

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA: “INVESTIGACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL MÉTODO DE LIMPIEZA NO
INVASIVO POR DESCOMPOSICIÓN DE AGUA POR ELECTROLISIS EN
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA”**

**AUTOR:
CHILUISA TIRADO, MARCO SANTIAGO**

**DIRECTOR:
ING. QUIROZ ERAZO, LEONIDAS ANTONIO**

**LATACUNGA
AGOSTO, 2022**



“Los que renuncian son más numerosos que los que fracasan”

Henry Ford



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONTENIDO

- Resumen
- Antecedentes investigativos
- Planteamiento del problema
- Justificación
- Objetivo general
- Objetivos específicos
- Hipótesis
- Normativas empleadas
- Prototipo equipo de descarbonización
- Proceso de utilización del equipo de descarbonización
- Equipos empleados en la investigación
- Pruebas realizadas y análisis de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



RESUMEN



ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Sedimentación o carbonilla

- Generada por la combustión y en mínima cantidad por el aceite.

Depósitos de carbonilla

- Afectación en los motores a gasolina y diésel especialmente.
- Además de ser malos conductores de calor

El azufre en los combustibles

- Causante de la obstrucción de los sistemas de control de emisiones

2015

- Las emisiones que se produjo de CO₂ sumaron 5,7 millones de toneladas en la ciudad de Quito.



Tecnologías de oxihidrógeno

- Planteadas para ofrecer un mejor rendimiento de los motores.

Descarbonización de un motor

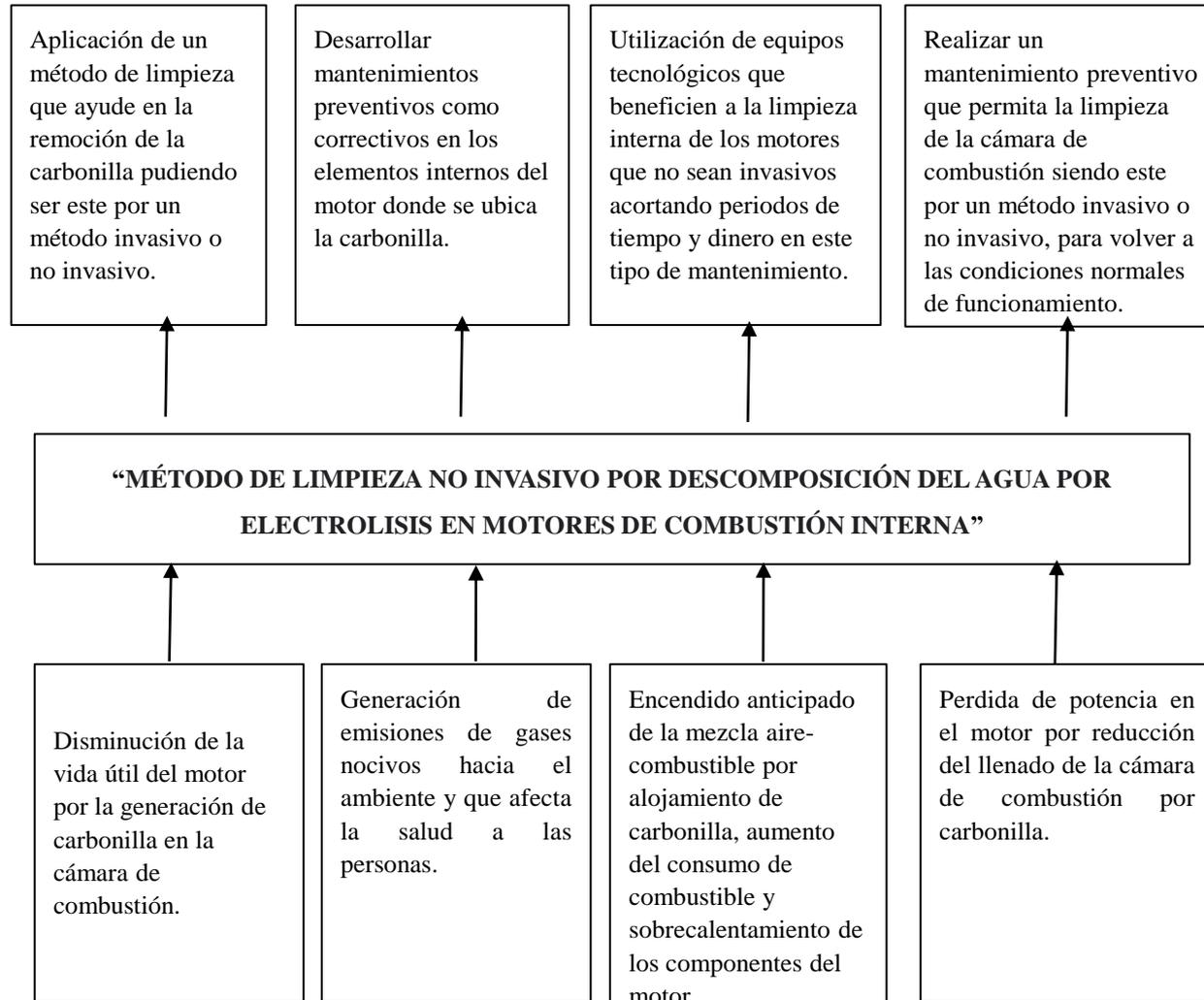
- Es la eliminación de impurezas y las acumulaciones de carbonilla.
- Tipos: químicos, descarbonizadores, desmontaje del colector y por catálisis en el catalizador

Combustible

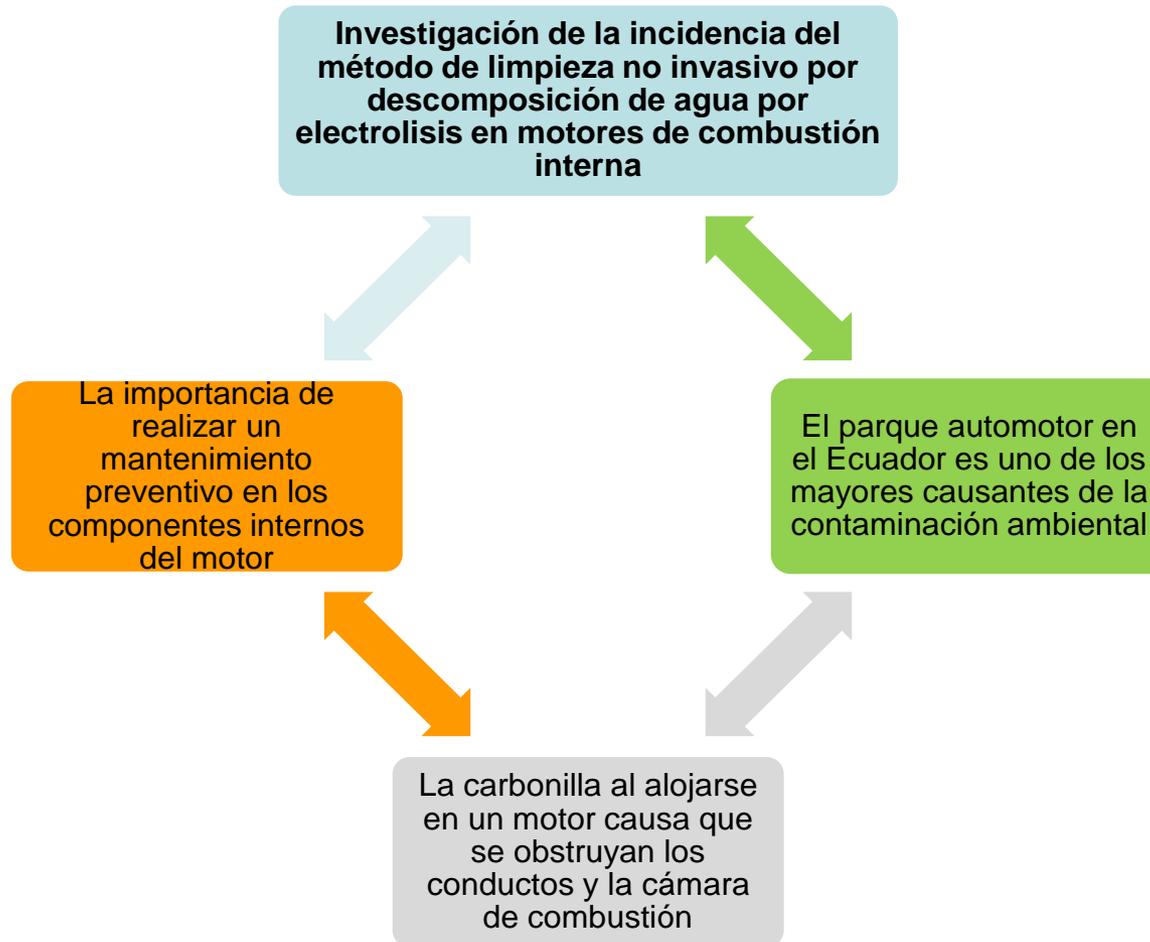
- En el país las gasolinas de 85 octanos (extra y ecopaís), 92 octanos (súper) y diésel premium tiene 200 ppm.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



JUSTIFICACIÓN



OBJETIVO GENERAL

- Investigar la incidencia del método de limpieza no invasivo por descomposición del agua por electrólisis en motores de combustión interna por compresión.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fundamentar teóricamente la tecnología de la limpieza no invasiva en los motores de combustión interna.
- Estudiar los métodos de descarbonización de los motores de combustión interna de ciclo diésel y Otto, a través de un proceso de limpieza interior del motor sin el desmontaje de sus componentes mecánicos y eléctricos
- Determinar las causa primarias y secundarias en la formación de residuos y depósitos internos de la formación de carbonilla que acumula un motor de combustión interna durante su trabajo.
- Desarrollar y aplicar un método de descarbonización de un motor de combustión interna en vehículos de prueba, de tal manera de quemar los residuos de hidrocarburos a través de un equipo de inyección de un fluido de limpieza en forma de gas HHO



- Diseñar y construir un equipo de descarbonización de motores de combustión interna mediante inyección de hidrógeno HHO con herramientas computacionales CAD y programación del proceso en tiempos proyectados utilizando un lenguaje por software libre para comunicarse y para desarrollar el programa de software por ordenador.
- Usar oxihidrógeno que es una mezcla de hidrógeno atómico y oxígeno atómico en proporción de 2:1.
- Introducir el fluido oxihidrógeno de manera externa en la admisión del motor para obtener la quema y eliminación controlada de los residuos internos y carbonilla adherida en componentes internos de la maquina térmica
- Analizar la incidencia en el rendimiento del motor de combustión del método de descarbonización.



- Ejecutar de ensayos de torque – potencia considerando un método de certificación según SAE J1349 o SAE J1995 y certificado según SAE J2723 antes y después de la ejecución de la limpieza.
- Determinar consumo de combustible por procedimiento del test FTP – 72 y FTP – 75 para ciclos de conducción en ruta antes y después de la ejecución de la limpieza.
- Evaluar aspectos de torque, potencia, consumo de combustible que valide el estado del vehículo antes y después de la ejecución de la limpieza por oxihidrógeno (HHO) para descarbonizar los motores.
- Investigar el comportamiento mecánico, eléctrico y electrónico del motor de combustión del método de descarbonización no invasivo con equipo de diagnóstico con analizadores de motores, escáner automotriz y cámara termográfica que determine el estado de los subsistemas del motor de combustión antes y después de la ejecución de la limpieza por oxihidrógeno.



- Determinar el comportamiento en el control de emisiones en base a las normativas NTE INEN 2 203:2000, NTE INEN 2 204:2002 y NTE INEN 2207:2002.
- Establecer la eficiencia de la limpieza en el rendimiento y comportamiento mecánico, eléctrico y electrónico en relación al Método de referencia EPA CTM 34. 40 CFR, 1999, ISO 15031-5 / SAE J1979 .
- Determinar si es beneficiosa la realización de un proceso de descarbonización de un motor por electrólisis del agua mediante pruebas dinámicas y estáticas.

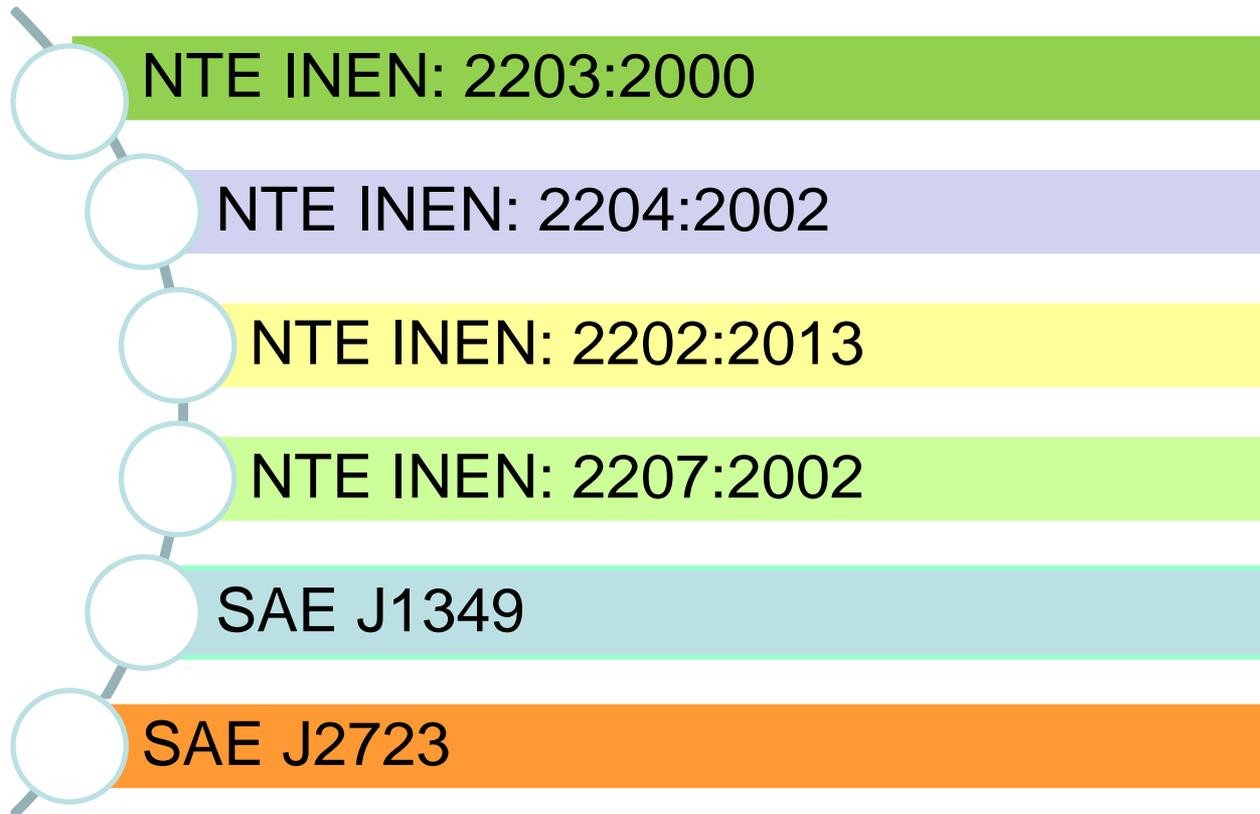


HIPÓTESIS

- ¿Mediante el análisis termográfico se podrá determinar la eficiencia de los convertidores catalíticos recuperados a través del proceso redox e inyección de gases inertes?



