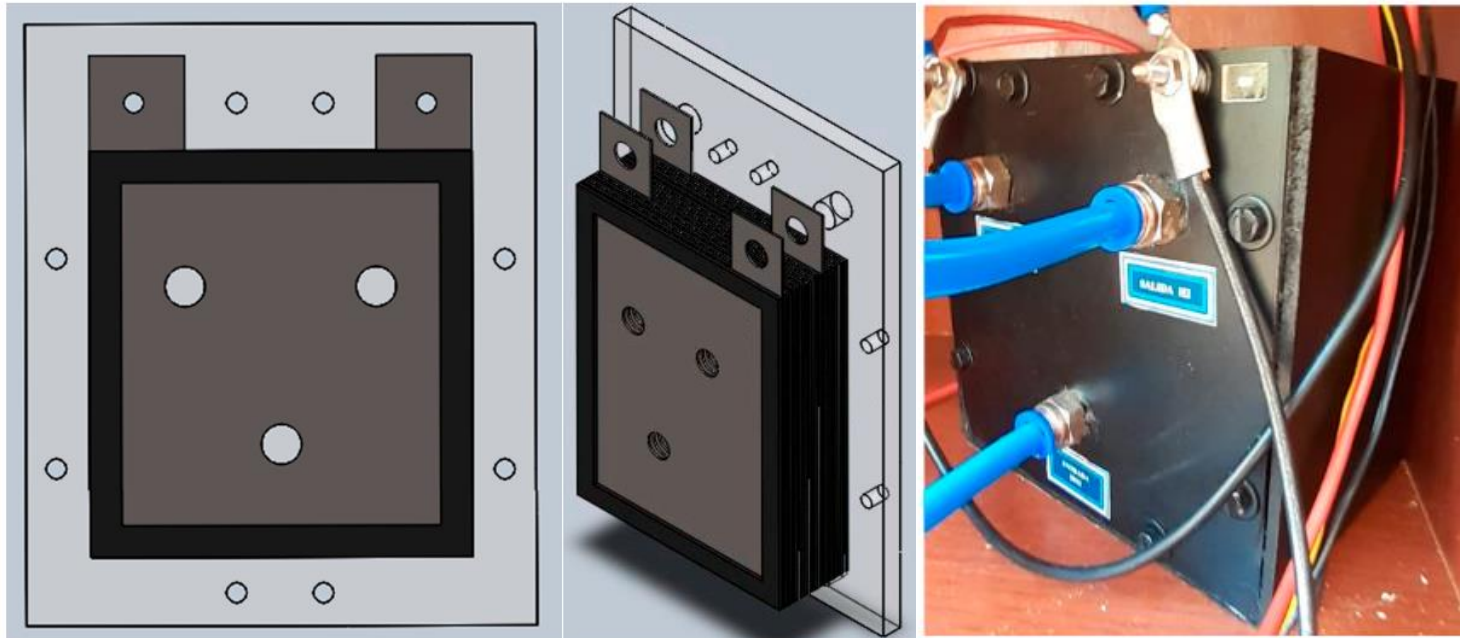
Láminas Aislantes Internas

Material	Acero AISI 316
Dimensiones	Cuadrado: 200x200mm Agujeros: 10mm
Cantidad	10 pares

Láminas Aislantes Externas

Material	Acero AISI 316
Dimensiones	Cuadrado: 200x200mm Agujeros: 10mm
Cantidad	10 pares

Módulo de celdas secas: Ensamblaje



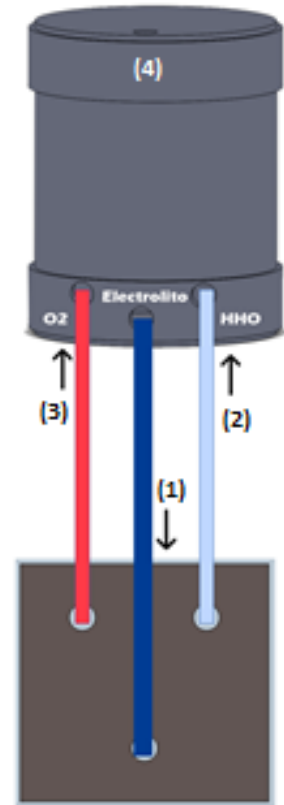
Nota. Electrodo y láminas aislantes ensambladas

Módulo Electrolito

- Componente principal para la electrólisis.
- Requiere un alto nivel de conductividad eléctrica (mS/cm).
- Debe generar la menor cantidad posible de gases secundarios.

4 conexiones

- (1) Entrada del Electrolito a las celdas secas
- (2) Salida de HHO al depósito
- (3) Salida de O₂ al depósito
- (4) Salida de HHO al exterior



Nota. Esquema del módulo electrolito del equipo descarbonizador.

Módulo Electrolito: Conductor y Recipiente



Material Conductor

Material	Hidróxido de Potasio (KOH)
Conductividad eléctrica	75,3 (<i>mS/cm</i>)
Estado	Solido en forma de escamas
Cantidad	25gr en 2L de Agua Destilada
Tiempo de uso	1 año

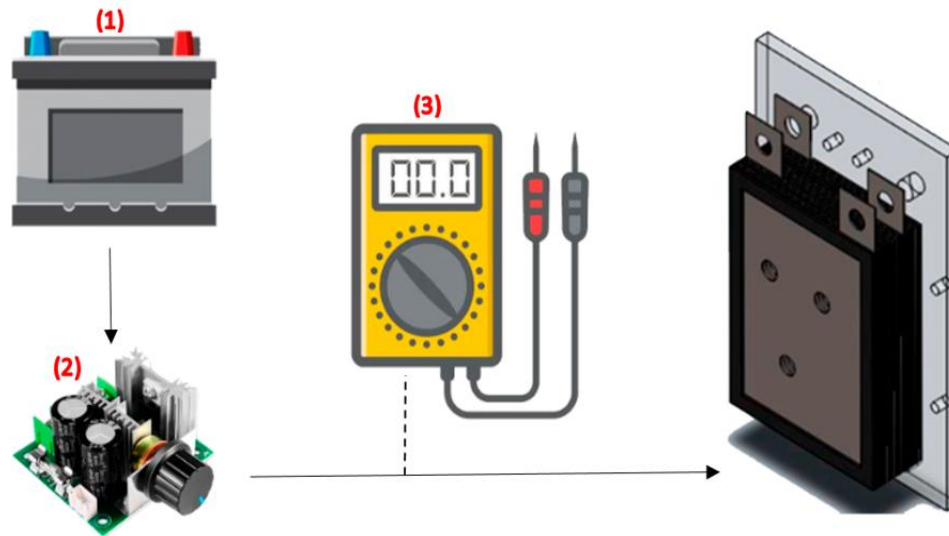
Recipiente

Material	PVC
Dimensiones	D: 10" L: 300mm
Extras	<ul style="list-style-type: none">• Tapón• Sistema de control de nivel de líquido• Conexiones 5/16"

Módulo Eléctrico

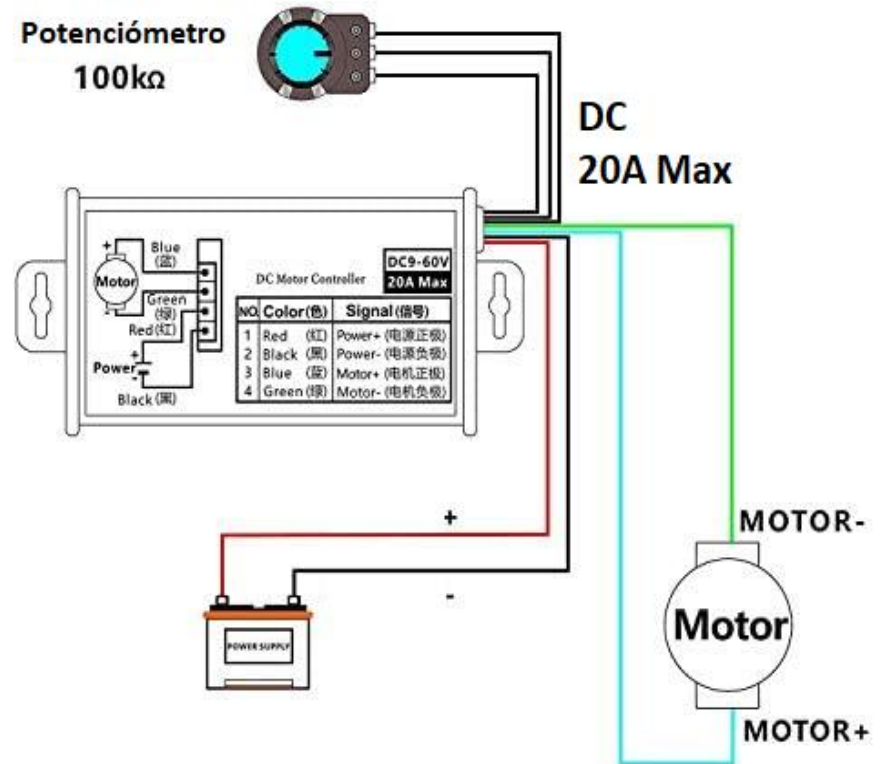
4 conexiones

- (1) Conexión a la batería del vehículo
- (2) Módulo de control PWM
- (3) Panel de control con amperímetro
- (4) Conexión a las celdas secas
- Encargada de alimentar las celdas secas.
- Celdas Secas consumen de 2-11A
- Para regular la cantidad de hidrogeno se necesita un control PWM.