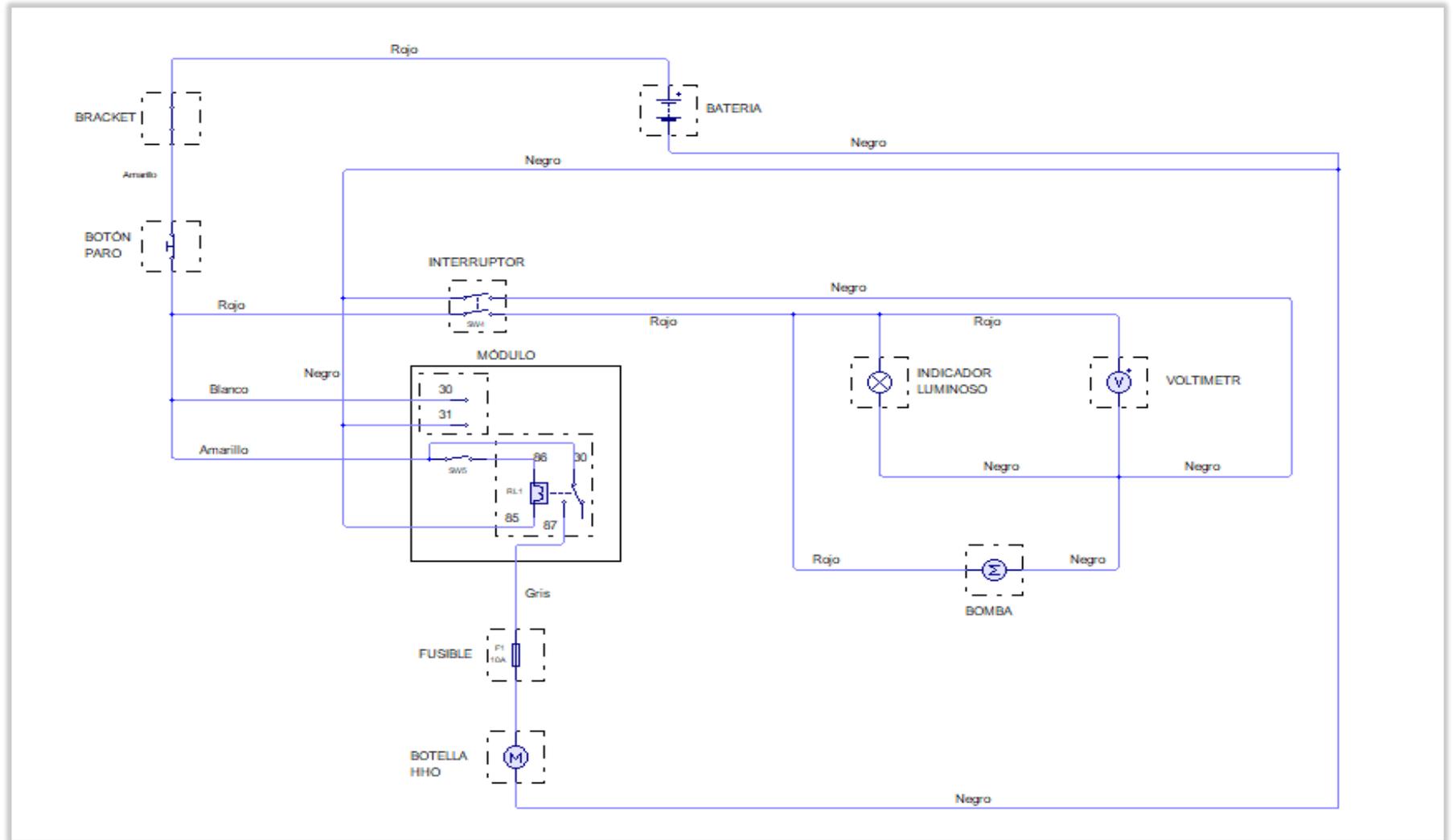
NORMATIVAS EMPLEADAS



PROTOTIPO EQUIPO DE DESCARBONIZACIÓN



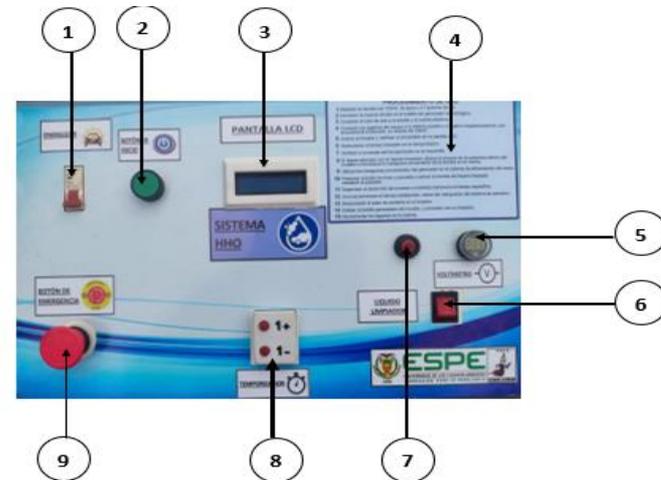
Diseño de conexiones



Partes del equipo

Tablero de control

Componentes	
1	Contactador de energizar
2	Botón de inicio
3	Pantalla LCD
4	Proceso de uso
5	Voltímetro
6	Interruptor del líquido limpiador
7	Indicador de la bomba
8	Temporizador
9	Botón de emergencia



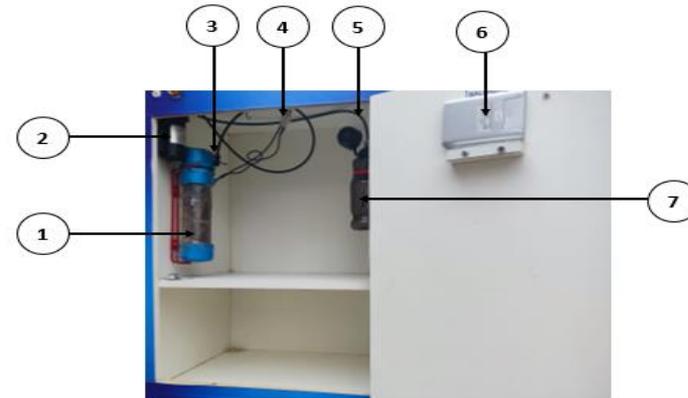
Elementos externos

Componentes	
1	Manija de apertura de la parte interna del equipo
2	Acople rápido para el líquido limpiador
3	Acople rápido del HHO
4	Booster Cable 200 A



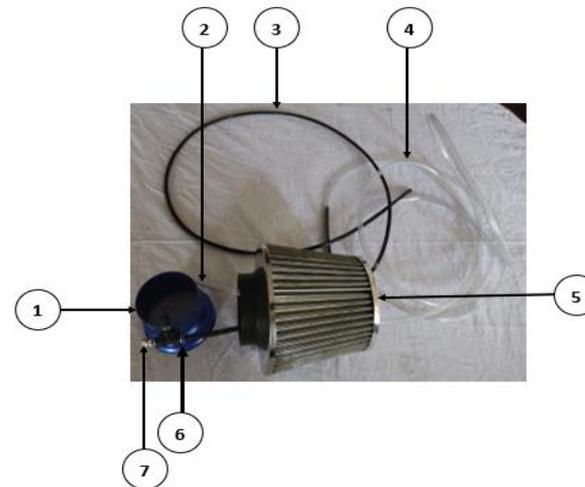
Elementos internos

Componentes	
1	Botella generadora
2	Bomba
3	Manguera de salida del HHO
4	Socket de la botella generado
5	Manguera de salida del líquido limpiador
6	Balanza
7	Deposito



Acoples para el motor

Componentes	
1	Adaptador para la toma de admisión del motor en caso de ser necesario
2	Salida de HHO al sistema de admisión del motor
3	Manguera de líquido limpiador
4	Manguera del HHO
5	Filtro cónico
6	Acople rápido del pulverizador
7	Pulverizador

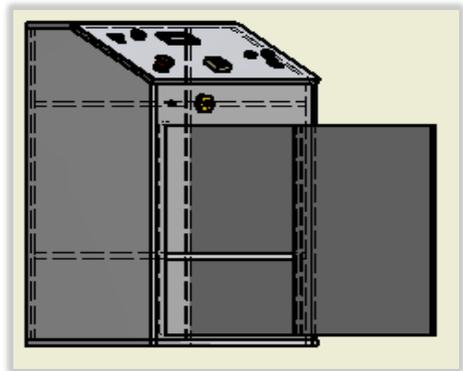


FICHA TÉCNICA

Características

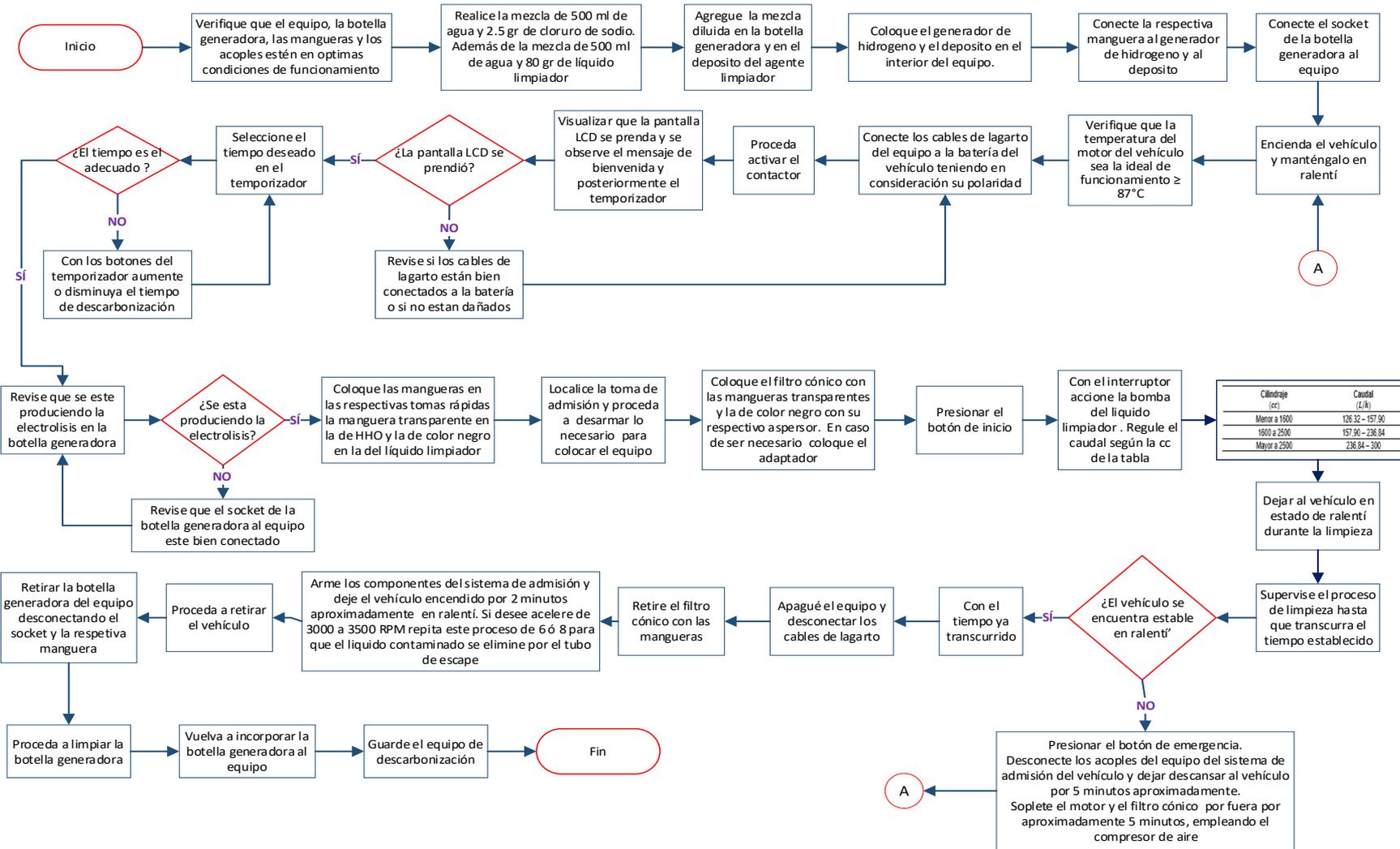
Descripción	Características
Tipo de equipo	Descarbonizador por oxihidrógeno "HHO"
Materia de fabricación	Madera de tipo MDF
Voltaje de funcionamiento	12 voltios de corriente continua (CC)
Cables de alimentación	Booster Cable 200 A
Tipo de contactor	Interruptor automático de 16A
Seguridad	Botón de emergencia
Pantalla	LCD de 16x2
Voltímetro	Digital circular
Balanza	Digital
Temporizador	De 0 a 59 min
Tipo de disolución empleada en el proceso de electrolisis	10 gr Cloruro de sodio (NaCl) y 500 ml Agua (H ₂ O)
Agente limpiador	68 ml
Tipo de botella generadora	Celdas húmedas
Tipo de bomba	Diafragma
Presión de la bomba	0.80 MPa (Max 116 Psi)
Deposito	600 ml
Dimensiones (A x B x C x D)	(877,99 x 400 x 530 x 700) mm

Equipo



PROCESO DE UTILIZACIÓN DEL PROTOTIPO DEL EQUIPO DE DESCARBONIZACIÓN





EQUIPOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO



AGS 688 y medidor de revoluciones MGT-300



Dinamómetro de rodillos Sáenz BPVI



GTC 505



Opacímetro 57-220





Compresómetro



Vacuómetro



Medidor de fugas de cilindros



Osciloscopio y pinza Amperimétrica



PRUEBAS REALIZADAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

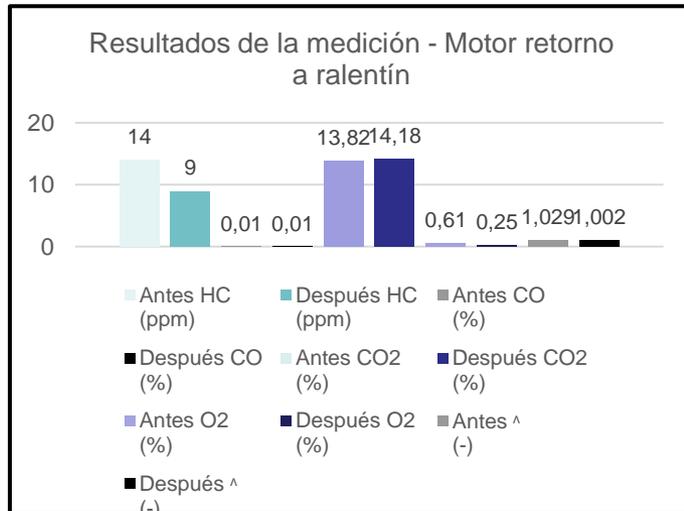
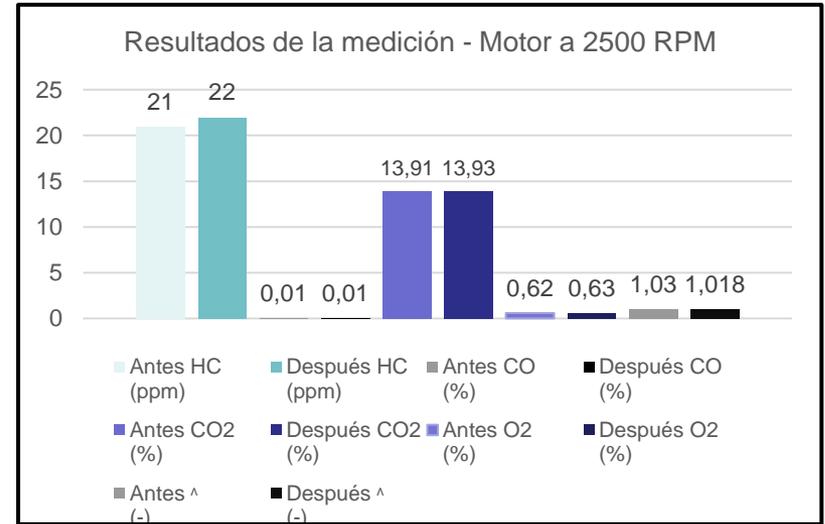
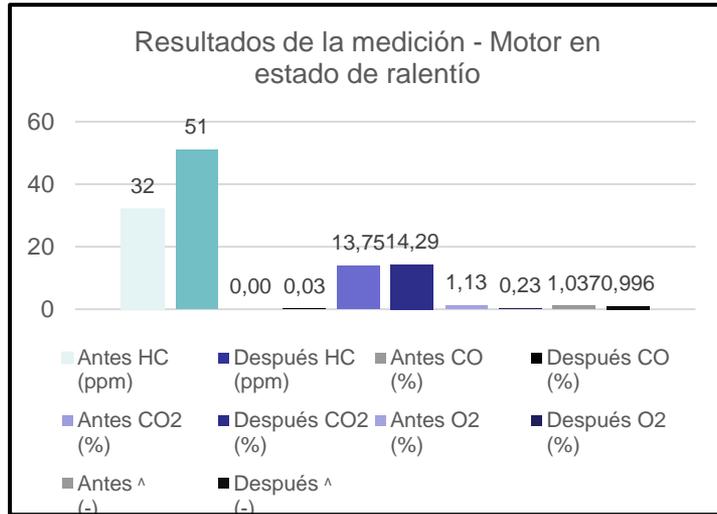


Emisiones contaminantes

La realización de las pruebas de emisiones de gases contaminante se emplea, el equipo de análisis de gases AGS-688, y utilizando los parámetros de las normativas NTE INEN: 2203:2000, el medidor de revoluciones 2204:2002 y 2202:2013 en las cuales establecen los protocolos a seguir y los valores límites permitidos dependiendo del vehículo a realizar la evaluación.



VEHÍCULO DE ENSAYO 1

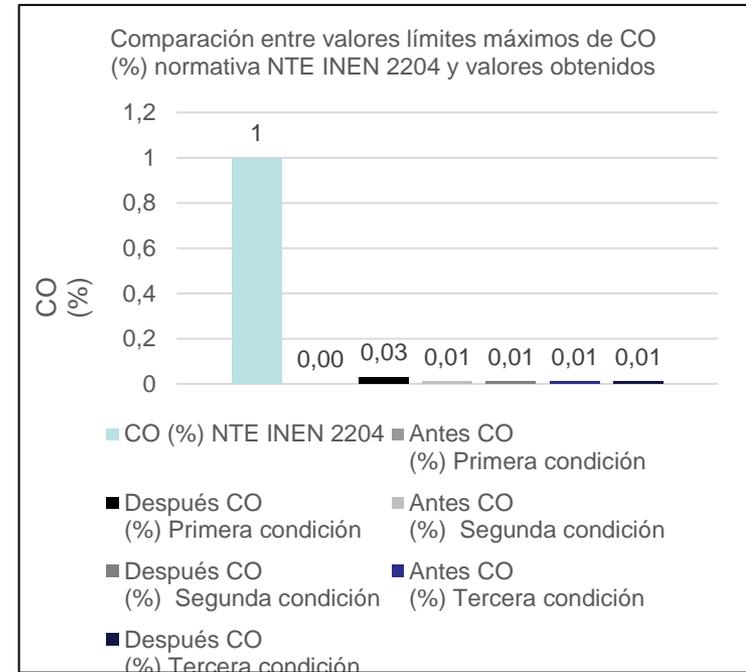
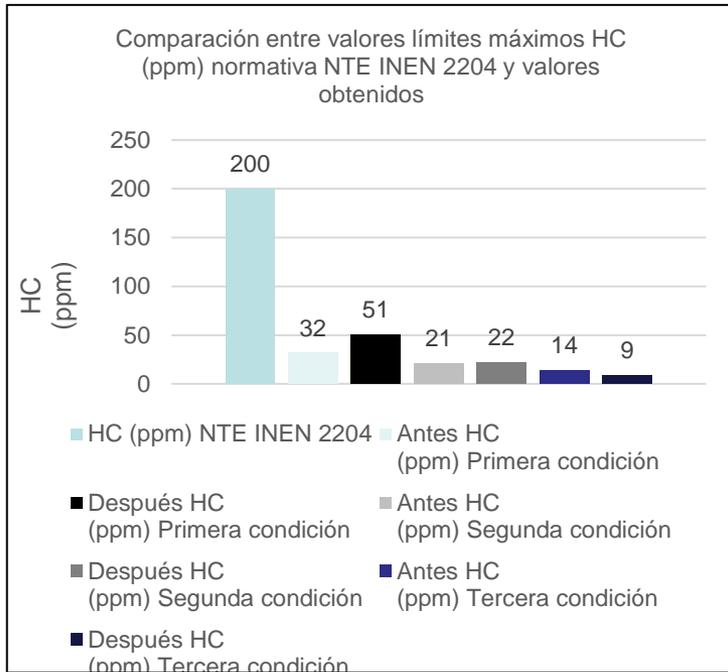


Variación

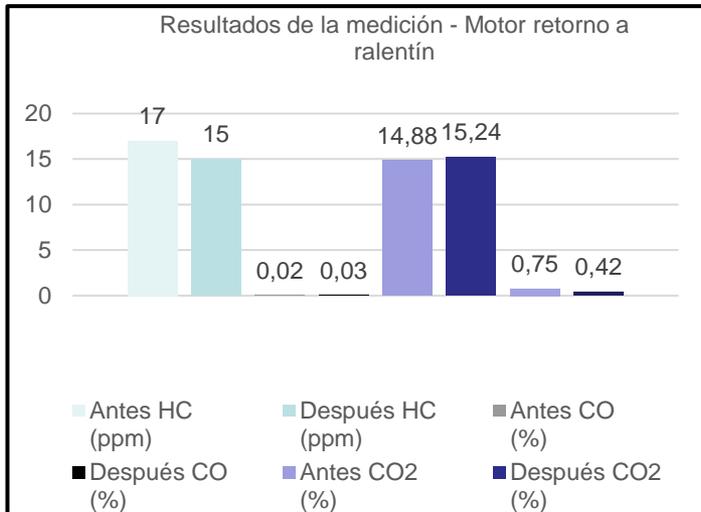
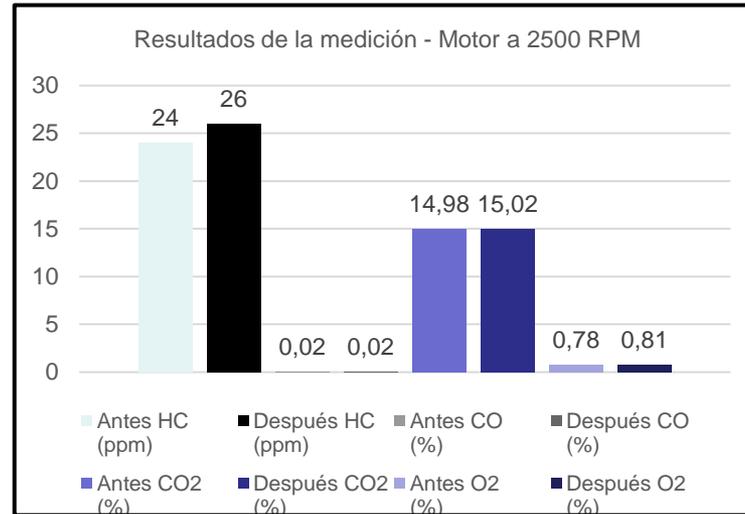
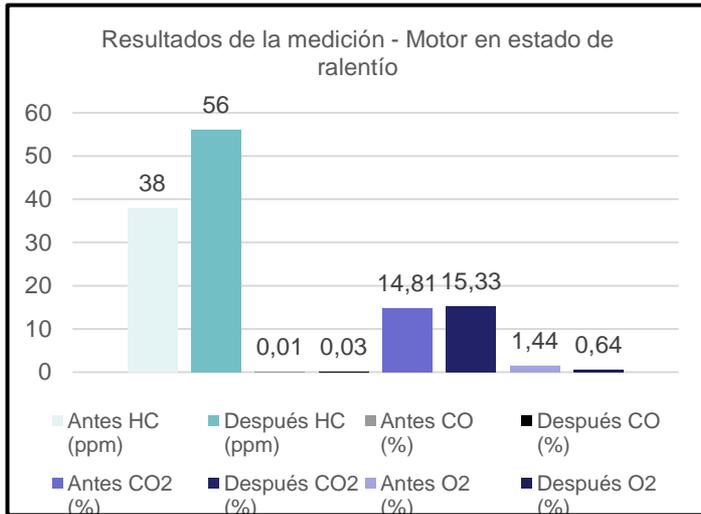
Parámetros "RPM" (1/min)	Hidrocarburos HC (ppm vol)	Monóxido de carbono CO (% vol)	Dióxido de carbono CO ₂ (% vol)	Oxígeno O ₂ (% vol)	Sonda lambda Λ (-)
1100	19	0,03	0,54	-0,9	-0,041
2500	1	0,00	0,02	0,01	-0,012
Retorno 1100	-5	0,00	0,36	-0,36	-0,027



NORMATIVA



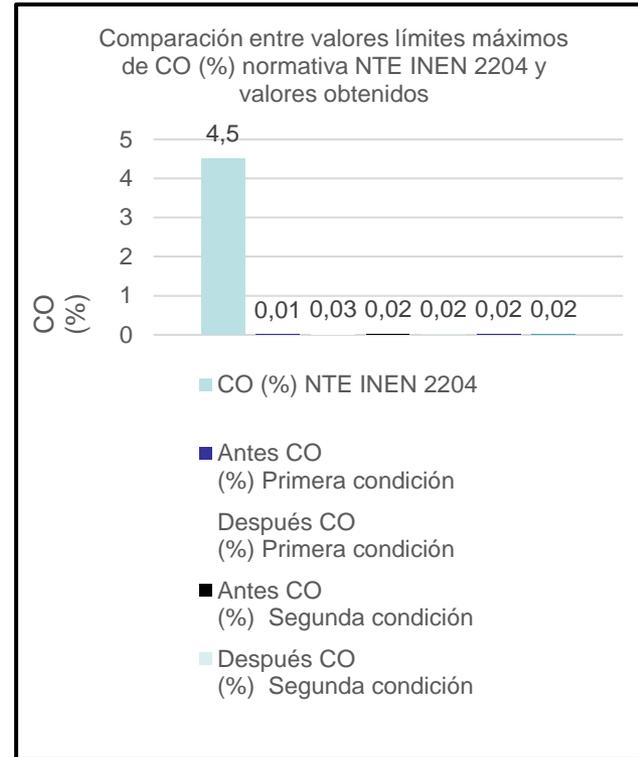
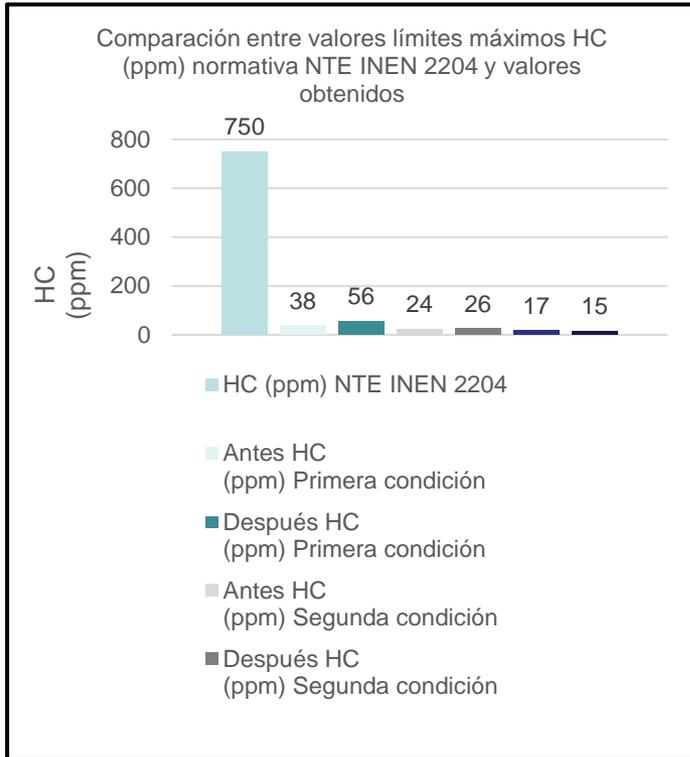
VEHÍCULO DE ENSAYO 2



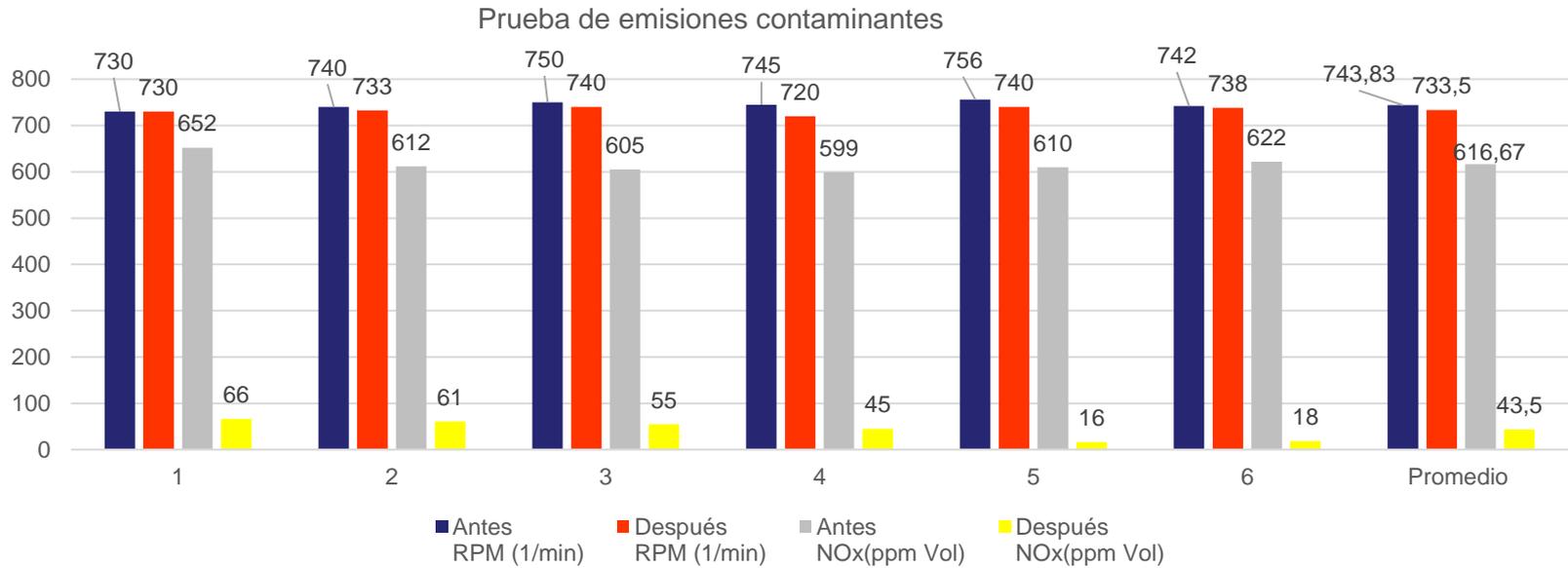
Variación

Parámetros "RPM" (1/min)	Hidrocarburos HC(ppm vol)	Monóxido de carbono CO (% vol)	Dióxido de carbono CO ₂ (% vol)	Oxígeno O ₂ (% vol)
1100	18	0,02	0,52	-0,8
2500	2	0,00	0,04	0,03
Retorno 1100	0,01	0,36	-0,33	0,01