Nota. Esquema del módulo eléctrico del equipo descarbonizador.

Módulo eléctrico: PWM (modulación de pulso ancho de amperaje)

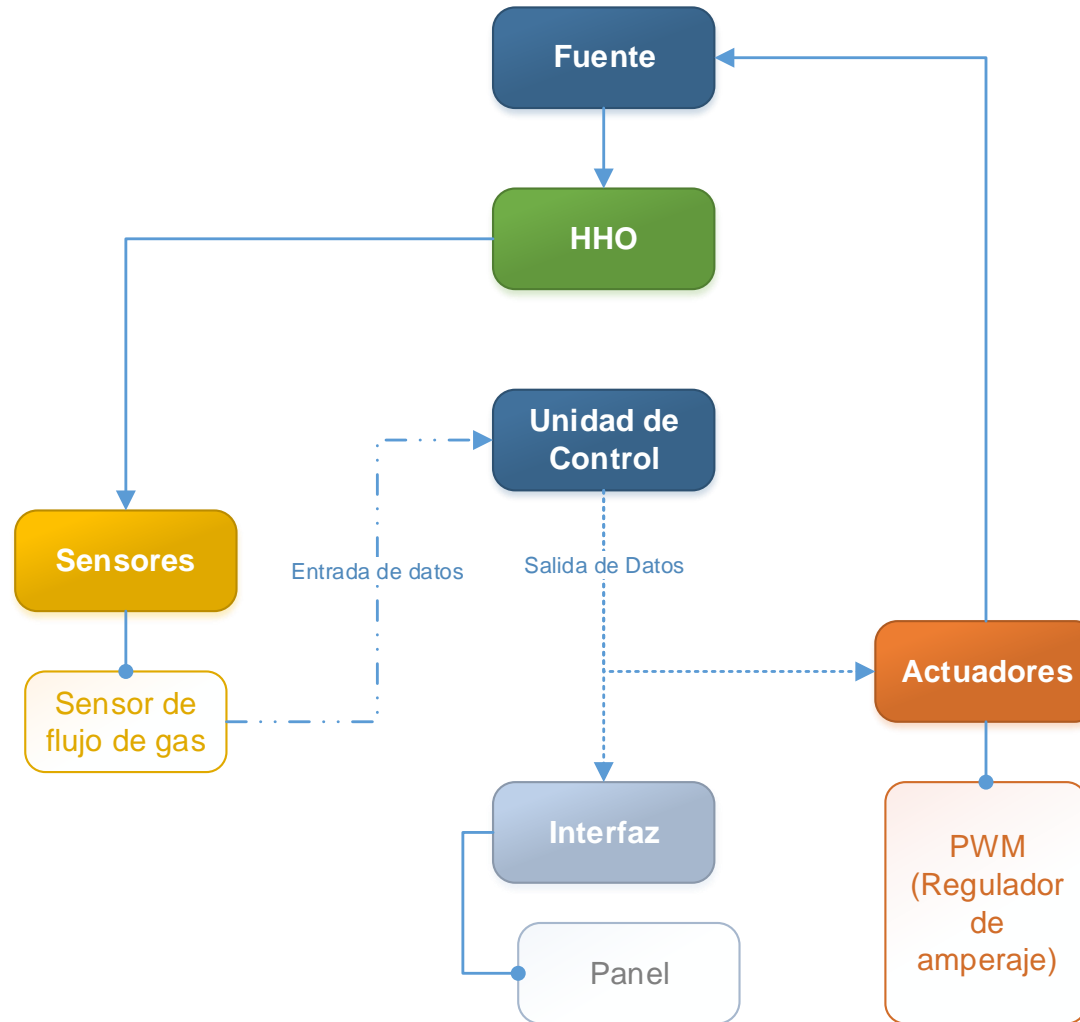


Regulador de Amperaje PWM

Voltaje Min	9V
Voltaje Max	60V
Amperaje Max	20A
Tipo de regulador	Potenciómetro
Extras	<ul style="list-style-type: none"> Bornes Cables lagartos

Nota. Conexión del regulador PWM entre la fuente y el consumidor.

Módulo electrónico: Esquema de funcionamiento



Nota. Comunicación de los componentes electrónicos del equipo descarbonizador.

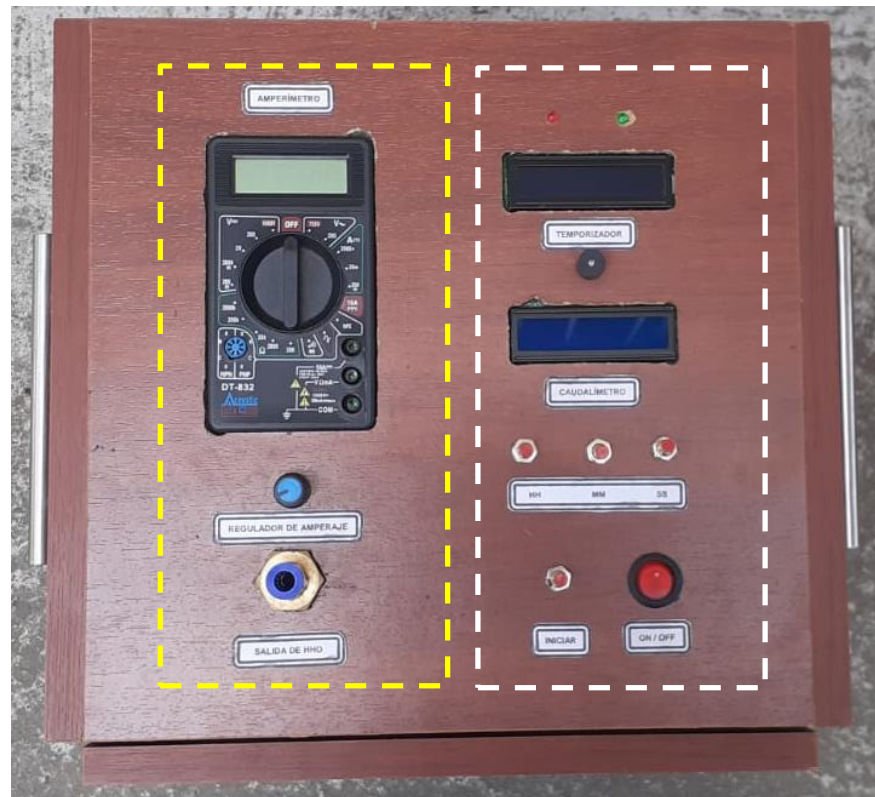
Módulo electrónico: Funcionamiento del panel de control

Control de Flujo de Gas HHO

- Sensor YF-S201
- Multímetro
- Módulo PWM
- Pantalla LED

Temporizador – Relé

- Interruptor
- Led Rojo
- Led Verde
- Buzzer
- Pulsador “Iniciar”
- Pulsador HH
- Pulsador MM
- Pulsador SS



Nota. Funcionamiento del panel de control del equipo descarbonizador.

Protocolo de ejecución

Para la correcta ejecución y funcionamiento del equipo descarbonizador se debe seguir un procedimiento que permite la inspección, verificación y calibración del equipo antes de su conexión al MCI.

1. La disolución de 25gr de hidróxido de potasio en 1lt agua desmineralizada.
2. Verter la solución electrolítica en depósito del equipo generador por la parte superior y hermetizar con el tapón para evitar que se contamine el electrolito.
3. Instalar el depósito del electrolito en el interior del equipo descarbonizador, posteriormente conectar las mangueras de $\frac{1}{4}$ " con el conjunto de celdas secas por medio de acoples de conexión rápida. Existen 3 conexiones: circulación del electrolito, gas HHO , gas O_2 .
4. Comprobar que el interruptor del equipo esté abierto.
5. Girar la perilla de la PWM en su totalidad a la izquierda, esto para cerrar el paso del amperaje hacia las celdas secas.
6. Pulsar el interruptor para encender el circuito del panel de control, inspeccionar que las pantallas LCD estén encendidas y den un mensaje de bienvenida, al mismo tiempo un diodo led rojo deberá estar encendido y el buzzer se encenderá por 0.5seg como mensaje de que el equipo está listo para ser calibrado y para trabajar correctamente.

Protocolo de ejecución

7. El temporizador automáticamente genera el tiempo de trabajo para 2 horas, sin embargo, si el técnico considera modificarlo se puede utilizar los pulsadores de hora, minutos y segundos.
8. Ingresar el vehículo de la bahía de trabajo.
9. Encender el vehículo y mantenerlo en ralentí, comprobar el estado de la batería con el voltímetro, el valor de una batería en óptimas condiciones debe estar alrededor de 13.3-15.0V, si se encuentra dentro del rango, se debe colocar los cables de lagarto del equipo a la batería.
10. Gire la perilla del multímetro en la sección Amperaje DC.
11. Como ya se tiene el valor de flujo de gas *HHO* que el MCI requiere, cuando se dé inicio a la descarbonización, se debe girar hacia la derecha lentamente la perilla de la PWM y fijarse como la pantalla del sensor de flujo comienza a variar, ajustar entonces el valor de flujo de gas *HHO* generado del equipo al valor calculado.
12. Tomar la manguera de salida de *HHO* y colocarlo en un recipiente de agua jabonosa, ajustar el tiempo a 5 minutos y pulsar el botón iniciar para que el equipo descarbonizador depure los gases secundarios, así se asegura que al motor ingrese solamente *HHO*. Posteriormente, ajustar la PWM a 8A, el buzzer sonará cuando el tiempo haya concluido.

Protocolo de ejecución

13. Tomar la manguera de salida de *HHO* y colocarlo en un recipiente de agua jabonosa, ajustar el tiempo a 5 minutos y pulsar el botón iniciar para que el equipo descarbonizador depure los gases secundarios, así se asegura que al motor ingrese solamente *HHO*. Posteriormente, ajustar la PWM a 8A, el buzzer sonará cuando el tiempo haya concluido.
14. Identificar el sistema de admisión de aire del vehículo, conectar la manguera de salida de gas *HHO* que genera el equipo descarbonizador a la entrada de aire del motor y verificar que este no se suelte.
15. Ajustar nuevamente el tiempo a 2 horas y presionar el botón, ir ajustando el flujo de gas *HHO* como se indica en el paso 11, el buzzer sonará por 0.5seg cuando se dé inicio la descarbonización y cuando tiempo de trabajo haya concluido.
16. Supervisar el desarrollo del proceso de descarbonización cada 15 minutos, específicamente verificar la temperatura del motor en el tablero del vehículo.
17. Una vez concluido el tiempo de trabajo del equipo descarbonizador, apagar el equipo por medio del interruptor, de esta forma se abre el circuito controlado por un relé y finalmente desconectar con seguridad los cables lagartos de la batería.
18. Retirar la manguera de gas *HHO* que está conectada al sistema de admisión del vehículo.

Protocolo de ejecución

19. Dejar encendido el vehículo por 5 minutos en ralentí, como parte final del proceso de descarbonización, acelerar motor hasta llegar a 3500 RPM de 4 a 6 veces para que los residuos de carbón que se quedaron en el escape del motor sean expulsados.
20. Retirar el vehículo de la bahía de trabajo.
21. Guarde el equipo de descarbonización en un área sin humedad y a temperatura ambiente.

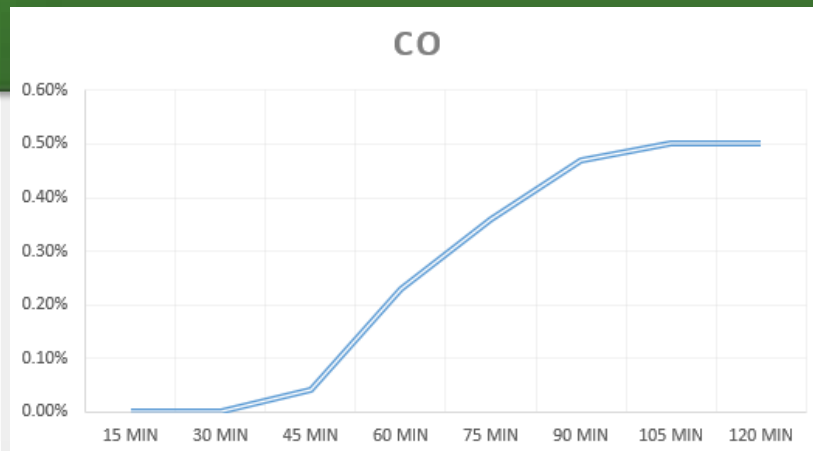


Caudal volumétrico de HHO recomendado en base al cilindraje del motor

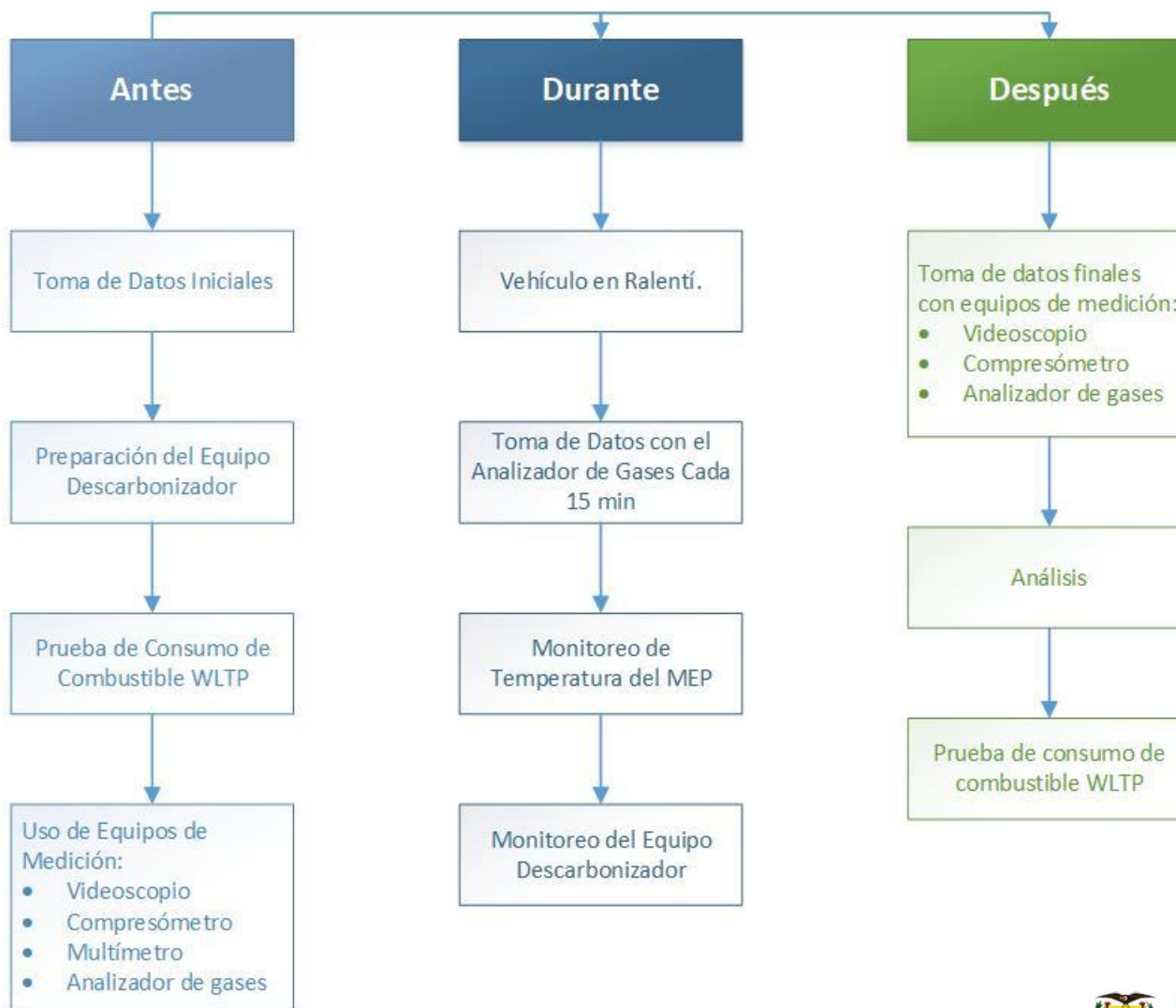
Cilindraje del motor	Oxihidrógeno HHO
<i>lt</i>	<i>lt/min</i>
1	0,5
1,6	0,8
1,8	0,9
2	1,0
2,3	1,15
2,5	1,25
2,8	1,4
3	1,5

Nota. Relación caudal del HHO – cc del MCI. Tomado de (Betterfuel, 2022).