VEHÍCULO DE ENSAYO 3



Variación

Nº de prueba	Óxidos de nitrógeno <i>NOx (ppm vol)</i>	RPM <i>(1/min)</i>
1	586	0
2	551	7
3	550	10
4	554	25
5	594	16
6	604	4
Promedio	573,17	10,33

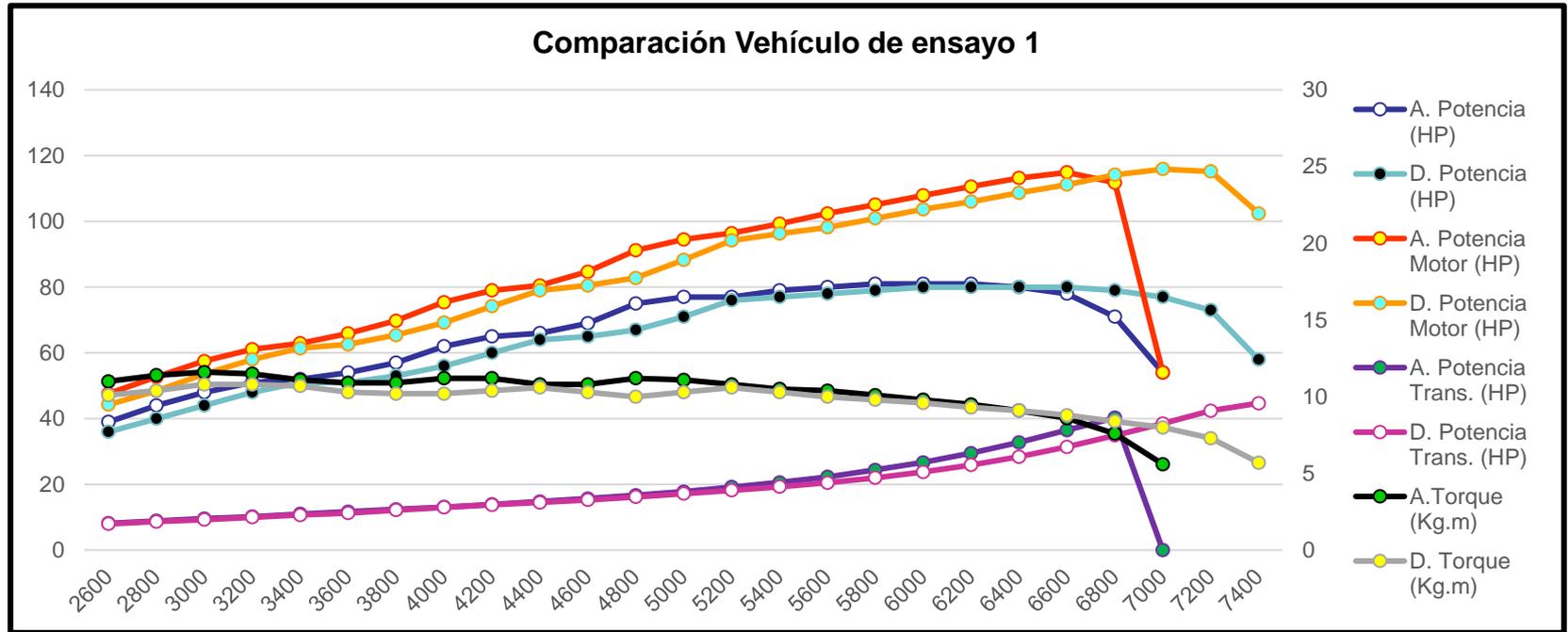


Ensayo de torque - potencia

Para el desarrollo del ensayo de Torque - Potencia se empleó un dinamómetro de rodillos de la marca Sáenz BPVI, que utiliza la normativa SAE J1349 y tiene la certificación SAE J2723, con la cual se obtuvo los datos de: Potencia, potencia motor, potencia de transmisión y torque.



VEHÍCULO DE ENSAYO 1



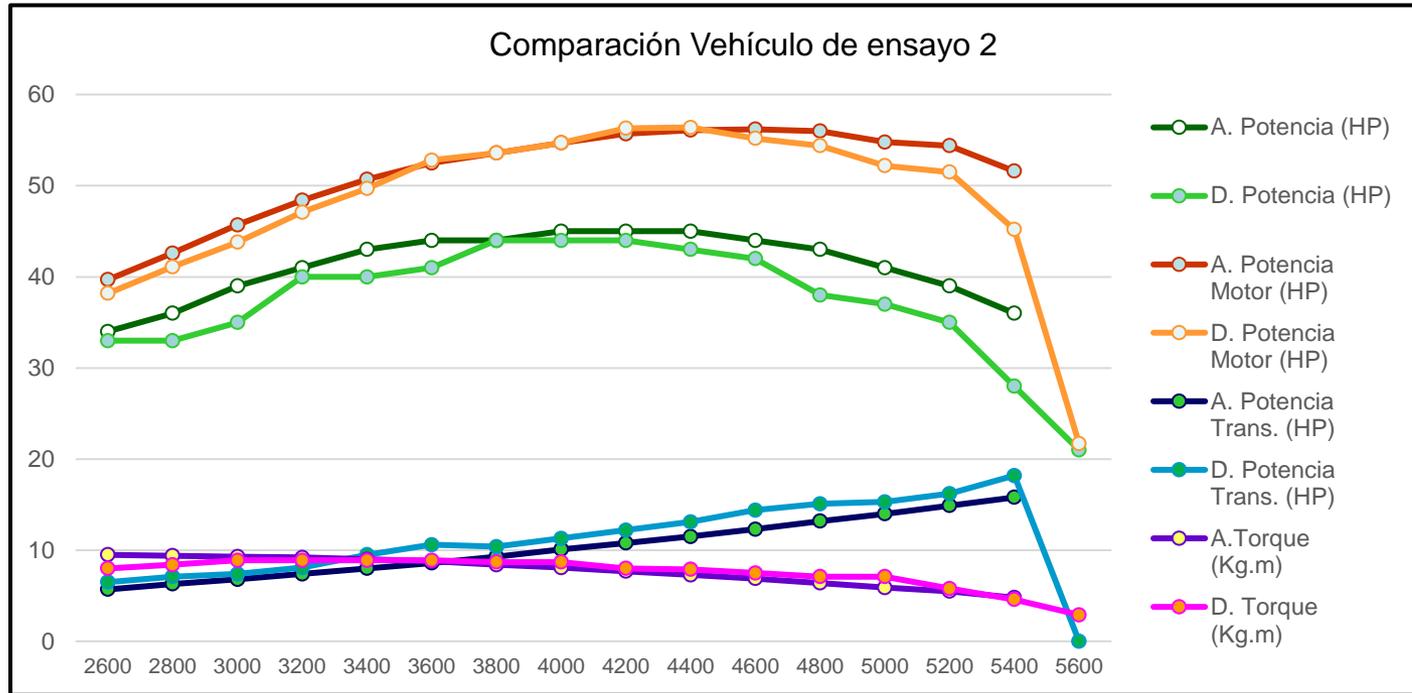
Variación

Parámetro	Potencia (HP)	Valor de RPM
Pretratamiento	114,9	6600
Postratamiento	115,9	7000
Fabricante	123	6000

Parámetro	Torque (Kg.m)	Valor de RPM
Pretratamiento	11,6	3000
Postratamiento	10,8	3000
Fabricante	16,4174	4200



VEHÍCULO DE ENSAYO 2



Variación

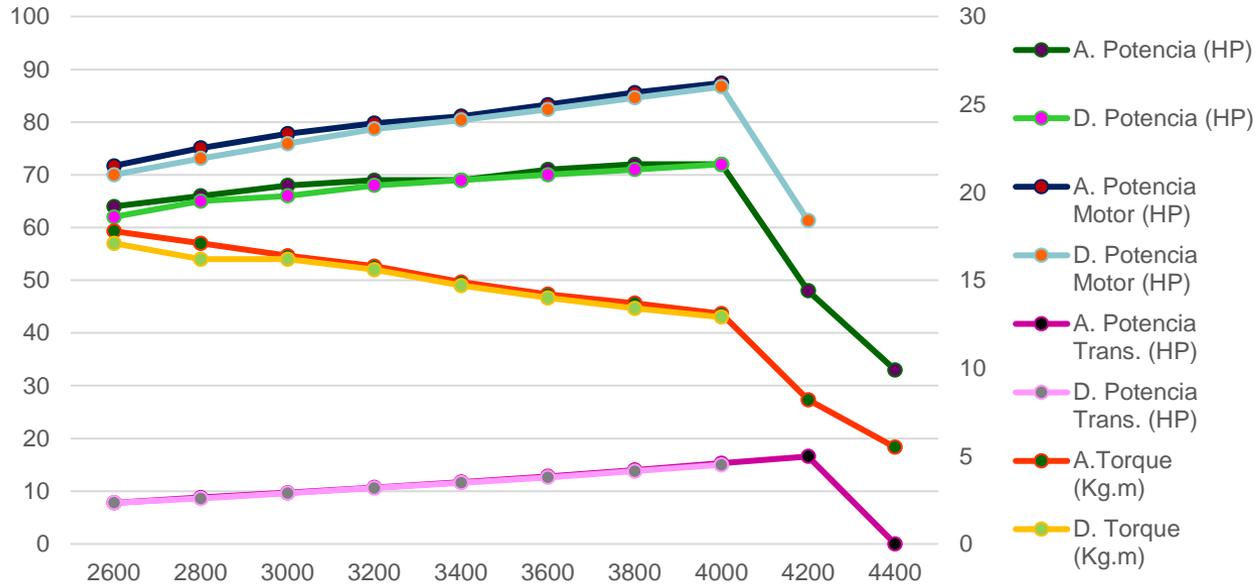
Parámetro	Potencia (HP)	Valor de RPM
Pretratamiento	45	4000
Postratamiento	44	3800
Fabricante	71,64	5700

Parámetro	Torque (Kg.m)	Valor de RPM
Pretratamiento	9,5	2600
Postratamiento	8,9	3000
Fabricante	11,24	3200



VEHÍCULO DE ENSAYO 3

Comparación Vehículo de ensayo 3



Variación

Parámetro	Potencia (HP)	Valor de RPM
Pretratamiento	72	3800
Postratamiento	72	4000
Fabricante	79	3900

Parámetro	Torque (Kg.m)	Valor de RPM
Pretratamiento	17,8	2600
Postratamiento	17,1	2600
Fabricante	17.95	2000

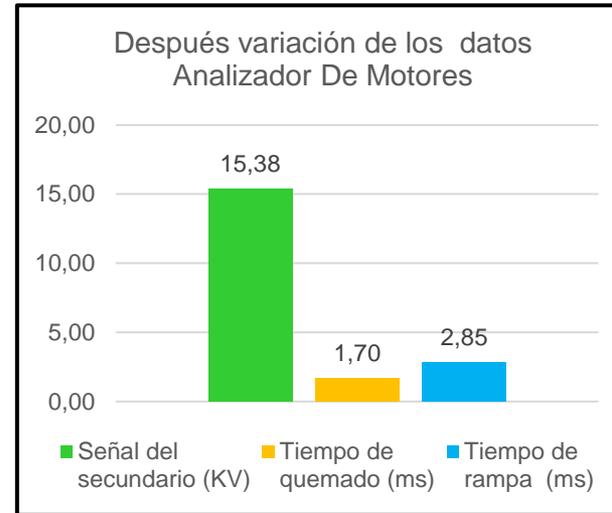
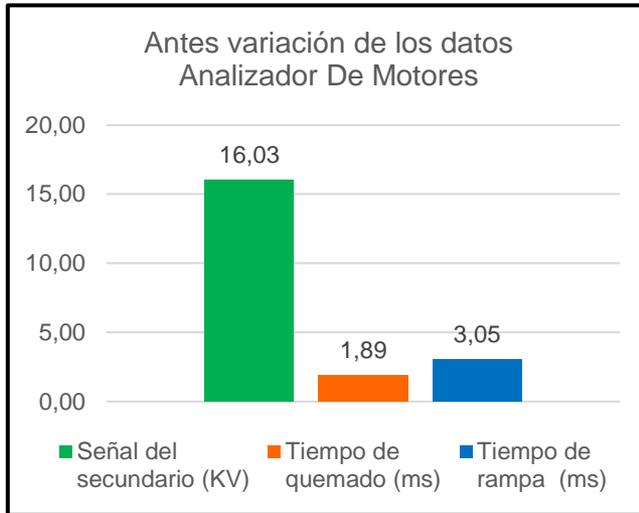


Analizador de motores

En esta prueba se utilizó el equipo GTC 505 para la realización de la respectiva medición, en el sistema secundario de la bobina en los sistemas de encendido por chispa DIS – COP y convencional para conocer el estado, de la señal del secundario, tiempo de quemado y tiempo de rampa.



VEHÍCULO DE ENSAYO 1

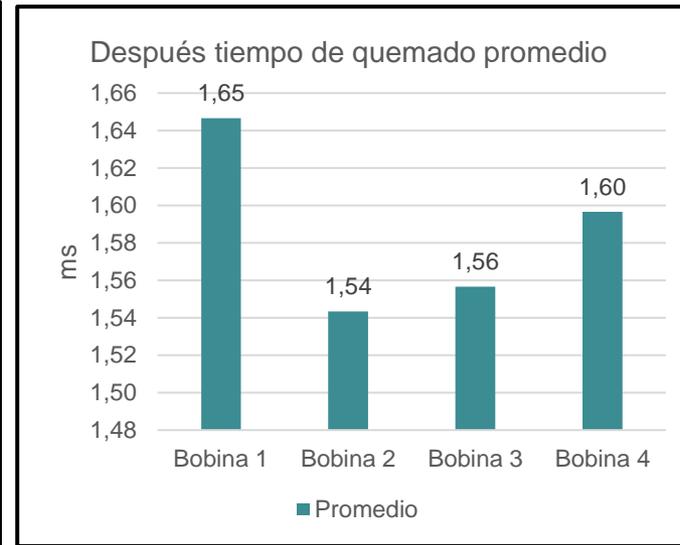
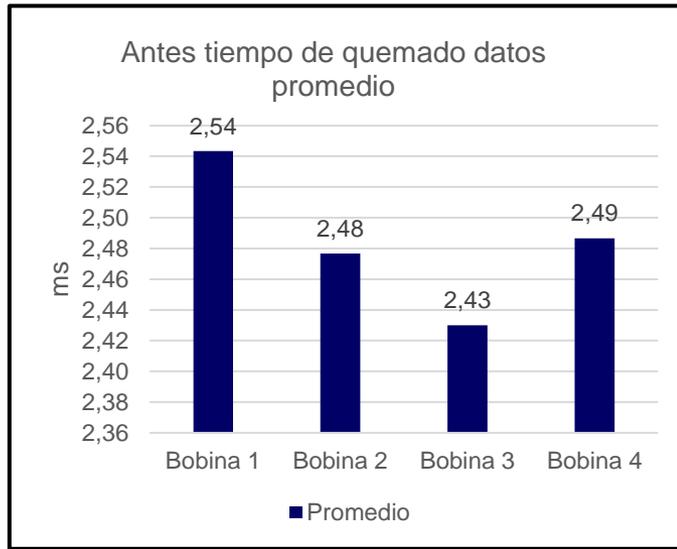


Variación

Estado	Señal del secundario (kV)	Tiempo de quemado(ms)	Tiempo de rampa (ms)
Variación	0,65	0,20	0,20



VEHÍCULO DE ENSAYO 2



Variación

Tiempo de quemado (ms)	Bobina 1	Bobina 2	Bobina 3	Bobina 4
Variación	0,90	0,93	0,87	0,89

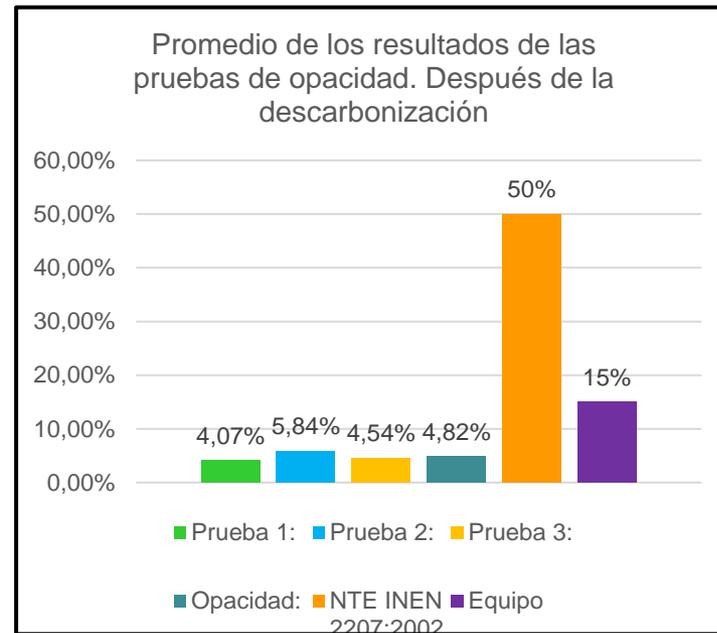
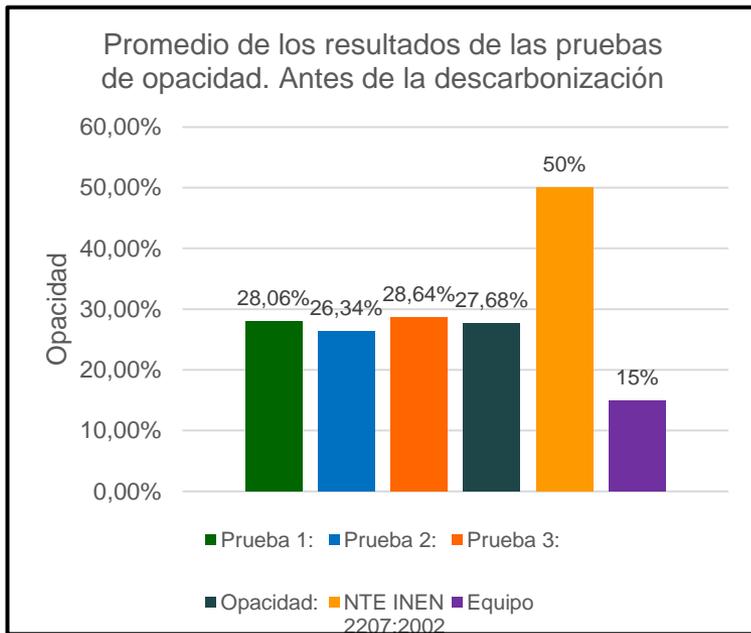


Opacidad

La prueba de opacidad está determinada mediante los parámetros de las normativas NTE INEN 2202:2013 y 2207:2002 que establecen los procedimientos y valores del ensayo en la determinación del porcentaje de opacidad.



VEHÍCULO DE ENSAYO 3



Variación

Nº de prueba	Variación (%)
1	23,99%
2	20,50%
3	24,10%
Opacidad	22,86%

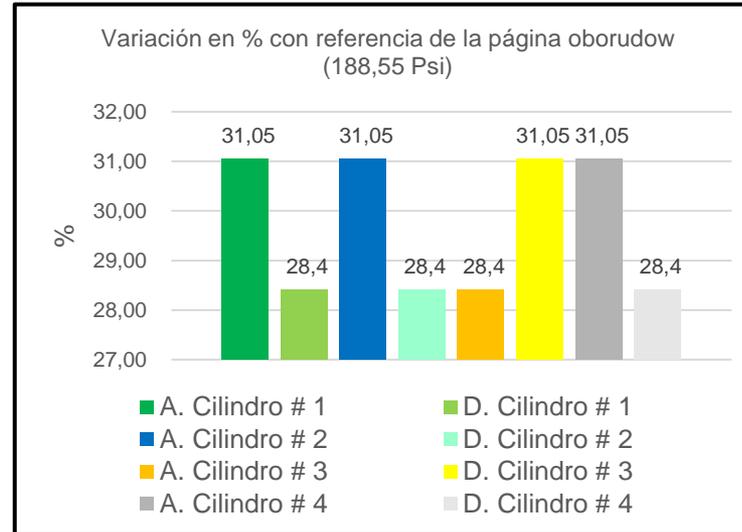
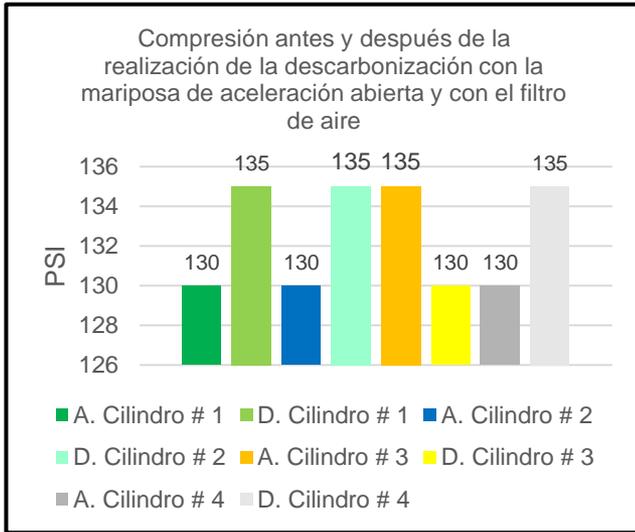


Compresión

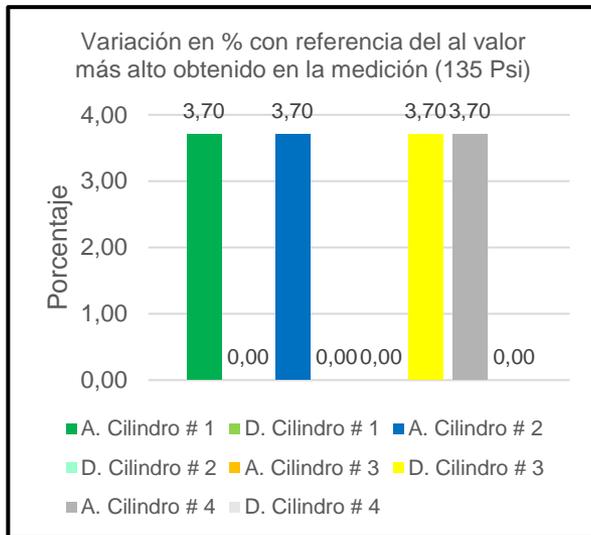
Empleada en la verificación de la eficiencia, del motor mediante la utilización de un compresómetro y los datos técnicos de la compresión de los vehículos utilizados en la investigación.



VEHÍCULO DE ENSAYO 1



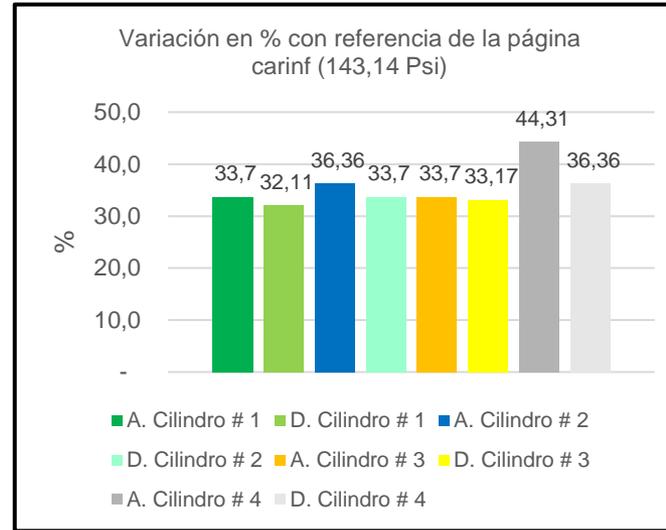
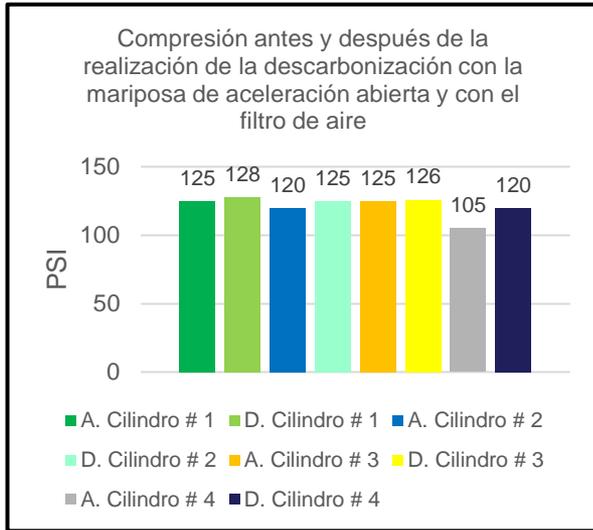
Variación



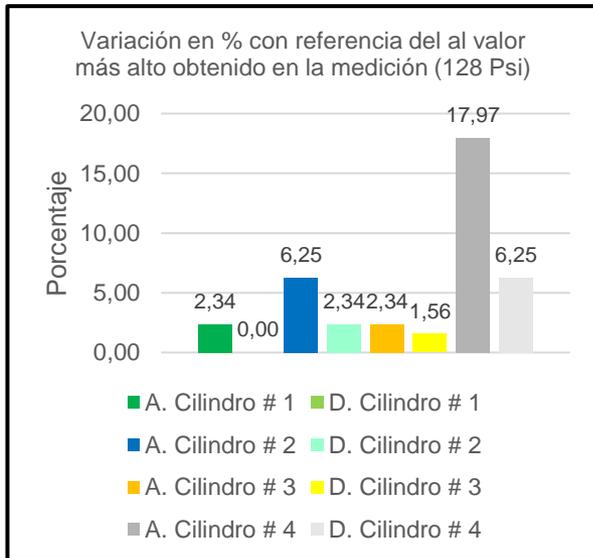
Parámetro	Cilindro # 1	Cilindro # 2	Cilindro # 3	Cilindro # 4
Valores medidos en (PSI)	5	5	-5	5
(%) con referencia de la página aborudos (188.55 Psi)	2,65	2,7	-2,65	2,65
(%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (135 Psi)	3,70	3,70	-3,70	3,70



VEHÍCULO DE ENSAYO 2



Variación

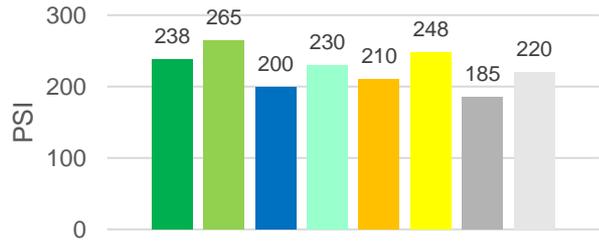


Parámetro	Cilindro # 1	Cilindro # 2	Cilindro # 3	Cilindro # 4
Valores medidos en (PSI)	3	5	1	15
(%) con referencia de la página carinf (143.14 Psi)	1,59	2,7	0,53	7,96
(%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (128 Psi)	2,34	3,91	0,78	11,72



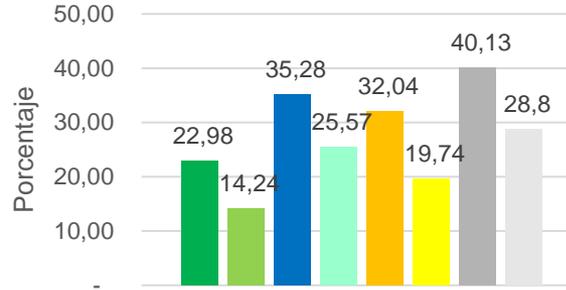
VEHÍCULO DE ENSAYO 3

Compresión antes y después de la realización de la descarbonización con la mariposa de aceleración abierta y con el filtro de aire



- A. Cilindro # 1 ■ D. Cilindro # 1 ■ A. Cilindro # 2
- D. Cilindro # 2 ■ A. Cilindro # 3 ■ D. Cilindro # 3
- A. Cilindro # 4 ■ D. Cilindro # 4

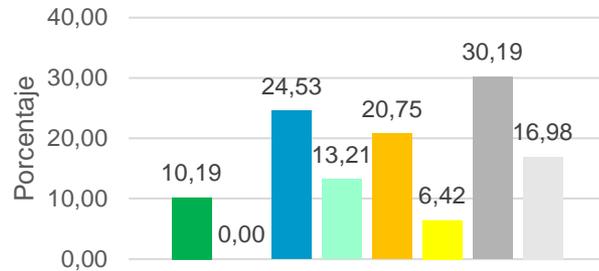
Prueba 2 variación en % con referencia del manual de servicios (309 Psi)



- A. Cilindro # 1 ■ D. Cilindro # 1 ■ A. Cilindro # 2
- D. Cilindro # 2 ■ A. Cilindro # 3 ■ D. Cilindro # 3
- A. Cilindro # 4 ■ D. Cilindro # 4

Variación

Prueba 2 variación en % con referencia del al valor más alto obtenido en la medición (265 Psi)



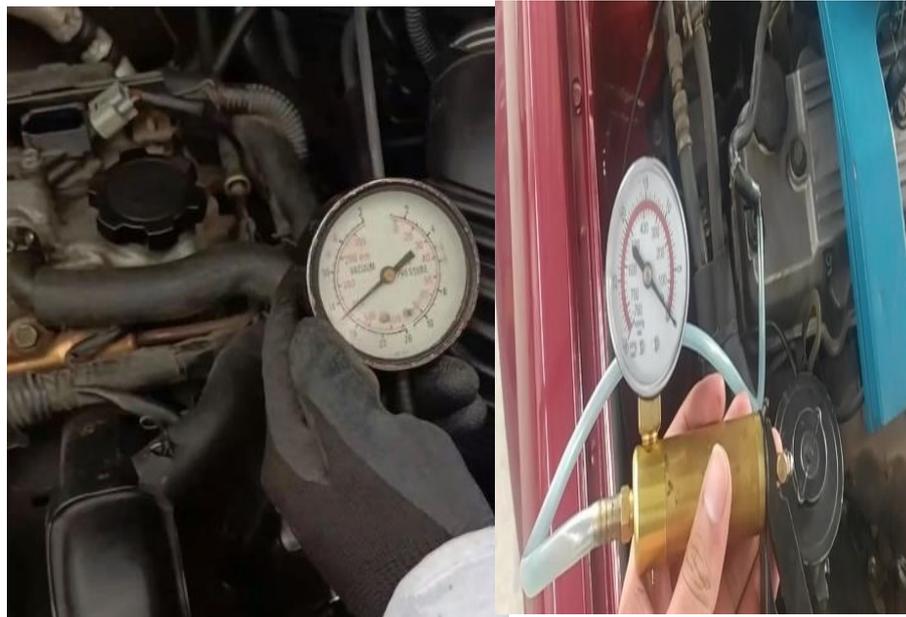
- A. Cilindro # 1 ■ D. Cilindro # 1 ■ A. Cilindro # 2
- D. Cilindro # 2 ■ A. Cilindro # 3 ■ D. Cilindro # 3
- A. Cilindro # 4 ■ D. Cilindro # 4