Descarbonización de los MEP



Protocolos para la ejecución de la descarbonización con HHO en un MEP



Motores MEP sometidos al proceso de descarbonización

- SUV GreatWall Haval H5 2.0 L
- Camioneta Chevrolet LUV 2.3 L



Antes de la Descarbonización

Equipos y herramientas

- Videoscopio



- Compresómetro



- Multímetro



- Analizador de gases



Prueba del videoscopio

Great Wall H5 2015 2.0L



Nota. Las imágenes muestran el estado de la cámara de combustión antes del proceso de limpieza, se puede observar que existe considerable cantidad de contaminación.

Prueba del videoscopio

Chevrolet LUV 1994 2.3L



Nota. Las imágenes muestran el estado de la cámara de combustión antes del proceso de limpieza, se puede observar que existe una acumulación de carbonilla.

Prueba de compresión

Valores de la presión de compresión del Great Wall H5 2.0L

PRESIÓN DE COMPRESIÓN EN EL VEHÍCULO HAVAL H5 2.0L

N° CILINDRO	VALOR (PSI) ÁNTES
1	130
2	120
3	125
4	120

Nota. En la tabla se muestran los valores de presión de compresión antes del proceso de descarbonización.

Prueba de compresión

Valores de la presión de compresión del Chevrolet LUV 2.3 L

PRESIÓN DE COMPRESIÓN EN EL VEHÍCULO CHEVROLET LUV 2.3L	
N° CILINDRO	VALOR (PSI) ÁNTES
1	110
2	120
3	120
4	120

Nota. En la tabla se muestran los valores de presión de compresión antes del proceso de descarbonización.

Análisis de gases automotrices

Resultados de la pruebas de emisiones de gases antes del proceso de descarbonización

EMISIONES DE ESCAPE EN EL VEHÍCULO GREAT WALL H5 2.0L

GAS	VALOR ÁNTES
CO	0.01%
HC	16 ppm
CO2	13.80%
O2	0.42%
LAMBDA	1.019
AFR	14.9

Nota. Se muestran los valores de las presiones de compresión tomadas antes del proceso de descarbonización en el Great Wall H5.

Análisis de gases automotrices

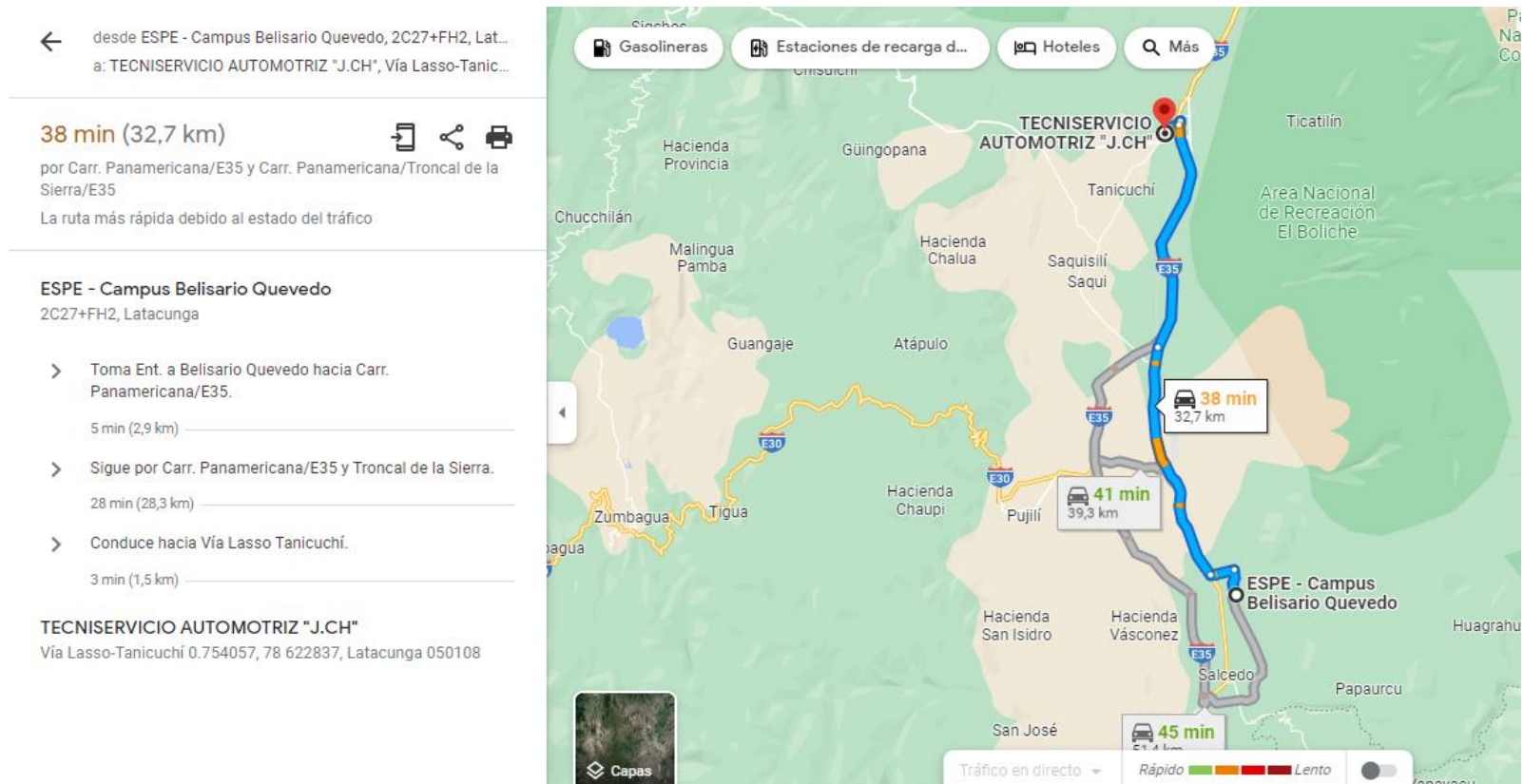
Resultados de la pruebas de emisiones de gases antes del proceso de descarbonización

EMISIONES DE ESCAPE EN EL VEHÍCULO CHEVROLET LUV 2.3L

GAS	VALOR ÁNTES
CO	1.68%
HC	368
CO2	11.10%
O2	3.26%
LAMBDA	1.097
AFR	16.1

Nota. Se muestran los valores de las presiones de compresión tomadas antes del proceso de descarbonización en el vehículo Chevrolet LUV 2.3L.

Consumo de combustible (WLTP)



Nota. Detalle del trayecto recorrido en ambos vehículos de prueba.

Tomada de (Google Maps, 2022).

Consumo de combustible (WLTP)

Resultados de la pruebas de consumo de combustible antes del proceso de descarbonización

PRUEBAS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE					
Vehículo	Prueba	Distancia (Km)	Velocidad media (Km/h)	Tiempo (min)	Cantidad consumida (Km/l)
Great Wall H5	Antes	32.7	45.7	42	11.5
Chevrolet LUV	Antes	32.7	45.2	42	9.4

Nota. En la tabla se presenta los resultados en las pruebas de consumo de combustible en los dos vehículos antes del proceso de descarbonización.

Durante de la Descarbonización

Resultados de la descarbonización: Haval H5 2.0 L

Datos obtenidos en la prueba de gases de escape en el vehículo Haval H5 2015

GAS	EMISIONES DE ESCAPE EN EL VEHICULO HAVAL H5 2015 DURANTE EL PROCESO							
	VALOR							
	15 MIN	30 MIN	45 MIN	60 MIN	75 MIN	90 MIN	105 MIN	120 MIN
CO	0.00%	0.00%	0.04%	0.23%	0.36%	0.47%	0.50%	0.50%
HC (ppm)	55	98.00	127	133	136	138	151	133
CO ₂	13.60%	13.60%	13.20%	13.20%	13.20%	13%	12.80%	12.80%
O ₂	0.58%	0.60%	0.70%	0.99%	0.93%	1.08%	1.09%	1.19%
LAMBDA	1.026	1.025	1.028	1.04	1.03	1.033	1.03	1.04
AFR	15.0	15.0	15.1	15.2	15.1	15.1	15.1	15.2

Nota. La tabla muestra las emisiones de escape del Haval H5 2.0L durante el proceso de descarbonización en un tiempo de 2 horas, con intervalos de 15 minutos para una evaluación de su comportamiento.

Resultados de la descarbonización: LUV 2.3 L

Datos obtenidos en la prueba de gases de escape en la camioneta Chevrolet LUV.