Parámetro	Cilindro # 1	Cilindro # 2	Cilindro # 3	Cilindro # 4
Valores medidos en (PSI)	27	30	38	35
(%) con referencia del manual de servicios (309 Psi)	8,74	9,7	12,30	11,33
(%) teniendo como referencia el valor más alto obtenido en la prueba de (265 Psi)	10,19	11,32	14,34	13,21

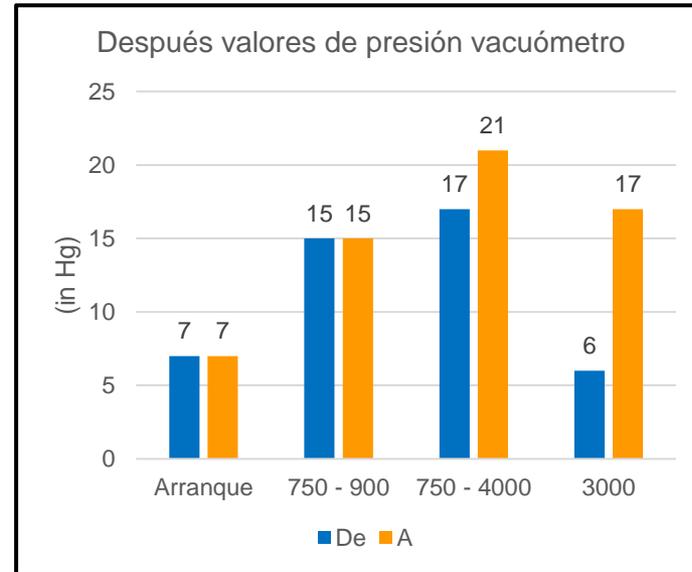
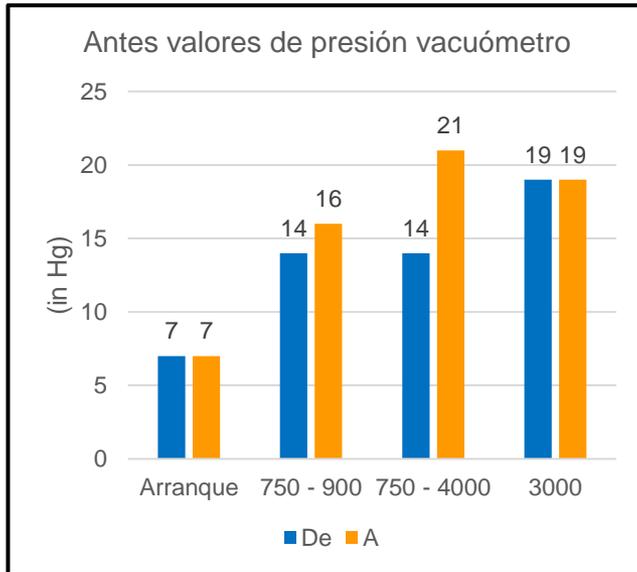


Vacío

Estado general del motor y el funcionamiento de diferentes componentes internos de él, empleando el instrumento de medición vacuómetro.



VEHÍCULO DE ENSAYO 1

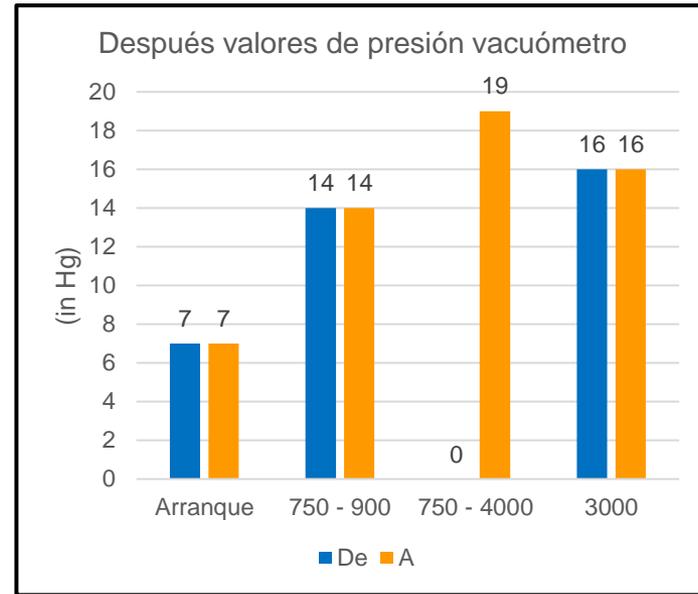
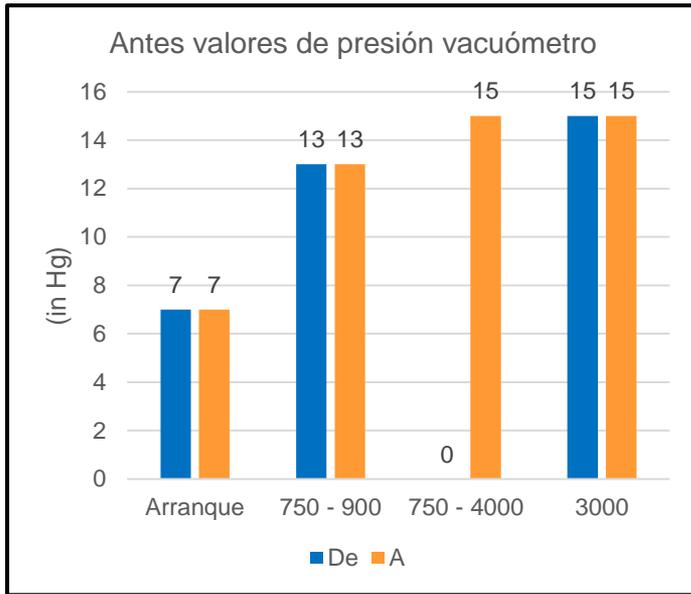


Variación

Prueba realizada	Vacuómetro Valores de presión (in Hg)		Estado del motor antes y después de la limpieza
	De	A	
Arranque	0	0	Bueno - Bueno
750 - 900	1	-1	Bueno - Bueno
750 - 4000	3	0	Bueno - Bueno
3000	-13	-2	Bueno - Bueno



VEHÍCULO DE ENSAYO 2

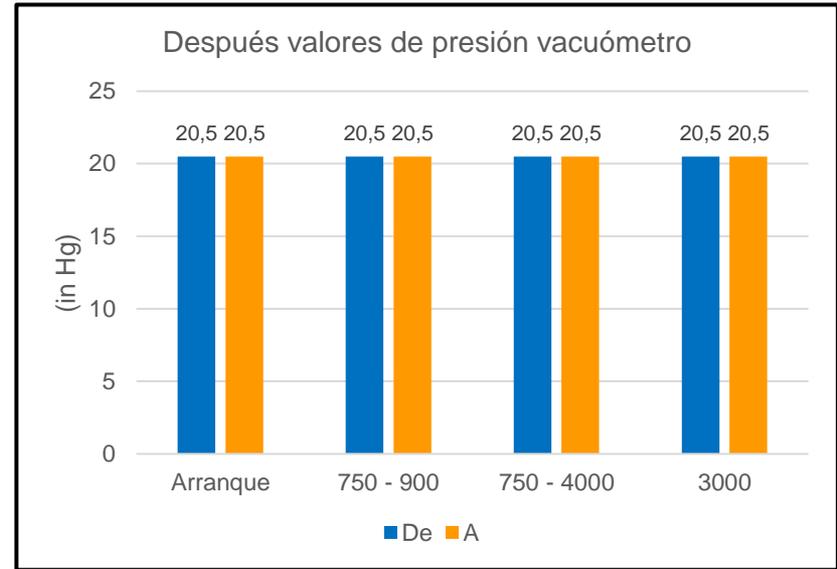
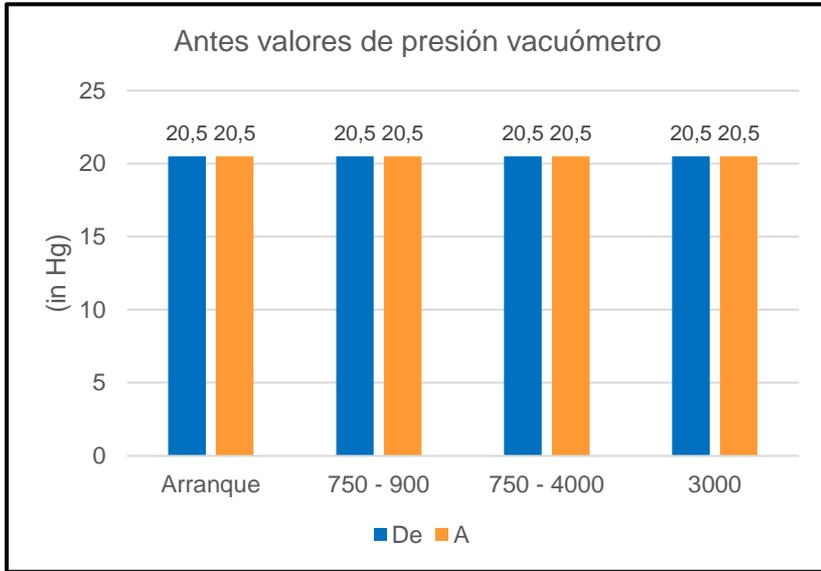


Variación

Prueba realizada	Vacuómetro Valores de presión (in Hg)		Estado del motor antes y después de la limpieza
	De	A	
Arranque	0	0	Bueno - Bueno
750 - 900	1	1	Bueno - Bueno
750 - 4000	0	4	Bueno - Bueno
3000	1	1	Bueno - Bueno



VEHÍCULO DE ENSAYO 3



Variación

Prueba realizada	Vacuómetro Valores de presión (in Hg)		Estado del motor antes y después de la limpieza
	De	A	
Arranque	0	0	Bueno - Bueno
750 - 900	0	0	Bueno - Bueno
750 - 4000	0	0	Bueno - Bueno
3000	0	0	Bueno - Bueno

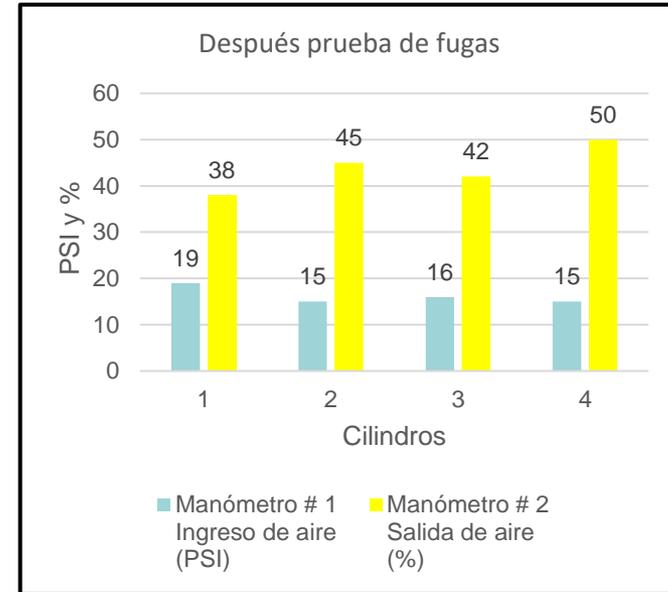
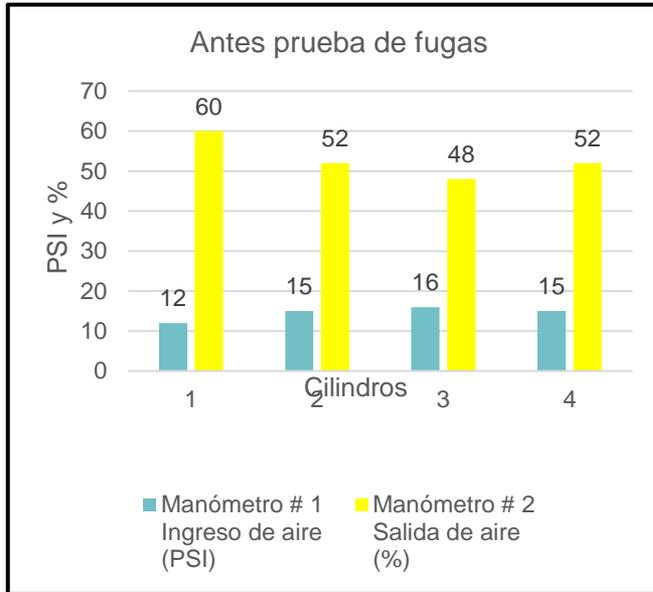


Fugas

Determinación de la hermeticidad de los cilindros y de la cámara de combustión de los motores.



VEHÍCULO DE ENSAYO 1

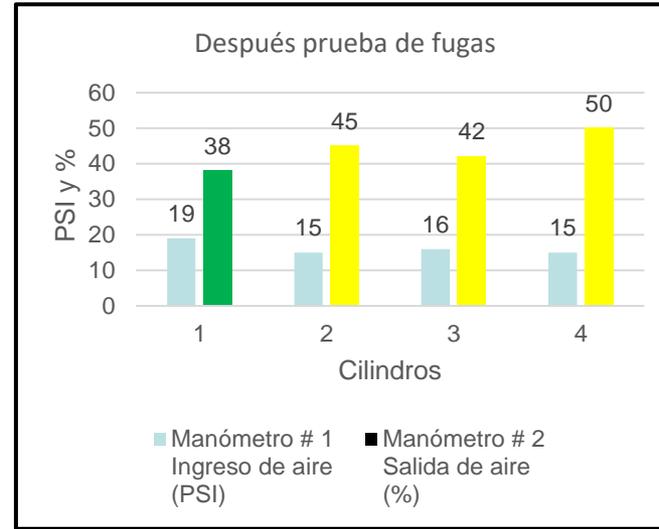
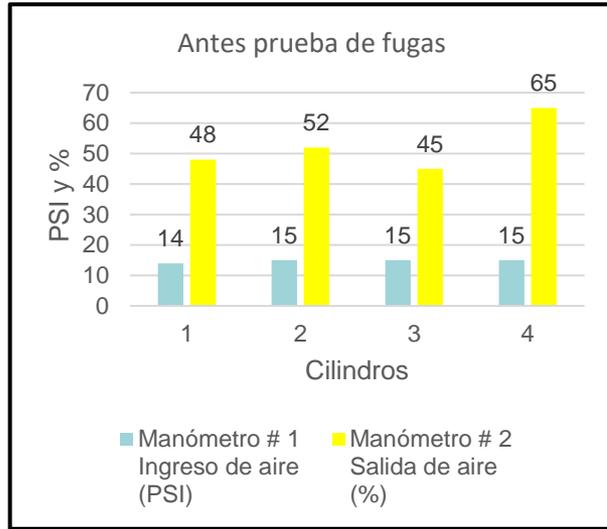


Variación

Nº de cilindro	Manómetro # 1 Ingreso de aire (PSI)	Manómetro # 2 Salida de aire (%)	Estado del motor antes y después de la limpieza
Vehículo de ensayo 1			
1	6	-20	MODERATE-MODERATE
2	1	-9	MODERATE-MODERATE
3	-3	-8	MODERATE-MODERATE
4	-4	-7	MODERATE-MODERATE



VEHÍCULO DE ENSAYO 2

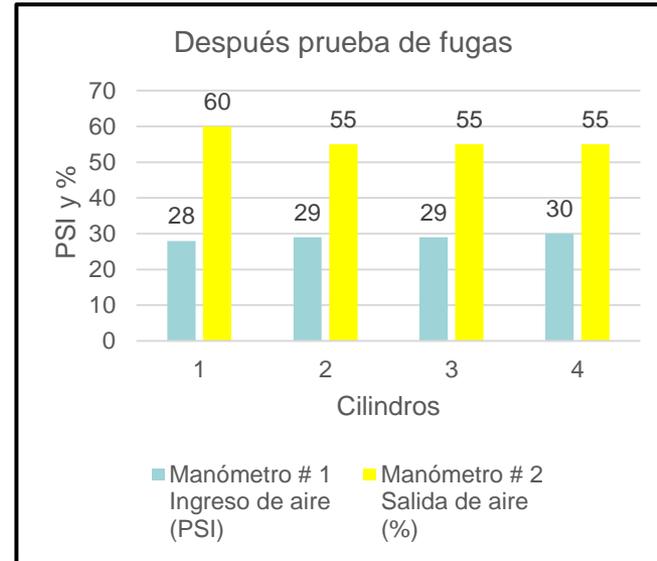
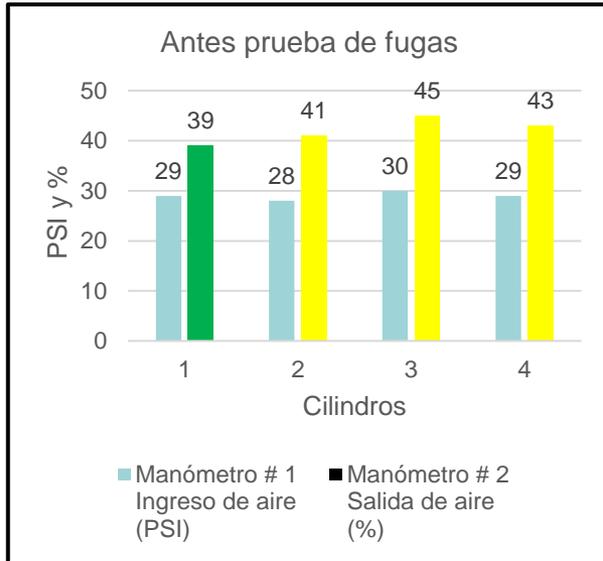


Variación

Nº de cilindro	Manómetro # 1 Ingreso de aire (PSI)	Manómetro # 2 Salida de aire (%)	Estado del motor antes y después de la limpieza
Vehículo de ensayo 2			
1	1	-10	MODERATE-LOW
2	2	-7	MODERATE-MODERATE
3	3	-3	MODERATE-MODERATE
4	4	-15	MODERATE-MODERATE



VEHÍCULO DE ENSAYO 3



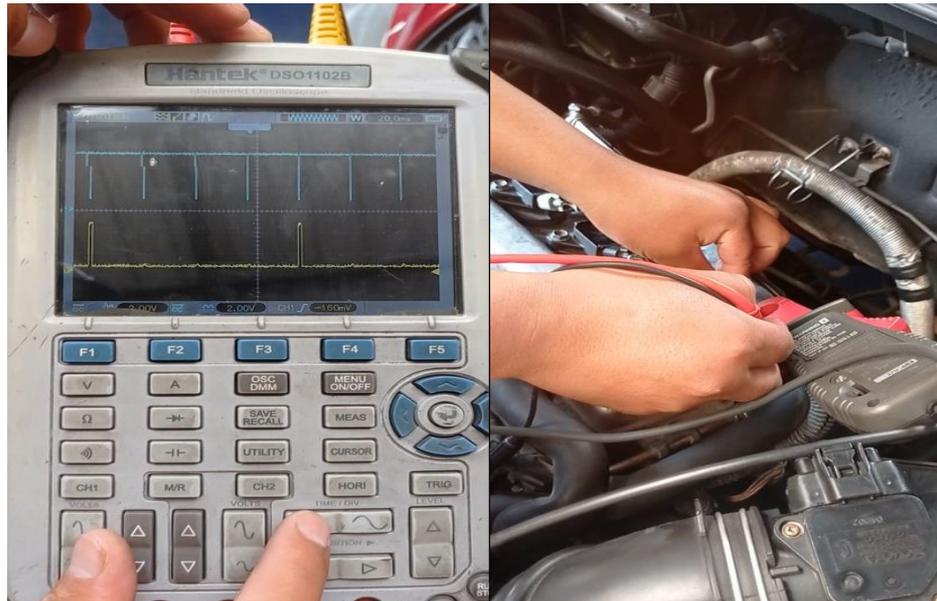
Variación

Nº de cilindro	Manómetro # 1 Ingreso de aire (PSI)	Manómetro # 2 Salida de aire (%)	Estado del motor antes y después de la limpieza
Vehículo de ensayo 3			
1	-1	21	LOW-MODERATE
2	1	14	MODERATE-MODERATE
3	-1	10	MODERATE-MODERATE
4	1	12	MODERATE-MODERATE



Oscilogramas

Está relacionados a conocer el estado del sistema de encendido, del vehículo mediante la utilización de un osciloscopio y la pinza amperimétrica.



VEHÍCULO DE ENSAYO 1

Antes

Oscilograma	Tensión min. /máx.(V)	Corriente min. / máx. (A)	Periodo (ms)	Tiempo de activación (ms)
Bobina 1 - Ralentí				
Señal de disparo (IGT)	0,4 / 4,4	-----	144	6,6
Señal de retroalimentación (IGF)	0,8 / 5,6	-----	-----	-----
Señal de corriente saturación	-----	2 / 13,5	144	6,6
Bobina 2 - Ralentí				
Señal de disparo (IGT)	0,4 / 4,4	-----	184	6,2
Señal de retroalimentación (IGF)	0,9 / 5,6	-----	-----	-----
Señal de corriente saturación	-----	2 / 13	184	6,2
Bobina 3 - Ralentí				
Señal de disparo (IGT)	0,35 / 4,35	-----	176	5,3
Señal de retroalimentación (IGF)	0,85 / 4,95	-----	-----	-----
Señal de corriente saturación	-----	1,3 / 10,6	176	5,3
Bobina 4 - Ralentí				
Señal de disparo (IGT)	0,4 / 4,4	-----	176	6,6
Señal de retroalimentación (IGF)	0,8 / 5,2	-----	-----	-----
Señal de corriente saturación	-----	2 / 11	176	6,6

Después

Oscilograma	Tensión min. /máx.(V)	Corriente min. / máx. (A)	Periodo (ms)	Tiempo de activación (ms)
Bobina 1 - Ralentí				
Señal de disparo (IGT)	0 / 4	-----	155	3
Señal de retroalimentación (IGF)	0,4 / 4,8	-----	-----	-----
Señal de corriente saturación	-----	1,2 / 12,7	155	3
Bobina 2 - Ralentí				
Señal de disparo (IGT)	0 / 4	-----	170	4
Señal de retroalimentación (IGF)	0,6 / 4,8	-----	-----	-----
Señal de corriente saturación	-----	1,6 / 12,4	170	4
Bobina 3 - Ralentí				
Señal de disparo (IGT)	0 / 4	-----	135	3,2
Señal de retroalimentación (IGF)	0,6 / 4,8	-----	-----	-----
Señal de corriente saturación	-----	1,1 / 10,3	135	3,2
Bobina 4 - Ralentí				
Señal de disparo (IGT)	0,4 / 4	-----	155	3
Señal de retroalimentación (IGF)	0,7 / 4,9	-----	-----	-----
Señal de corriente saturación	-----	1,8 / 10,5	155	3



Variación

Oscilograma	Tensión min. /máx.(V)	Corriente min. / máx. (A)	Periodo (ms)	Tiempo de activación (ms)
Bobina 1 - Ralentí				
Señal de disparo (IGT)	- 0,4 / -0,4	-----	11	-3,6
Señal de retroalimentación (IGF)	-0,8 / -0,8	-----	-----	-----
Señal de corriente saturación	-----	-0,8 / -0,8	11	-3,6
Bobina 2 - Ralentí				
Señal de disparo (IGT)	-0,4 / -0,4	-----	-14	-2,2
Señal de retroalimentación (IGF)	-0,3 / -0,8	-----	-----	-----
Señal de corriente saturación	-----	-0,4 / -0,6	-14	-2,2
Bobina 3 - Ralentí				
Señal de disparo (IGT)	-0,35 / -0,35	-----	-41	-2,1
Señal de retroalimentación (IGF)	-0,25 / -0,15	-----	-----	-----
Señal de corriente saturación	-----	-0,2 / -0,3	-41	-2,3
Bobina 4 - Ralentí				
Señal de disparo (IGT)	-0,4 / -0,4	-----	-21	-3,6
Señal de retroalimentación (IGF)	-0,1 / -0,3	-----	-----	-----
Señal de corriente saturación	-----	-0,2 /-0,5	-21	-3,6



VEHÍCULO DE ENSAYO 2

Antes

Nº de cilindro	Estado de medición (RPM)	Corriente min. / máx. (A)	Periodo (ms)	Tiempo de activación (ms)
1	Ralentí	2 / 12,75	149	6,8
	3000	2 / 12,25	49,6	4,2
	4500	2 / 10	40	3,6
2	Ralentí	2 / 12,65	192	6,8
	3000	2 / 12,75	60	3,8
	4500	2 / 12,75	48	3,2
3	Ralentí	1,7 / 11,3	186	5,7
	3000	1,6 / 11,3	45	3,9
	4500	1,4 / 8,1	12,6	1,9
4	Ralentí	2 / 10,5	186	7,6
	3000	2 / 10	47	3,7
	4500	1,2 / 8	15	1,5

Después

Nº de cilindro	Estado de medición (RPM)	Corriente min. / máx. (A)	Periodo (ms)	Tiempo de activación (ms)
1	Ralentí	1,6 / 12,4	156	3,5
	3000	1,82 / 12,15	49,6	4
	4500	1,2 / 9,5	40	3,4
2	Ralentí	1,2 / 12,1	182	5,9
	3000	1,5 / 12,3	60	3
	4500	1,4 / 12,3	48	2,8
3	Ralentí	1,4 / 10,8	176	5,1
	3000	1,5 / 9,2	45	3
	4500	1,4 / 8,1	12,6	1
4	Ralentí	1,6 / 10,1	185	7
	3000	1,5 / 12,3	47	3,1
	4500	1,4 / 12,3	15	1



Variación

Nº de cilindro	Estado de medición (RPM)	Corriente min. / máx. (A)	Periodo (ms)	Tiempo de activación (ms)
1	Ralentí	-0,4 / -0,35	7	-3,3
	3000	-0,18 / -0,1	0	-0,2
	4500	-0,8 / -0,5	0	-0,2
2	Ralentí	-0,8 / -0,55	-10	-0,9
	3000	-0,5 / -0,45	0	-0,8
	4500	-0,6 / -0,45	0	-0,45
3	Ralentí	-0,3 / -0,5	10	-0,6
	3000	-0,1 / -2,1	0	-0,9
	4500	0 / 0	0	-0,9
4	Ralentí	-0,4 / -0,4	-1	-0,6
	3000	-0,7 / -0,2	0	-0,6
	4500	-0,2 / -0,2	0	-0,5

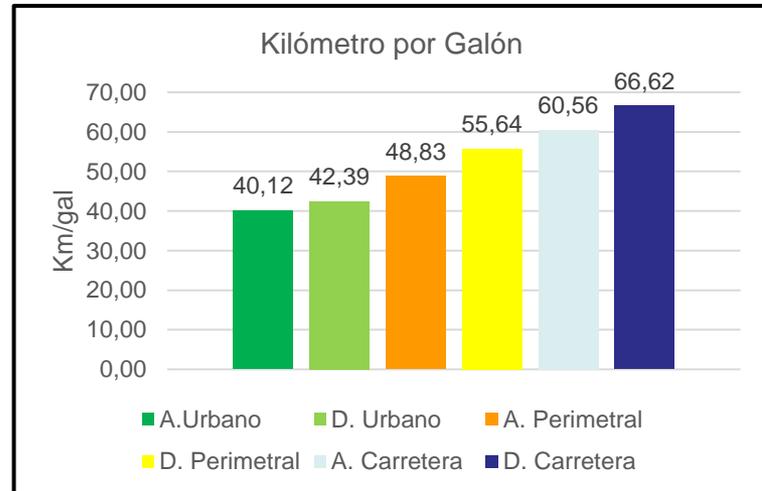
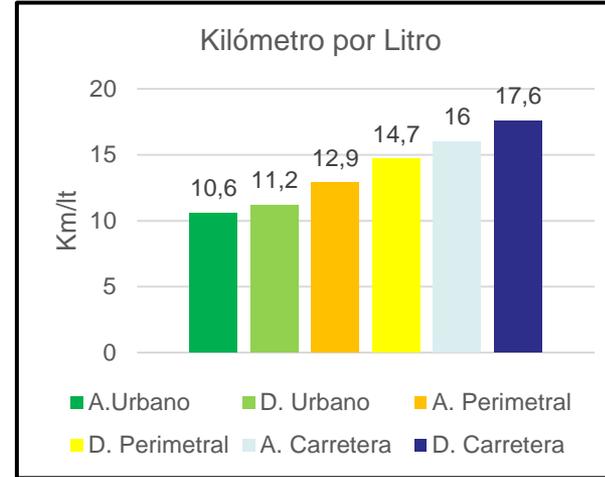
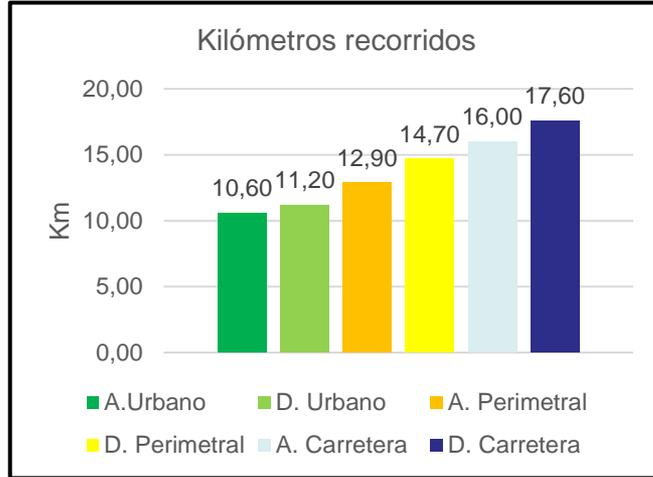


Consumo de combustible

Enfocada a determinar el consumo del combustible previo, al proceso de la aplicación del método no invasivo de descarbonización.