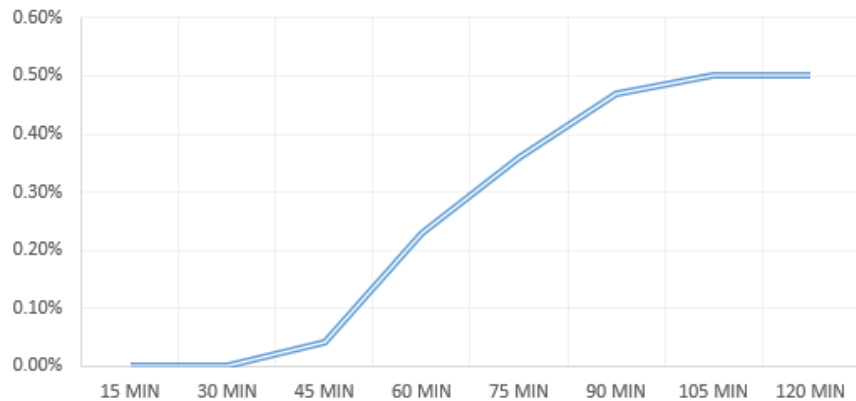
EMISIONES DE ESCAPE EN EL VEHICULO CHEVROLET LUV 1994 DURANTE EL PROCESO

GAS	VALOR							
	15 MIN	30 MIN	45 MIN	60 MIN	75 MIN	90 MIN	105 MIN	120 MIN
CO	1.11%	1.54%	0.75%	0.72%	2.02%	2.36%	1.89%	1.85%
HC (ppm)	481	530	478	446	506	482	488	485
CO2	12.10%	11.80%	12.20%	12.00%	11.50%	11.30%	11.50%	10.90%
O2	1.76%	1.75%	1.97%	2.12%	1.70%	1.65%	1.75%	2.54%
LAMBDA	1.031	1.014	1.055	1.066	0.997	0.984	1.004	1.048
AFR	15.1	14.9	15.5	15.6	14.6	14.4	14.7	14.7

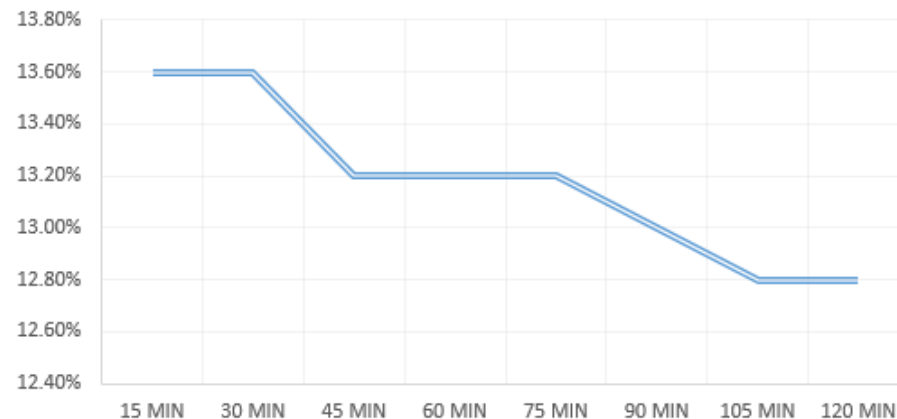
Nota. La tabla muestra las emisiones de la Chevrolet LUV 2.3 L durante el proceso de descarbonización en un tiempo de 2 horas, con intervalos de 15 minutos para una evaluación de su comportamiento.

Resultados de la descarbonización: Haval H5 2.0 L

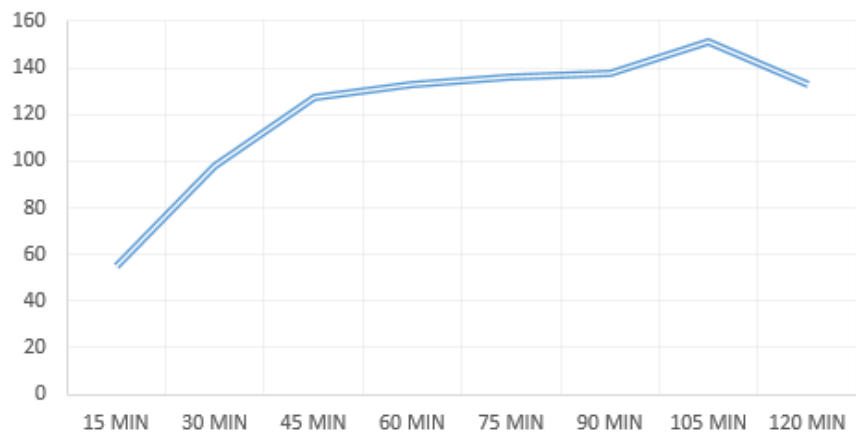
CO



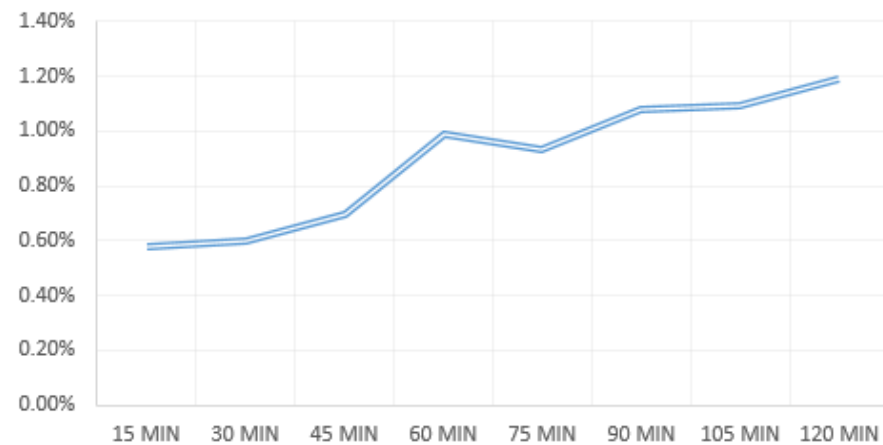
CO2



HC

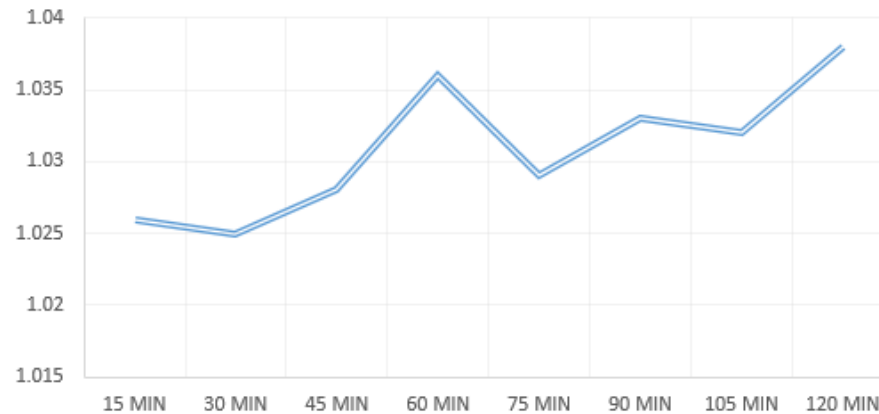


O2

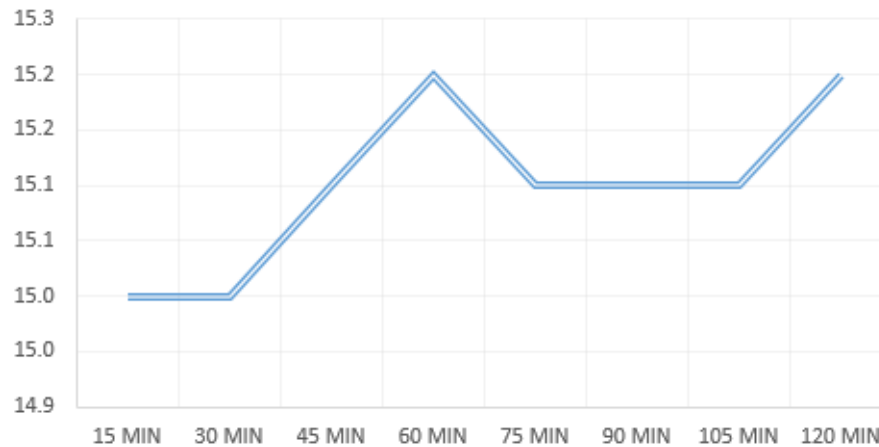


Resultados de la Descarbonización: Haval H5 2.0 L

LAMBDA

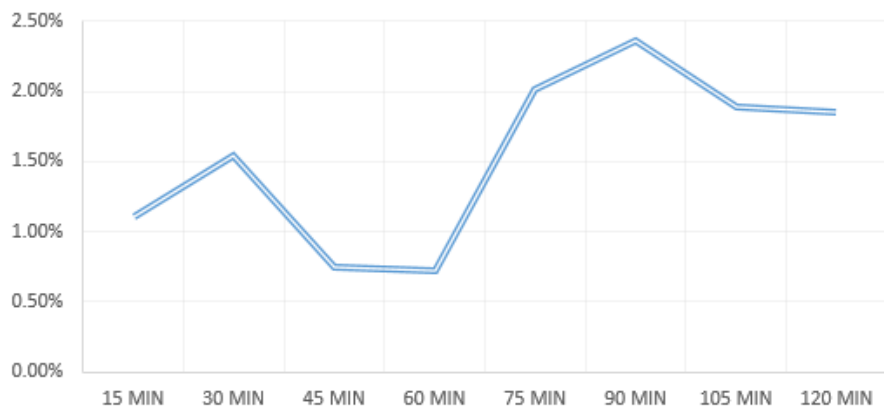


AFR

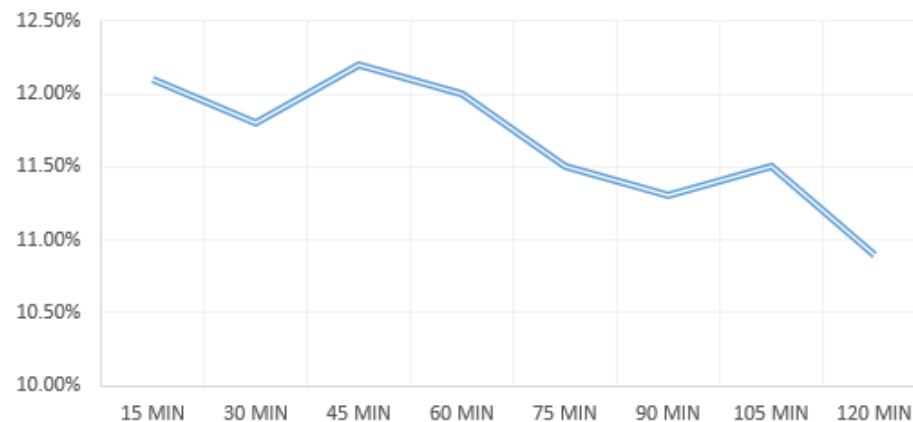


Resultados de la Descarbonización: LUV 2.3 L

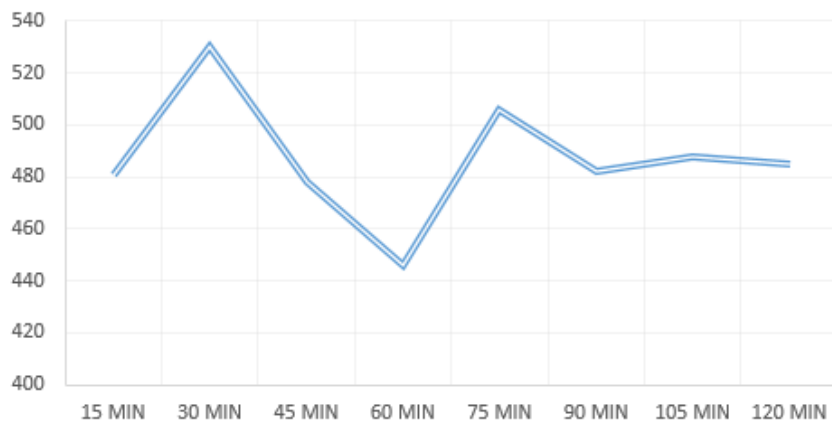
CO



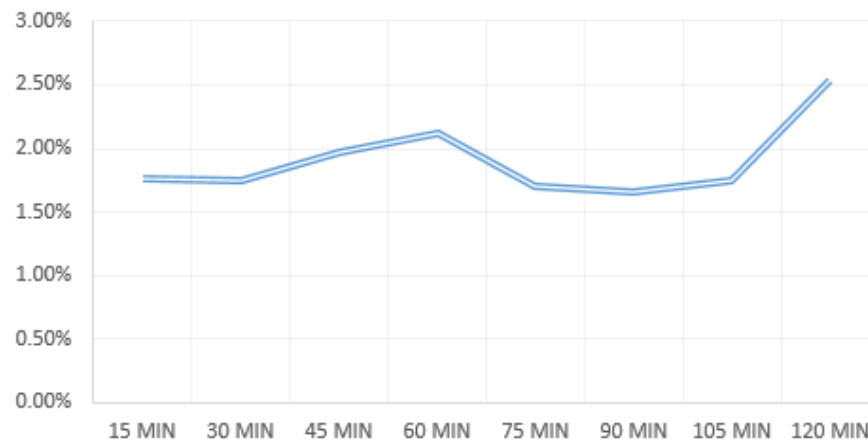
CO2



HC

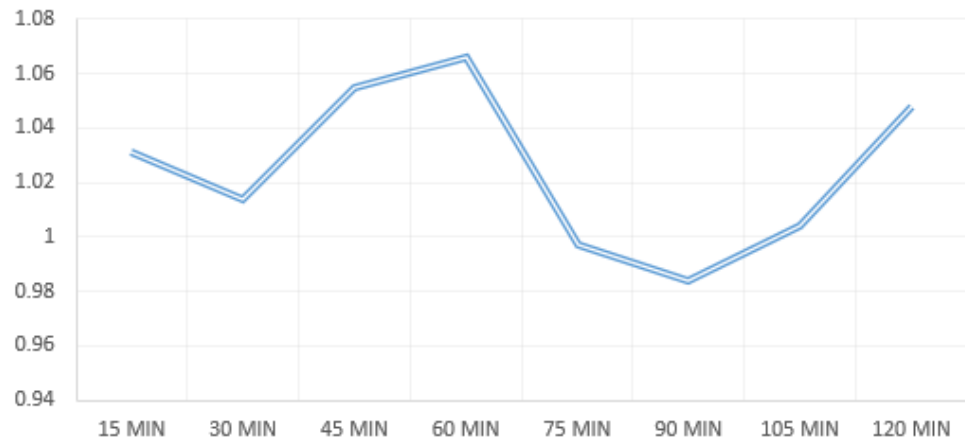


O2

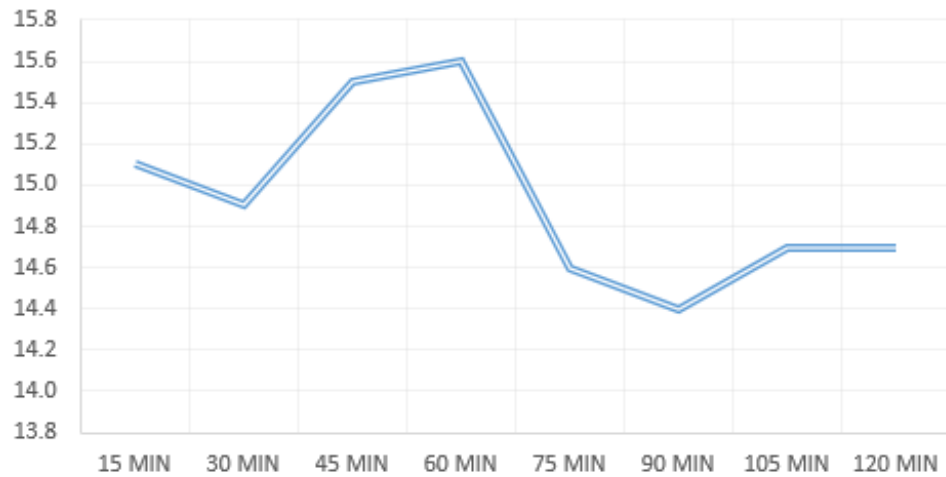


Resultados de la Descarbonización: LUV 2.3 L

LAMBDA



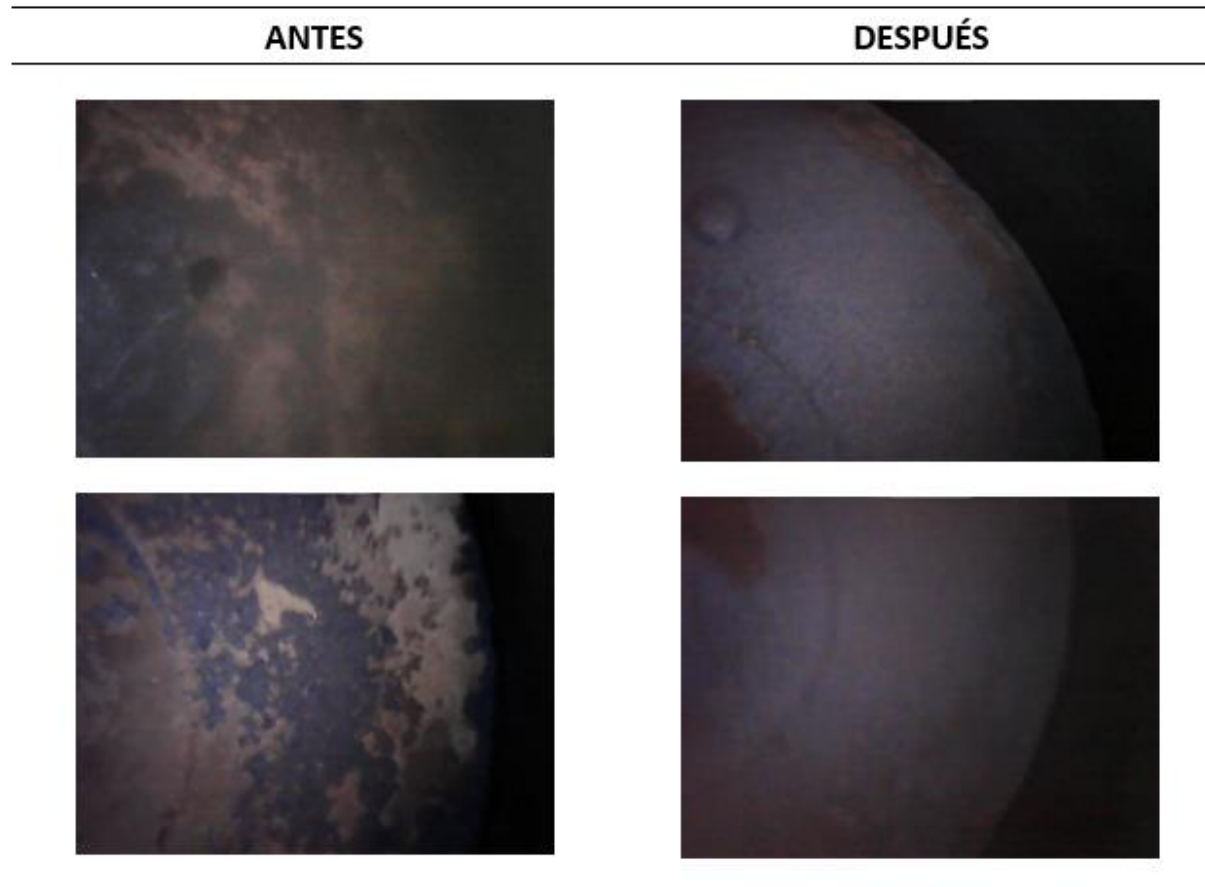
AFR



Después de la Descarbonización

Prueba del Videoscopio

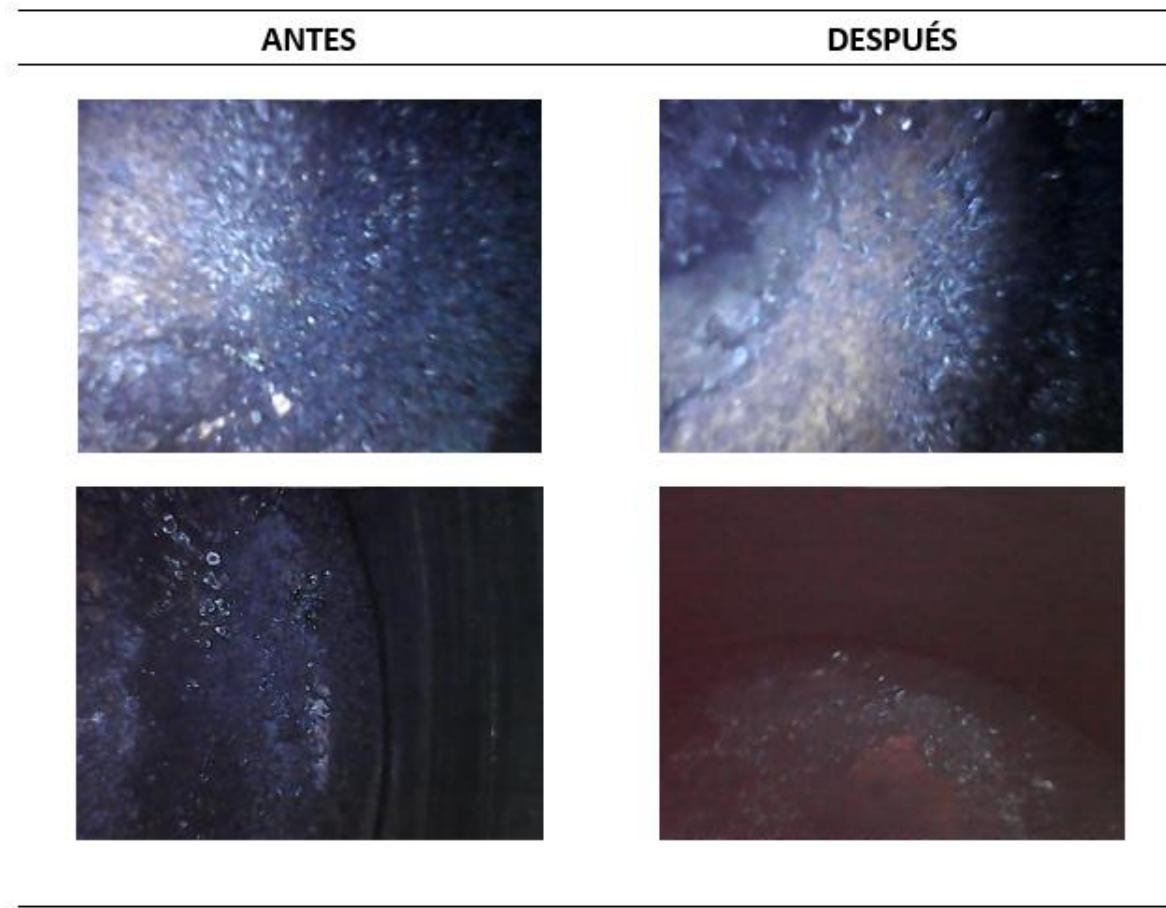
Great Wall H5 2015 2.0L



Nota. Las imágenes muestran el estado de la cámara de combustión antes y después del proceso de descarbonización.

Prueba del Videoscopio

Chevrolet LUV 1994 2.3L



Nota. Las imágenes muestran el estado de la cámara de combustión antes y después del proceso de descarbonización.

Prueba de Compresión

Valores de la presión de compresión del Great Wall H5 2.0L

N° CILINDRO	PRESIÓN DE COMPRESIÓN EN EL VEHÍCULO GREAT WALL H5 2015 VALOR (PSI)		% DE VARIACIÓN
	ÁNTES	DESPUÉS	
1	130	130	0%
2	120	130	8.33%
3	125	130	4%
4	120	125	4.17%

Nota. En la tabla se muestran los valores de presión de compresión antes y después del proceso de descarbonización, así como el porcentaje de variación de los valores.

Prueba de Compresión

Valores de la presión de compresión del Chevrolet LUV 2.3L

N° CILINDRO	VALOR (PSI)		% DE VARIACIÓN
	ÁNTES	DESPUÉS	
1	110	110	0%
2	120	120	0%
3	120	120	0%
4	120	120	0%

Nota. En la tabla se muestran los valores de presión de compresión antes y después del proceso de descarbonización, así como el porcentaje de variación de los valores.

Resultados de la Descarbonización: Great Wall H5 2.0 L

Comparativa de emisiones de escape antes y después del proceso de descarbonización en el Great Wall H5 2.0L

GAS	VALOR		VARIACIÓN
	ÁNTES	DESPUÉS	
CO	0.01%	0.07%	+0.06%
HC	16 ppm	2 ppm	-14ppm
CO2	13.80%	13.60%	-0.20%
O2	0.42%	0.58%	+0.16%
LAMBDA	1.019	1.026	-
AFR	14.9	15.0	-

Nota. Se muestra los valores tomados antes y después del proceso de descarbonización con la variación que presentan cada uno de los gases de escape.

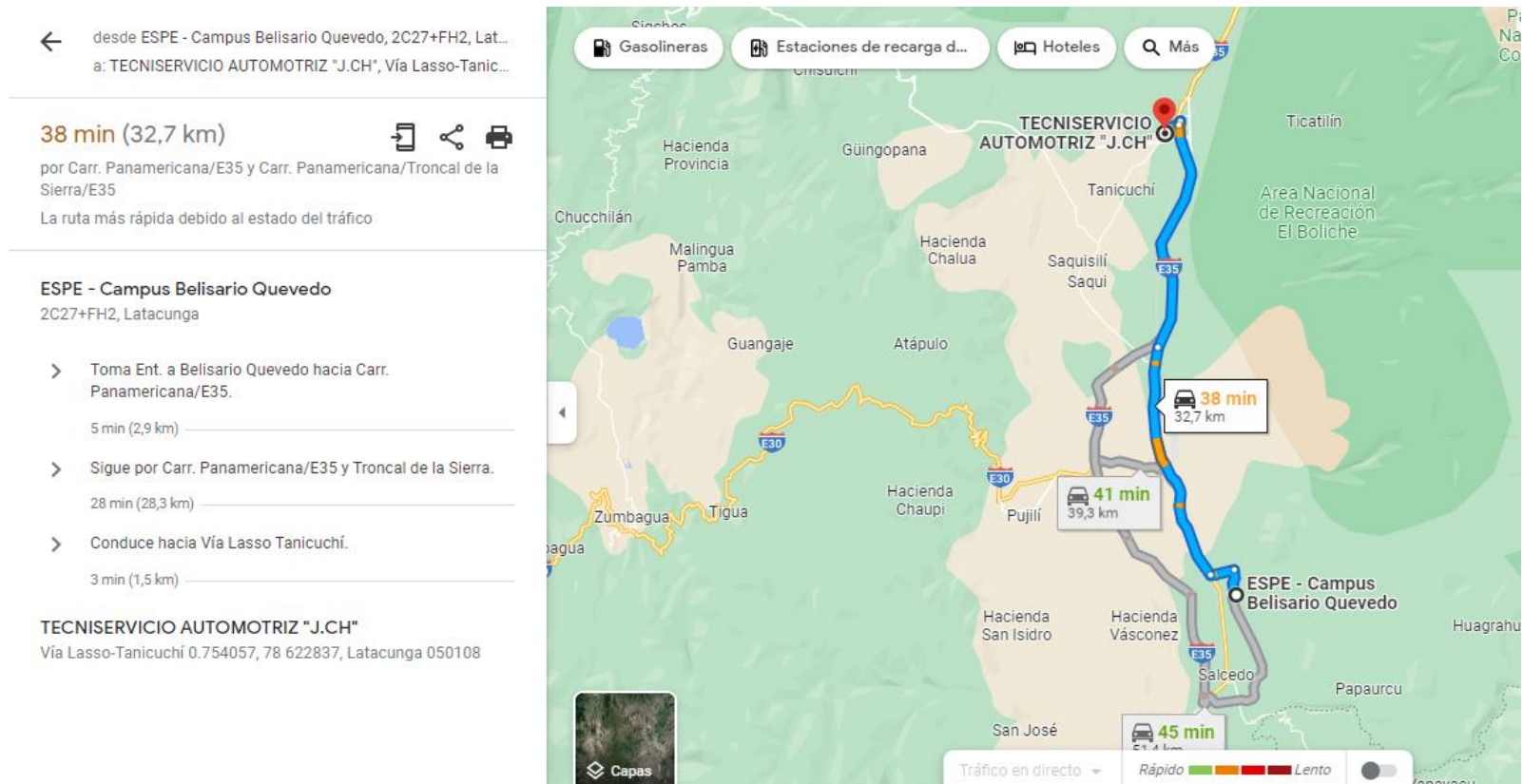
Resultados de la Descarbonización: LUV 2.3 L

Comparativa de emisiones de escape antes y después del proceso de descarbonización en el Chevrolet LUV.

GAS	VALOR		VARIACIÓN
	ÁNTES	DESPUÉS	
CO	1.68%	2.37%	+0.69%
HC	368ppm	539ppm	+171ppm
CO2	11.10%	10.10%	-1%
O2	3.26%	2.77%	-0.49%
LAMBDA	1.097	1.04	-
AFR	16.1	15.2	-

Nota. Los datos presentados en la tabla, son los valores tomados antes y después del proceso de descarbonización en la camioneta Chevrolet LUV con la variación de cada uno de los gases de escape.

Consumo de Combustible (WLTP)



Nota. Detalle del trayecto recorrido en ambos vehículos de prueba.

Tomada de (Google Maps, 2022).

Consumo de Combustible (WLTP)

Resultados de la pruebas de consumo de combustible después del proceso de descarbonización

PRUEBAS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Vehículo	Prueba	Distancia (Km)	Velocidad media (Km/h)	Tiempo (min)	Cantidad consumida (Km/l)	% Variación
Great Wall	Antes	32.7	45.7	42	11.5	2.60%
Haval H5	Después	32.7	46.2	40	11.8	
Chevrolet LUV	Antes	32.7	45.2	42	9.4	-8.51%
	Después	32.7	45.9	41	8.6	

Nota. En la tabla se presenta los resultados en las pruebas de consumo de combustible en los dos vehículos antes y después del proceso de descarbonización.

Conclusiones y Recomendaciones



Conclusiones

- Se diseñó y construyó el equipo generador de *HHO* de celdas secas con 10 pares de electrodos, para descarbonizar motores de combustión interna a gasolina de hasta 3.0L de cilindrada, con un sistema automatizado relé-temporizador, sistema aviso lumínicos y sonoros y un panel de control de flujo de gas.
- Se ejecutó los protocolos de descarbonización en un motor a gasolina con una duración de 2 horas, con una relación de flujo de *HHO* de 0.5 lt/min por cada 1.000 cc de cilindrada.
- Se evaluó y comparó datos tomados en el MCI a gasolina con equipos y herramientas especializadas como lo son el videoscopio, compresómetro, analizador de gases y multímetro automotriz previa y posteriormente al proceso de descarbonización.
- El proceso de descarbonización del motor generó valores en los parámetros de emisiones de gases diferentes a los valores tomados previamente a su ejecución.

Conclusiones

- Los resultados finales de los dos vehículos no fueron iguales, esto a causa de la diferencia en acumulación de carbonilla en su interior, cilindrada, kilometraje, modelo del motor y la eficiencia de los sistemas de alimentación de combustible.
- El proceso de descarbonización mediante el *HHO* es un procedimiento no invasivo que permite la limpieza de la cámara de combustión disminuyendo costos y tiempos de trabajo con relación a procesos invasivos de limpieza de motores.
- En el vehículo Great Wall H5 se evidenció que existe una disminución en las emisiones de HC de 16 ppm a 2 ppm y en el caso del CO₂ de 13.80% a un valor de 13.60%, y se da un aumento en el CO y O₂ alcanzando valores de 0.07% y 0.58% respectivamente, llegando a valores que no exceden los requerimientos de la normativa NTE INEN 2204.

Conclusiones

- Se pudo determinar que en el vehículo Chevrolet LUV las emisiones de escape de los gases de CO_2 y O_2 presentaron una disminución del 11.10% al 10.10% y del 3.26% al 2.77% respectivamente, en el caso de los HC las emisiones presentaron un aumento de 368 ppm a 539 ppm y al igual que el CO que varió de 1.68% a 2.37%.
- La presión de compresión en el motor del vehículo Great Wall H5, incrementó de 120 PSI a 130 PSI dando como resultado un incremento del 8,33% siendo este el valor con más variación de los 4 cilindros analizados y en el vehículo Chevrolet LUV no presentó cambios en la compresión, manteniéndose los valores iniciales de 110-120 PSI respectivamente en cada cilindro del motor.
- Mediante la fundamentación teórica se pudo conocer aspectos importantes sobre la generación *HHO* por electrólisis con el hidróxido de potasio como electrolito y el agua desmineralizada.

Conclusiones

- Se obtuvo una reducción en el consumo de combustible en una ruta de 32,7km a una velocidad media de 45,7 km/h del 2,60% en el vehículo Great Wall H5 2015, y un aumento de consumo del 8,51% en la Chevrolet LUV 1994, estos valores fueron obtenidos aplicando el protocolo WLTP para pruebas de consumo de combustible.

Recomendaciones

- Utilizar el equipo descarbonizador de *HHO* para MCI a gasolina con un límite máximo de 3.0L de cilindrada, debido a la cantidad máxima de producción de HHO del equipo de hasta 1.5 lt/min aproximadamente.
- Revisar el nivel del electrolito en el depósito, teniendo como referencia los indicadores de nivel del recipiente.
- Es recomendable para las pruebas y análisis de los parámetros característicos del motor, basarse en la ficha técnica, normas y protocolos vigentes, como es el protocolo WLTP para las pruebas de consumo y la norma NTE INEN 2204 para análisis de gases contaminantes..

Recomendaciones

- Considerar el estado de los filtros y accesorios del analizador de gases, además de su limpieza para obtener los datos requeridos de una manera precisa.
- Al realizar el encendido del analizador de emisiones de gases, se debe mantener el equipo a una distancia de 4 metros del tubo de escape para no alterar la próxima lectura.
- Previo a las pruebas de emisiones de gases, es importante el estudio de protocolos y normas que establecen los valores límites en el país.