VEHÍCULO DE ENSAYO 1

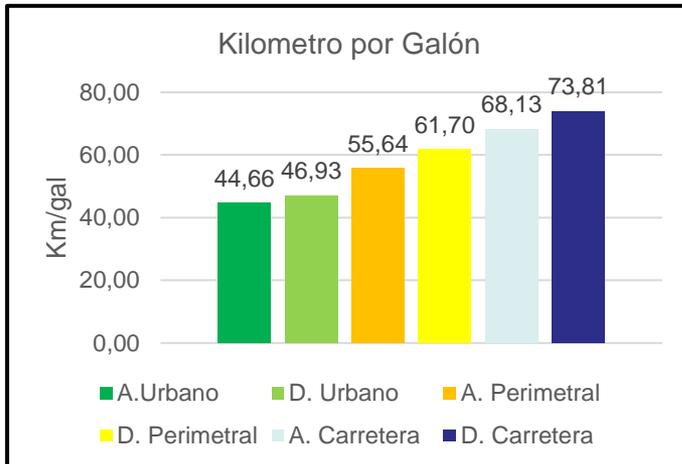
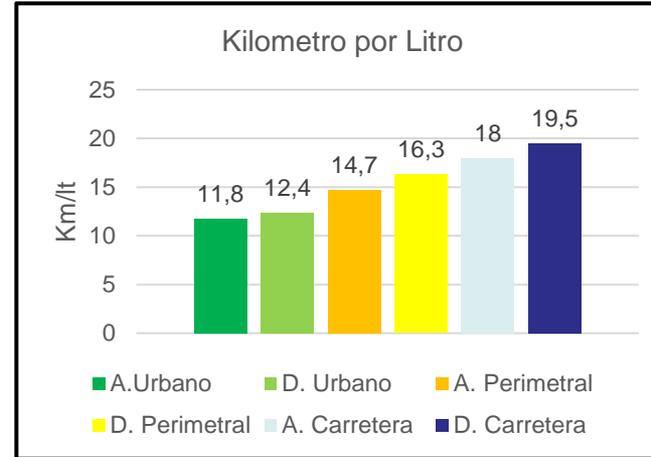
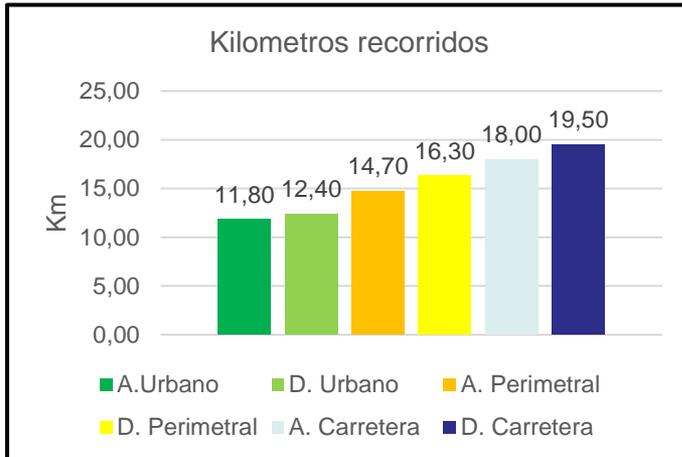


Variación

Recorrido	Kilómetros recorridos (Km)	Kilómetros por litro (Km/l)	Kilómetros por galón (Km/gal)
Urbano	0,6	0,6	2,27
Perimetral	1,8	1,8	6,81
Carretera	1,6	1,6	6,06
Variación en porcentaje			
Urbano	1,19%	1,19%	17,01%
Perimetral	1,90%	1,90%	27,17%
Carretera	2,82%	2,82%	40,34%



VEHÍCULO DE ENSAYO 2

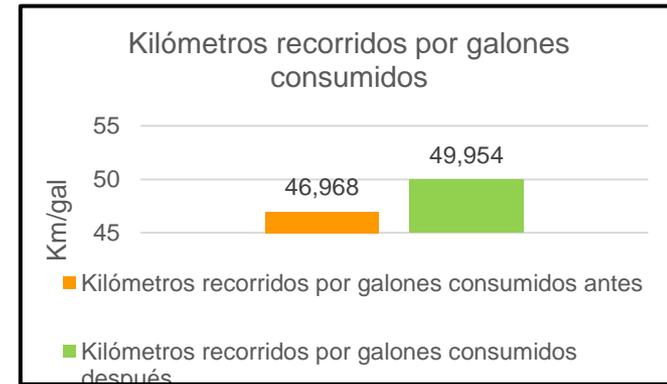
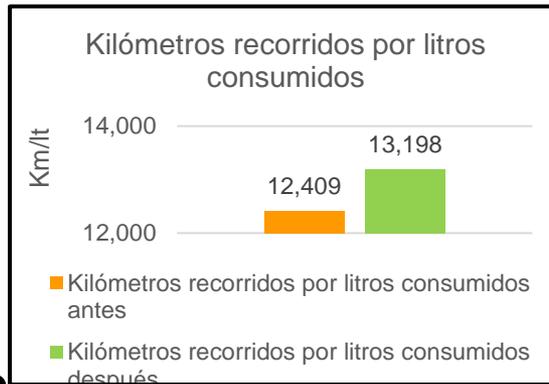
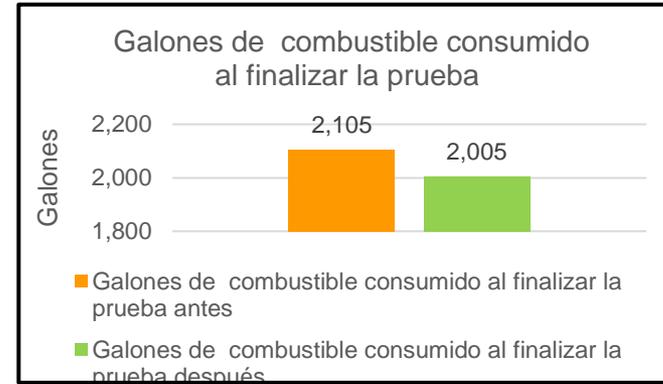
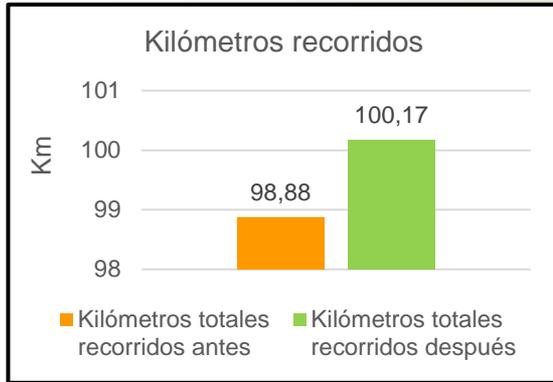


Variación

Recorrido	Kilómetros recorridos (Km)	Kilómetros por litro (Km/l)	Kilómetros por galón (Km/gal)
Urbano	0,6	0,6	2,27
Perimetral	1,6	1,6	6,06
Carretera	1,5	1,5	5,68
Variación en porcentaje			
Urbano	1,46%	1,46%	20,96%
Perimetral	2,40%	2,40%	34,33%
Carretera	3,51%	3,51%	50,29%



VEHÍCULO DE ENSAYO 3



Variación

Kilometro recorridos (<i>Km</i>)	Costo del llenado de combustible al finalizar la prueba (\$)	Galones de combustible consumidos (<i>gal</i>)	Litros de combustible consumidos (<i>l</i>)	Kilómetros por galón (<i>Km/gal</i>)	Kilómetros por litro (<i>Km/l</i>)
98,88	4,00	2,105	7,968	46,968	12,409
Variación en porcentaje					
1,29%	4,75%	4,75%	4,75%	5,98%	5,98%



CONCLUSIONES

- Se fundamentó teóricamente la utilización de la tecnología de la limpieza no invasiva en los motores de combustión interna mediante la utilización de referencias bibliográficas confiables, las cuales ayudaron a determinar la factibilidad del proceso de limpieza por oxihidrógeno y de este modo poder recuperar la eficiencia perdida en el motor de combustión interna.
- Al estudiar los métodos de descarbonización no invasivo en los motores de combustión interna de ciclo diésel y gasolina, se pudo entender que la utilización de una técnica de limpieza por oxihidrógeno, en comparación con otros métodos nos permite tener una reducción en el tiempo de ejecución y gastos realizados, obteniendo un buen resultado después de su ejecución.
- La acumulación de la carbonilla en un motor de combustión interna se da por la combustión incompleta de la mezcla de la combustión, la baja calidad del combustible y debido a la separación térmica de los hidrocarburos, inclusive en el momento cuando existe una excesiva cantidad de oxígeno.



- Se aplicó y se desarrolló un método de descarbonización para los motores de combustión interna basados en un equipo industrializado al cual se lo ajusto en base al prototipo diseñado que se lo describe en el trabajo de investigación teniendo en consideración un tiempo de ejecución de 20 min a una temperatura optima de funcionamiento del motor aproximadamente entre los 87°C y el caudal esta de inyección de oxhidrógeno “HHO” está determinado para una cilindra que va desde los 800 hasta 3500 centímetros cúbicos tanto para motores con ciclo Otto y Diésel.
- El diseño y la construcción del prototipo de descarbonización se apoyó con la utilización de simuladores para las partes, eléctricas, electrónicas, hidráulica y neumáticas. Además de software para el desarrollo de un programa en beneficio del control de los parámetros de ejecución de la prueba. De la misma forma herramientas computacionales CAD, permitiendo obtener parámetros de funcionamientos apropiados para el prototipo y unas características estructurales lógicas y dinámicas en su fabricación.
- Al utilizar oxihidrógeno que es una mezcla de hidrogeno atómico y oxigeno atómico, la cual se la determino mediante los parámetros de cilindra de un vehículo basado en las propiedades del equipo industrializado llevándolos a una escala adecuada de funcionamiento del prototipo realizado.



- Al introducir el fluido de oxihidrógeno de una forma externa en el sistema de admisión en los vehículos de ensayo se obtuvo la quema y la eliminación controlada de los residuos internos y de la carbonilla interna que se encontraba alojada en los componentes internos de la maquina térmica pudiéndose visualizar al final de proceso de la descarbonización en pequeñas gotas de agua con residuos de carbonilla que salían por el sistema de escape de los automóviles involucrados en la investigación.
- Al analizar la incidencia en el rendimiento del motor de combustión después del método de descarbonización no invasivo se pudo denotar una mejoría en los sistemas eléctricos, electrónicos como mecánicos que se pudo observar en las pruebas realizadas a los tres vehículos de ensayo a excepción del vehículo de ensayo 3 que tuvo un retroceso en la prueba de fugas, pero manteniéndose en un estado moderado detallados en el trabajo de investigación.
- Al ejecutar el ensayo de Torque – Potencia en comparación con el antes y después se puede notar en el vehículo de ensayo 1 un aumento de la potencia de 114,9 a 115,9 HP, pero produciendo un incremento de las RPM donde se produjeron de 6600 a las 7000 y en el caso del torque se disminuyó de 11,6 a 10,8 Kg.m manteniendo las 3000 revoluciones por minutos. En el vehículo de ensayo 2 se observó una reducción de 45 a 44 HP, con una reducción en el régimen de giro de 4000 a 3800, el torque presenta un decrecimiento de 9,5 a 8,9 Kg.m en regímenes de giro de 2600 a 3000 respectivamente. Y por último en el vehículo de ensayo se mantuvo con 72 HP con una variación de RPM de 3800 a 4000 y en el torque hubo una pérdida de 0,7 kg.m en el mismo régimen de revoluciones de 2600.



- En el consumo de combustible se puede observar una mejora en el rendimiento en los kilómetros recorridos entre 0,6 a 1,8 Km, en los kilómetros por litros de 0,6 hasta 1,8 y en kilómetros por galón de 2,27 hasta 6,81 establecidos en los diferentes recorridos realizados en el caso de los vehículos de ensayo 1 y 2. En el Vehículo de ensayo 3 se nota una mejoría de 0,789 Km/lt y 2,986 Km/gal en el recorrido realizado. Además, se realizó proyecciones gráficas para recorridos de uno, cinco y diez años especificados en la investigación.
- En el caso del vehículo de ensayo 1 se nota una reducción en la señal del secundario (KV), tiempo de quemado (ms) y de rampa (ms) en 0,65, 0,20 y 0,20 respectivamente notándose una mejora en el tiempo de quemado llegando una mejora en tiempo de quemado aproximándose a los valores de 1 a 1,7 ms óptimos de funcionamiento de igual manera sucede en el vehículo de ensayo 2. En los oscilogramas de los dos vehículos se puede notar una manera más eficaz dándonos como resultado que la chispa del secundario se realice en una menor cantidad de tiempo.
- Los resultados obtenidos en los diferentes parámetros medidos variaron dependiendo del estado en el que se encontraba los automóviles de ensayo antes del proceso de descarbonización pudiéndose visualizar esto en la recuperación de la compresión del vehículo de ensayo 3 que es un auto de cooperativa mientras que los otros dos vehículos de ensayo son de uso personal y su variación de compresión fue menor.



- En las emisiones contaminantes en comparación con la normativa NTE INEN 2204 en los casos de los vehículos de ensayo 1 y 2 a gasolina con parámetros de HC y CO de valor máximo permitido es de 200 y 750 (ppm) y de 1 a 4,5 (%) respectivamente de cada uno de los vehículos después de la realización de la limpieza en algunos puntos de medición se incrementaron los vehículos no pasaron de los valores permitidos siendo los valores más elevados de 51 y 56 (HC) ppm y de 0,03 CO (%) en ambos casos. Y en el caso del vehículo de ensayo 3 se redujo los óxidos de nitrógeno (NOx) variaron su promedio en las pruebas de 616, 67 a 43,50 (ppm Vol.) teniendo un porcentaje de reducción del 92,95%.



RECOMENDACIONES

- Se aconseja la continuación del análisis de la descarbonización de vehículos con un método de limpieza no invasivo por medio de la descomposición del agua por electrolisis en los motores de combustión interna debido a que son tecnologías innovadoras que buscan contribuir en la reducción de emisiones contaminantes y mejorar la eficiencia de los motores.
- Se sugiere la implementación del método de limpieza no invasivo por oxihidrógeno en los planes de mantenimientos preventivos en los motores de combustión interna cada 40.000 o 50.000 Km.
- Cada vez que se emplee el funcionamiento del equipo realizando para una limpieza por oxihidrógeno el vehículo debe estar a una temperatura optima de funcionamiento entre 80 a 90 0 C. Además, se tiene que realizar la limpieza del generador de hidrogeno. Después de ejecutar el proceso.
- En el desarrollo de la limpieza tener cuidado con el generador de hidrogeno debido que se puede acumular en la toma de aire del motor si una persona está fumando o usa una llama abierta cerca de él puede llegar a producir un incendio.



- Al momento de iniciar las pruebas de opacidad como las de emisiones contaminantes, se aconseja realizar la respectiva calibración del equipo de medición para obtener datos que sean confiables en cada una de las pruebas realizadas, además de ayudar a preservar la duración de las máquinas. También se debe verificar el buen estado de sus componentes y la correcta manipulación del mismo.
- Al aplicar herramientas CAD se tiene que asegurar que sean las adecuadas en el proceso de diseño del prototipo de descarbonización, de igual manera para la simulación de los sistemas eléctrico, electrónicos, neumáticos e hidráulicos del sistema y teniendo en consideración un software de progresión que sea de fácil de adquirir y se ajuste a los requerimientos deseados.
- Para la realización de las mediciones y pruebas realizadas en los vehículos a los que se les haya hecho un proceso de limpieza por este método es aconsejable esperar que la carbonilla se disuelva completamente de las paredes de la cámara de combustión para obtener resultados más exactos del procedimiento.



“Cuando todo parezca estar en tu contra, recuerda que los aviones se elevan contra el viento, no con el viento”

Henry Ford



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA