



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y TÉRMICO DEL MOTOR DIÉSEL AL
IMPLEMENTAR UN SISTEMA GENERADOR DE HIDRÓGENO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE
COMBUSTIÓN**

AUTORES: DARIO XAVIER BORJA SOTO

JHON DANIEL JARA MARTÍNEZ

DIRECTOR: ING. ALEX CEVALLOS

LATACUNGA JULIO 2017



ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

- Según Biplab, Ujjwal, & Sahoo,(2014), la dependencia de los combustibles fósiles, a provocado la disminución de las reservas de petróleo y el daño producido al medio ambiente por lo cual aparece la necesidad de explorar otras opciones para encontrar alternativas factibles y positivas para reemplazar los combustibles fósiles de una manera parcial o en su totalidad.
- El uso del hidrógeno (H_2) como combustible alternativo es atractivo ya que es: no tóxico, no carbonífera y posee gran potencial, además es un gas incoloro que no causa ningún impacto ambiental o de salud directo. Según Kumar & Senthil, (2015), comenta que el hidrógeno puede ser comercialmente formado por diferentes procesos como la electrólisis del agua.



- El mezclar hidrógeno con el diésel como combustible resuelve indirectamente el problema de contaminación ocasionado por el uso del diésel en motores (CI), ya que la auto-ignición del diésel puede actuar como un piloto para combustionar el hidrógeno. Según Talibi, Hellier, Balachandran, & Ladommatos, (2014), el hidrógeno requiere una cantidad muy baja de energía para encender pero tiene tasas de propagación de llama alta dentro del cilindro del motor, incluso en condiciones de mezcla pobre.
- Según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador la marca Chevrolet se ubica en el primer lugar de vehículos más vendidos en los últimos cinco años, para el año 2015 su participación a nivel nacional es del 49,52%, camionetas (19,2%). El modelo Dmax CRDI 3.0 4X4 ocupa el primer lugar de camionetas más vendidas en el 2015 con 2679 unidades, modelo en la cual se realizó la implementación e investigación mencionada



JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

- El Buen Vivir es la forma de vida, la tecnología y la innovación para la ayuda al bienestar de todos, utilizando nuevos métodos para la minimización de los agentes contaminantes del medio ambiente, las emisiones vehiculares no controladas son la fuente principal de contaminación del aire en las áreas urbanas, añadiéndole las tendencias de crecimiento del parque automotor por tal motivo es esencial la búsqueda de nuevos combustibles o mecanismos que ayuden a mitigar estos problemas de contaminación.
- En el objetivo 2 inciso 7 “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global” por tal motivo es esencial buscar alternativas que ayuden a disminuir estos riesgos.

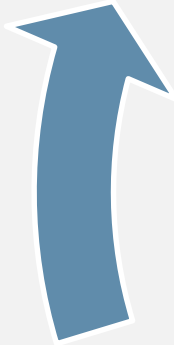


- Programa de Gobierno 2013-2017, en el apartado Revolución Ecológica, plantea como prioridad la inserción de tecnologías ambientales limpias, así como la prevención, el control y la mitigación de la contaminación, ayuda al medio ambiente limitando la contaminación con tecnologías que ayuden a disminuir las emisiones contaminantes provocadas por los motores diésel.
- En el balance energético emitido en el 2015 menciona que el combustible diésel es el principal combustible que se demanda en el país (1507 millones de galones en 2014). Siendo el transporte el principal consumidor de este con un 65% o 1225 millones de galones., convirtiéndose así en el de mayor utilización en el transporte con un 45% a comparación del otro combustible comercial gasolina con un 41%.



Objeto de estudio

- Producción de hidrógeno a partir de la electrólisis del agua



Campo de acción

- Influencia del hidrógeno como combustible complementario en el motor de combustión interna



Objetivo general

- Investigar el comportamiento mecánico y térmico del motor diésel al implementar un sistema generador de hidrógeno para optimizar el proceso de combustión.

Problema

- La contaminación que se produce a partir del uso inevitable de combustibles fósiles



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información confiable para conseguir una base teórica firme para fundamentar la investigación como son artículos científicos, tesis, libros, manuales, normas y fichas técnicas.
- Fundamentar los requerimientos técnicos del sistema generador de hidrógeno necesarios para aprovechar su total funcionamiento.
- Seleccionar el generador de hidrógeno que tenga una producción óptima que satisfaga los parámetros de la investigación.



- Implementar el equipo encargado de la obtención de hidrógeno en el vehículo Chevrolet Dmax CRDI 3.0 L 4x4.
- Controlar el paso de hidrógeno en proporciones de 25%, 50%, 75% y 100% de la producción total del generador mediante un circuito eléctrico regulador de amperaje PWM HHO RC -10000137.
- Realizar las pruebas mecánicas y térmicas en el vehículo con su sistema de alimentación estándar y adicionado hidrógeno.
- Tabular los datos obtenidos, para elaborar un registro de las variaciones en manera porcentual de emisiones de gases y de los parámetros característicos en el motor diésel de la camioneta Dmax 3.0 L 4x4.



HIPÓTESIS

- ¿El uso de hidrógeno ingresado en el depurador en diferentes proporciones de 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad total del generador de hidrógeno HE4-3500, para el trabajo del motor diésel permitirá la reducción de opacidad de la camioneta Dmax CRDI?
- ¿La adición de hidrógeno por el múltiple de admisión del motor diésel de la camioneta Dmax CRDI en diferentes proporciones (25% 50% 75% 100% de la capacidad del generador de hidrógeno HE4-3500) nos favorecerá en los parámetros característicos del motor como son torque y potencia con un aumento de 2% al 3%, y un 18% de ahorro de combustible?



REFERENTES TEÓRICOS

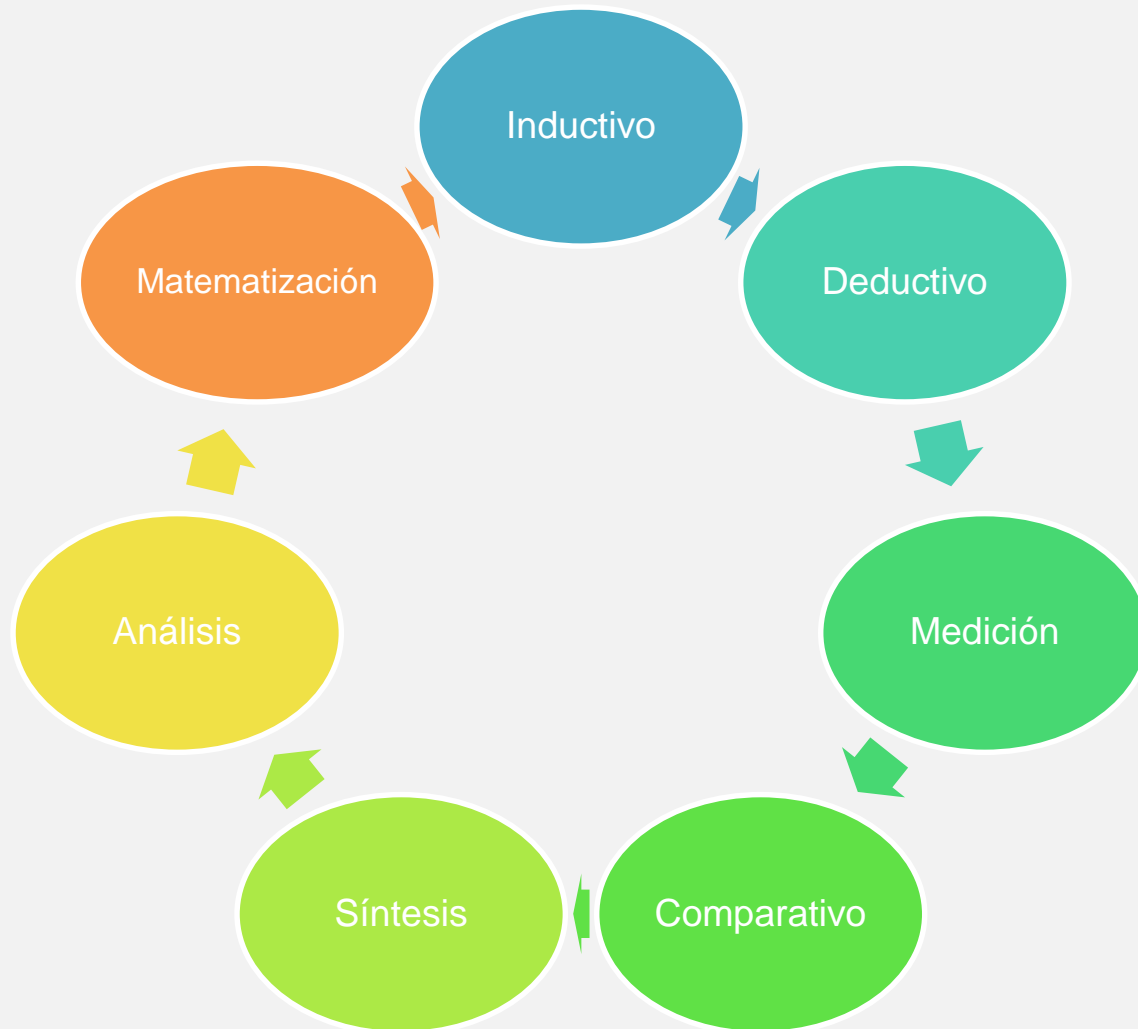
El vehículo con motor diésel es un producto contaminante durante todo su ciclo. El objetivo para la viabilidad del automóvil en el entorno ecológico actual es hacerlo amigable con el medio ambiente (Biplab, Ujjwal, & Sahoo, 2014). Una posibilidad para reducir la contaminación es utilizar un combustible secundario para trabajar de una forma dual diésel-hidrógeno lo cual eliminará al menos la mitad de la actual contaminación atmosférica además que el hidrógeno obtenido por la electrólisis convencional llega a ser más barato que el combustible convencional en términos general dependiendo del precio actual del petróleo (Eduard, 2005).

El uso del hidrógeno como combustible alternativo es atractivo ya que posee muchas ventajas siendo no tóxico, no carbonífera y posee gran potencial. Además que el hidrógeno es un gas incoloro que no causa ningún impacto ambiental o de salud directo (Kumar, & Senthil, 2015).

Además el hidrógeno posee propiedades únicas de combustión lo cual hacen que sea ideal para los motores de encendido por compresión (CI) debido a que mediante la auto-ignición del diésel puede actuar como un piloto para combustionar el hidrógeno (Loganathan, 2015). Teniendo en cuenta que el hidrógeno requiere una cantidad muy baja de energía para encender pero tiene tasas de propagación de llama alta dentro del cilindro del motor.



METODOLOGÍA DE DESARROLLO



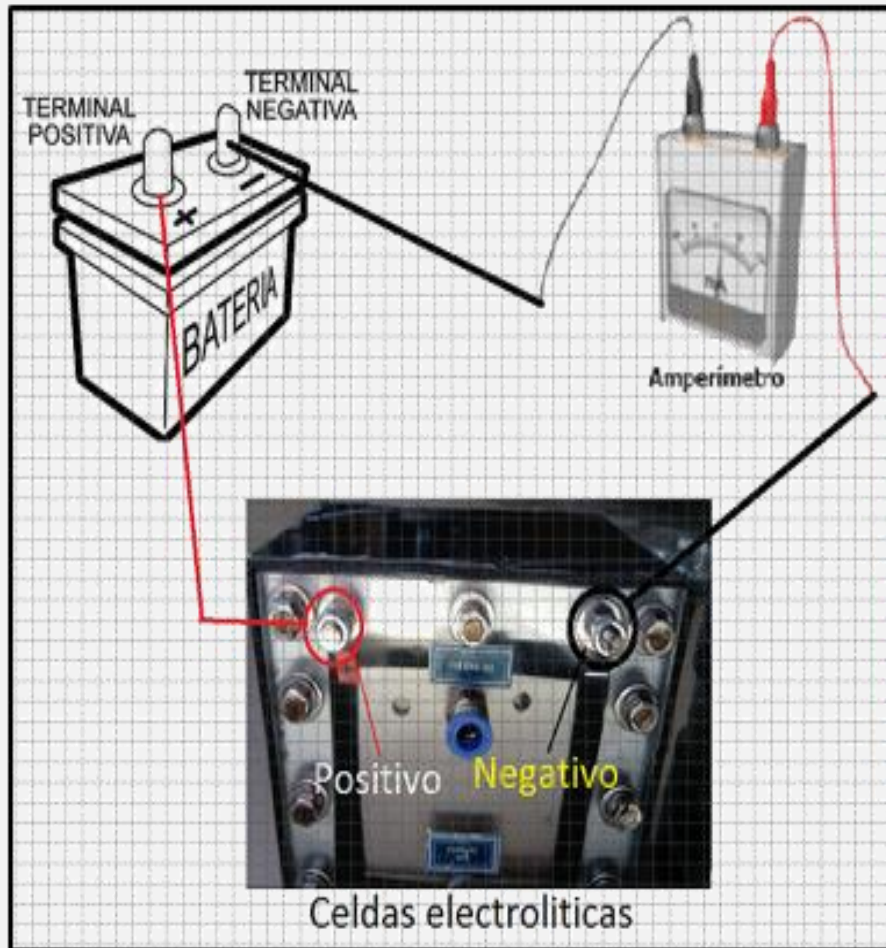
REQUERIMIENTOS PARA LA GENERACIÓN DE HIDRÓGENO



Requerimiento		Cantidad necesaria
Caudal (litros/min)		$Q=4$
Amperaje (Amperios)		$17=a \leq 20$
Voltaje (Voltaje)		$12=V \leq 14$
Número de placas de acero inoxidable 36L	Placas ánodo-cátodo	8
	Placas neutras	23
Dimensiones de las placas	Placas ánodo-cátodo	Ancho= 10,5 cm
		Largo= 11,5 cm
	Placas neutras	Espesor = 0,1 cm
		Ancho - largo= 11cm
		Espesor= 0,1 cm
Electrolito K(OH)		---



MEDICIÓN DE CORRIENTE CONSUMIDA POR EL GENERADOR



CÁLCULO DE LA MASA PRODUCIDA DE HIDRÓGENO

- Ley de Faraday

$$m = \frac{I * t * M}{F * n}$$

$$m = \frac{19,56 \text{ A} * 60 \text{ s} * 1,00794 \text{ g/mol}}{96500 \text{ C mol}^{-1} * 1}$$

$$m = 0,012258 \text{ g}$$



CÁLCULO DEL CAUDAL DE HIDRÓGENO

$$Q_{H_2} = \frac{m * np}{DH * t}$$

$$Q_{H_2} = \frac{0,01258 \text{ g} * 31}{0,0000838 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 1 \text{ min}}$$

$$Q_{H_2} = 4534,664 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} * \frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ cm}^3}$$

$$Q_{H_2} = 4,535 \text{ lt/min}$$



CAUDALES CALCULADOS

Detalle	Caudal calculado de hidrógeno	Caudal aproximado de hidrógeno
Amperaje consumido total “100%” del generador de hidrógeno	4,54 lt/min	4 lt/min
Amperaje al 75% del generador de hidrógeno	3,4 lt/min	3 lt/min
Amperaje al 50% del generador de hidrógeno	2,3 lt/min	2 lt/min
Amperaje al 25% del generador de hidrógeno	1,1 lt/min	1 lt/min



DESCRIPCIÓN DE LOS AMPERAJES CALCULADOS

Detalle	Amperaje obtenido	Amperaje aproximado
Caudal producido del generador de hidrógeno “100%”	19,56 Amperios	20 Amperios
Caudal producido del generador de hidrógeno “75%”	14,67 Amperios	15 Amperios
Caudal producido del generador de hidrógeno “50%”	9,78 Amperios	10 Amperios
Caudal producido del generador de hidrógeno “25%”	4,89 Amperios	5 Amperios



CÁLCULO DE LA CONDUCTIVIDAD DEL ELECTROLITO

At = Área de placas ánodo – cátodo + Área de placas neutras

$$At = ((10 \text{ cm} * 11,5 \text{ cm}) * 8 + (11 \text{ cm} * 11 \text{ cm})) * 23$$

$$At = 3703 \text{ cm}^2$$

$$C = \frac{Ie * e}{V * At}$$

$$C = \frac{9A * 0,1 \text{ cm}}{7,7 V * 3703 \text{ cm}^2}$$

$$C = 3,156 * 10^{-5} \text{ Siemens/cm}$$



IMPLEMENTACIÓN DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO

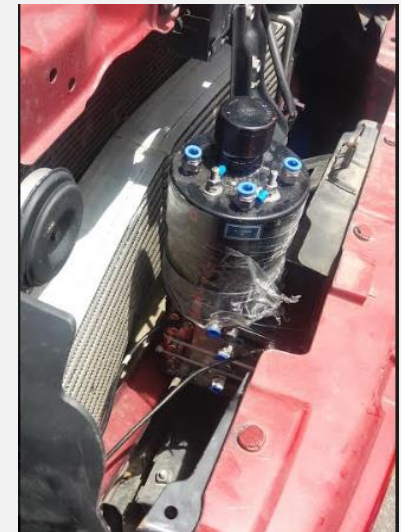
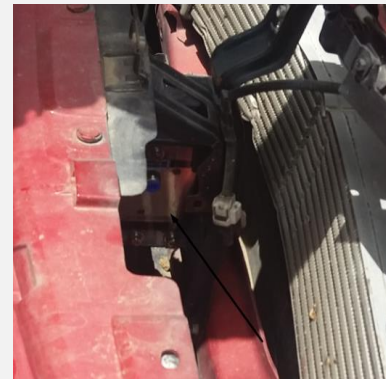


SEGURIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN

- Revisar elementos del generador de hidrógeno que no tengan ningún daño visual o avería.
- Comprobar que todas las manguera, acoples y racores estén en buen estado y no tengan ninguna fuga.
- Inspeccionar el sistema eléctrico.



IMPLEMENTACIÓN GENERADOR DE HIDRÓGENO

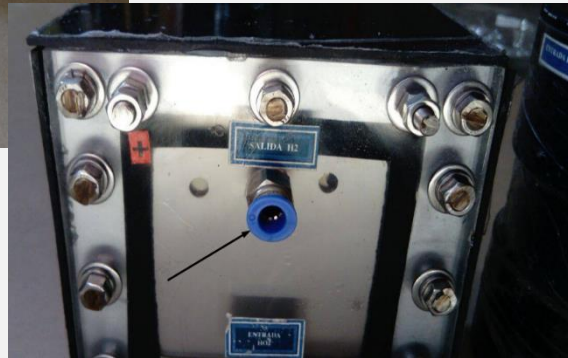


CONEXIONES DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO



Entrada H₂O

Entrada H₂

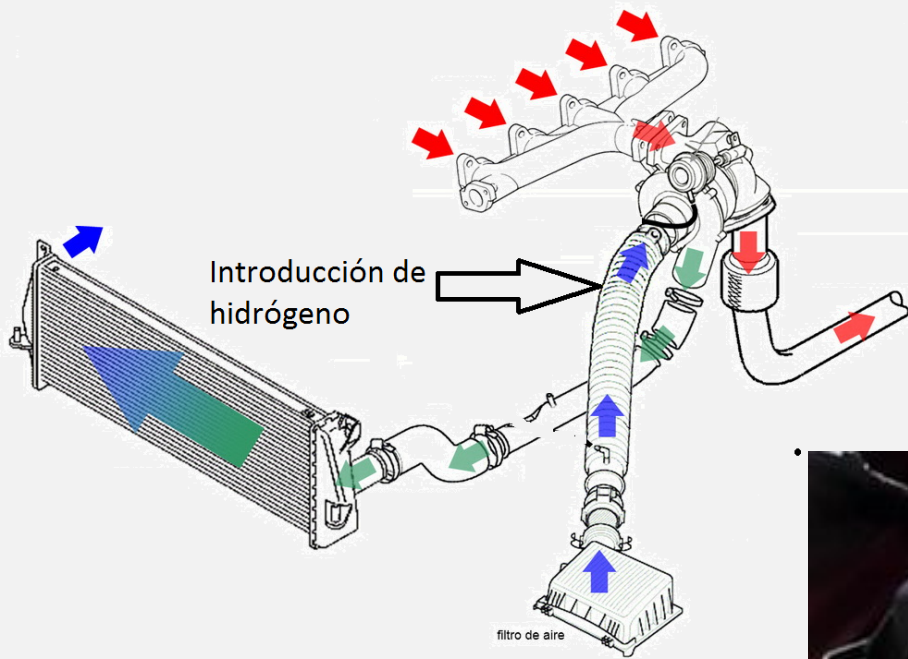




← Salida O₂

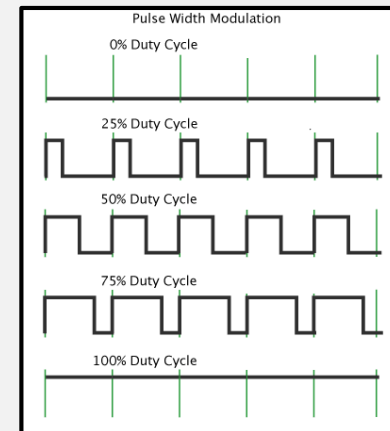
Hidrógeno al motor

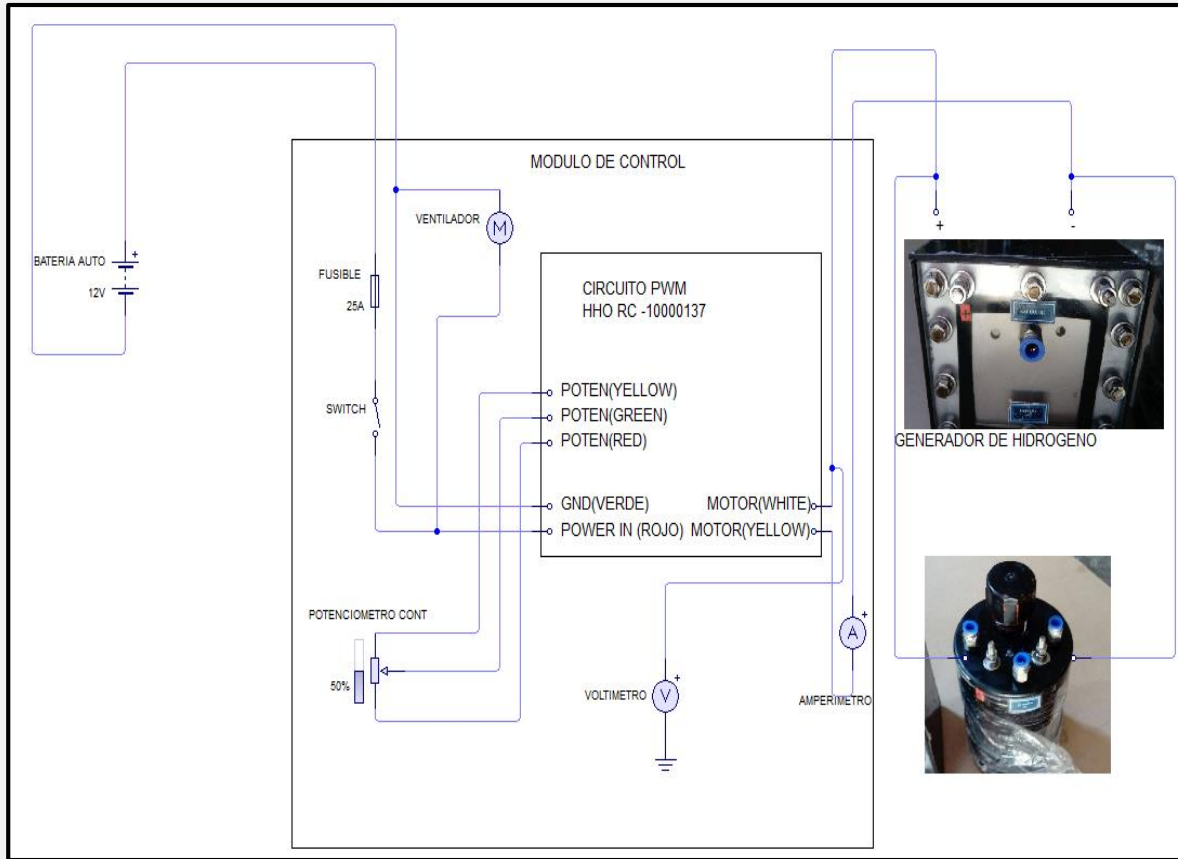




CONEXIÓN ELÉCTRICA DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO

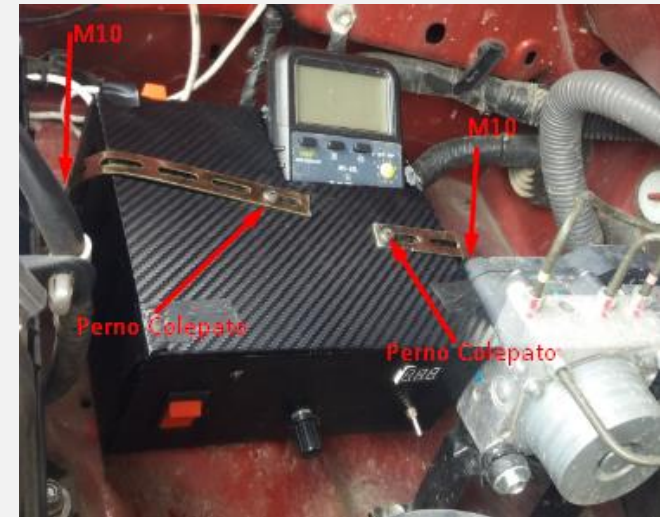
PWM o Pulse Width Modulation
HHO RC -10000137





← Circuito eléctrico

Ubicación módulo de control



PREPARACIÓN DEL AGUA CON ELECTROLITO



MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

- El motor y el generador de hidrógeno deben estar apagados.
- La medida ideal es el 75% de la capacidad total del depósito.
- Mantenimiento externo del generador de hidrógeno, retirar en su totalidad el fluido del sistema.



- En el mantenimiento de las conexiones eléctricas es necesario apagar el sistema de generación de hidrógeno así como el motor.
- Para la verificación de fugas de hidrógeno que pudiera tener el sistema se cubre las mangueras con una solución jabonosa.
- La limpieza de las placas del generador de hidrógeno, y del depósito se debe desconectar una de la otra, y se debe colocar 500ml de agua de agua destilada



GENERACIÓN DE HIDRÓGENO

25% DE HIDRÓGENO



50% DE HIDRÓGENO



75% DE HIDRÓGENO



100% DE HIDRÓGENO

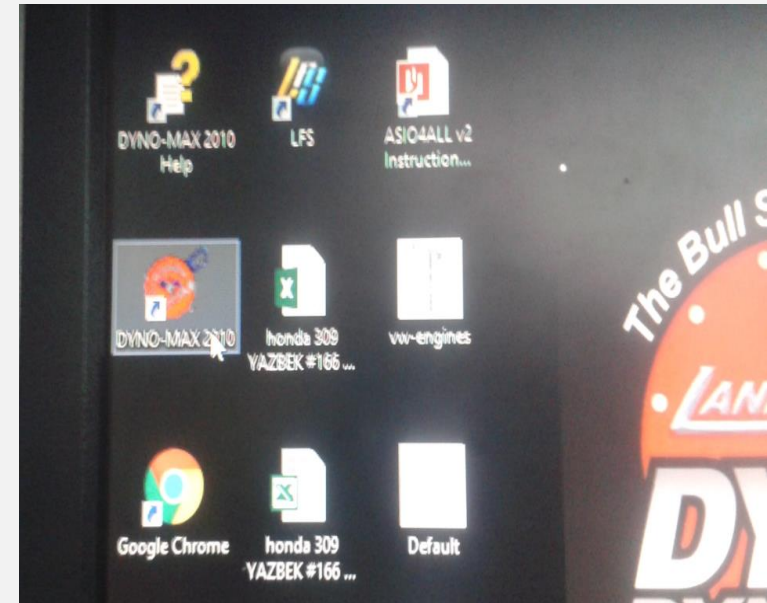


EQUIPOS DE MEDICIÓN



DINAMÓMETRO DYNOMITE 4400 2WD IO CHASSIS DYNO





Filename: C:\Program Files (x86)\DYNO-MAX\Runs\Dinamyca Competicion\Dario Borja #1372 on 2017-04-03 @ 16-02-56.rur

Test Run: Dario Borja #1372 on 2017-04-03 @ 16-02-56 # 1372 Date: 4/3/2017
By: Alvaro Espinosa Time: 4:02 PM
Name: Dario Borja Import (Run Template) Engine's Test Hours: 19513.5
Vehicle: Chevrolet Luv Dmax Export Run Setup As... #1- Four Stroke Otto

Engine Weather Inertia Vehicle Fuel Ignition Heads Induction Exhaust Valves Miscellaneous Dyno

Show on Run Information Report Show on Quick Print Report

Use Weather Station Enter Weather Information Manually

Psychrometer
Wet Bulb: 39 Degree F
Dry Bulb: 72.86 Degree F

Calculate Absolute Pressure
Altitude: 0 feet
Local Barometer: 29.92 in Hg
Enter Absolute From Local Pressure

Air Temperature: 22.7 Degree C 0.9961
Absolute Barometric Pressure: 71.5 kPa 1.3845
Relative Humidity: 41.8 % 1.0118
Vapor Pressure: 0.3441 in Hg
Relative Air Density: 68.425 %

Final Correction Factor: 1.3955 SAE Observed Standard SAE DIN JIS ECE J1995 Custom
Friction Compensation: 100 % Use Fixed ME %

Notes:

Dario Borja #1372 on 2017-04-03 @ 16-02-56

Filename: C:\Program Files (x86)\DYNO-MAX\Runs\Dinamyca Competicion\Dario Borja #1372 on 2017-04-03 @ 16-02-56.rur

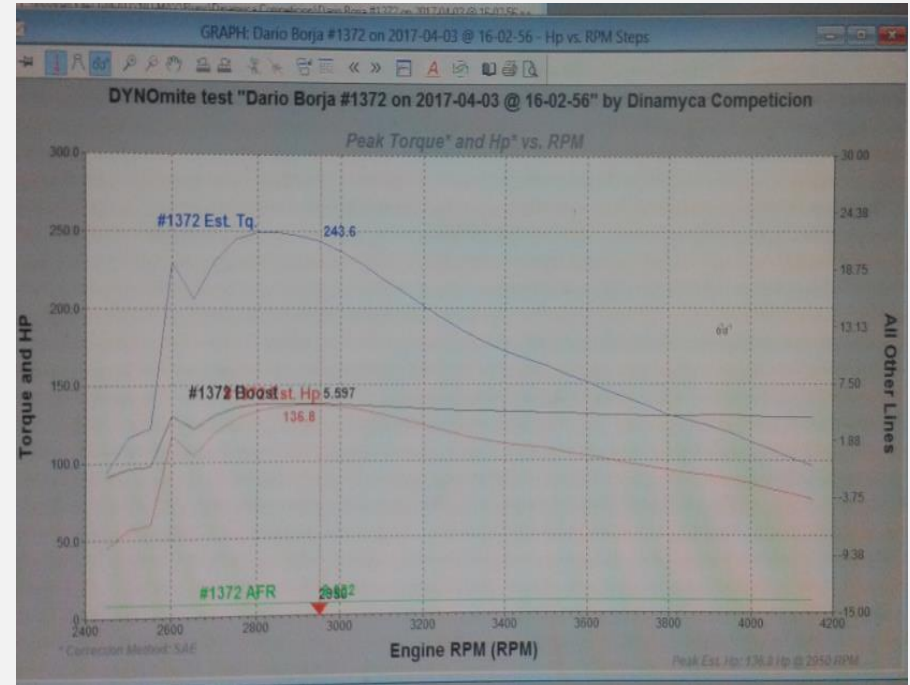
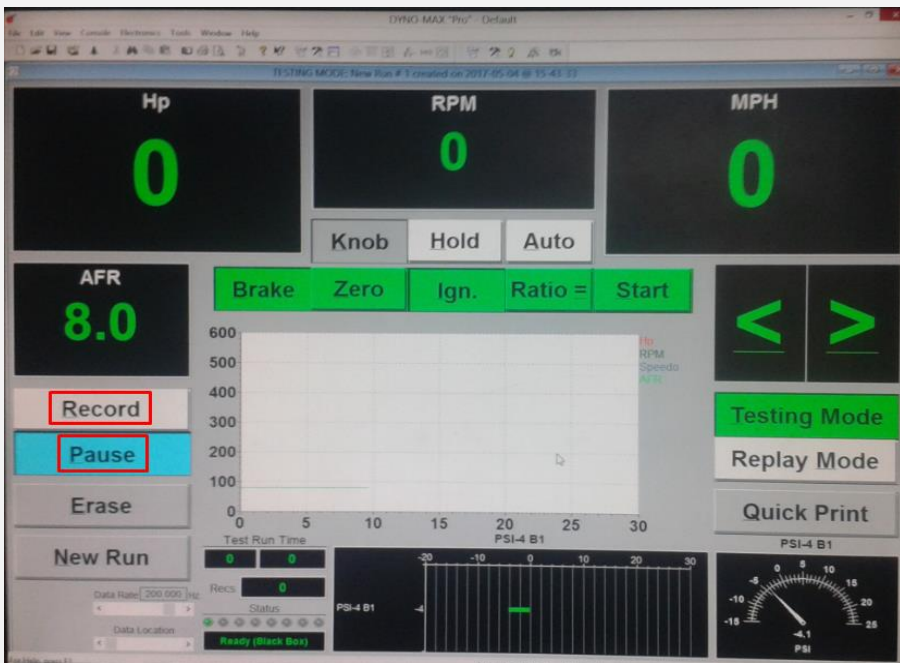
Test Run: Dario Borja #1372 on 2017-04-03 @ 16-02-56 # 1372 Date: 4/3/2017
By: Alvaro Espinosa Time: 4:02 PM
Name: Dario Borja Import (Run Template) Engine's Test Hours: 19513.5
Vehicle: Chevrolet Luv Dmax Export Run Setup As... #1- Four Stroke Otto

Engine Weather Inertia Vehicle Fuel Ignition Heads Induction Exhaust Valves Miscellaneous Dyno

Show on Run Information Report Show on Quick Print Report

Engine Make: Chevrolet Compression Ratio: 7.5 :1
Engine Model: 3.0 CRDI
Engine Serial Number: Number of Cylinders: 4
Description: Rod Length: 144.78 mm
Advertised Power: 163 Hp @ 3600 RPM Bore: 95.4 mm
Advertised Torque: 360 N-m @ 1800 RPM Stroke: 104.9 mm
Piston Description: Displacement: 2998.8 cc





ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE POTENCIA Y TORQUE

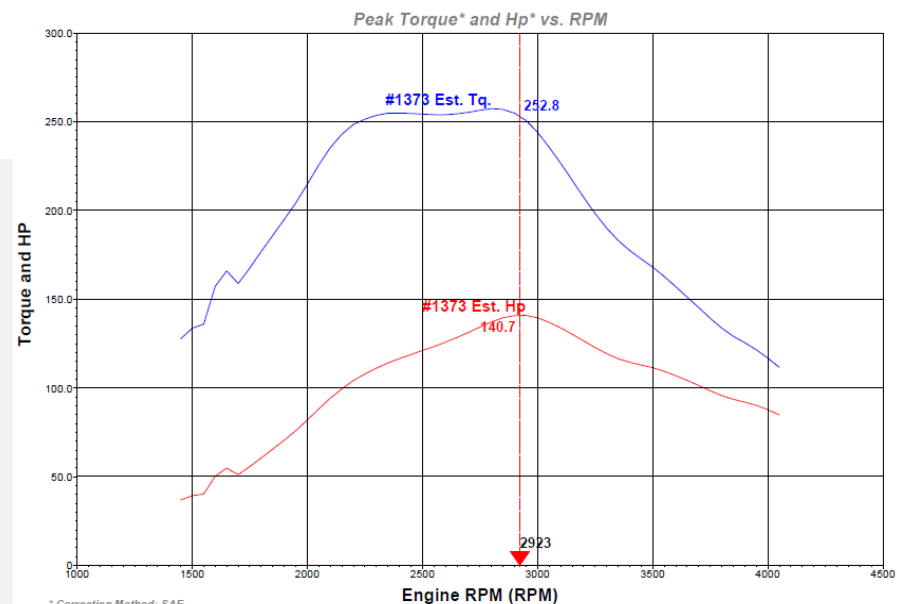
- Motor sin alterar las condiciones de inyección “Estándar” (STD)
- Motor con inyección del 25% de hidrógeno
- Motor con inyección del 50% de hidrógeno
- Motor con inyección del 75% de hidrógeno
- Motor con inyección del 100% de hidrógeno



RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1500	39.12	-3.160	8.032	133.5
1600	50.19	-1.931	8.032	157.1
1700	51.01	-1.853	8.032	158.8
1800	60.51	-0.782	8.032	176.8
1900	70.52	0.375	8.032	194.9
2000	81.72	1.695	8.032	214.6
2100	94.10	3.163	8.032	235.3
2200	104.1	4.436	8.032	248.3
2300	111.0	5.149	8.032	253.5
2400	116.4	5.363	8.032	254.8
2500	121.0	5.434	8.032	254.2
2600	125.7	5.471	8.032	253.9
2700	131.2	5.541	8.032	255.2
2800	137.1	5.699	8.032	257.2
2900	140.7	5.788	8.032	254.7
3000	139.4	5.672	8.032	244.0
3100	133.8	5.406	8.032	226.6
3200	126.4	5.156	8.032	207.4
3300	119.2	4.978	8.032	190.0
3400	114.4	4.846	8.032	177.4
3500	111.4	4.733	8.032	168.1
3600	106.8	4.561	8.032	157.0
3700	101.3	4.405	8.032	145.2
3800	95.57	4.422	8.032	133.6
3900	91.94	4.459	8.032	125.4
4000	87.67	4.345	8.032	116.7

Motor estándar (STD)

DYNOMite test "Dario Borja #1373 on 2017-04-03 @ 16-10-14" by Dinamyca Competicion



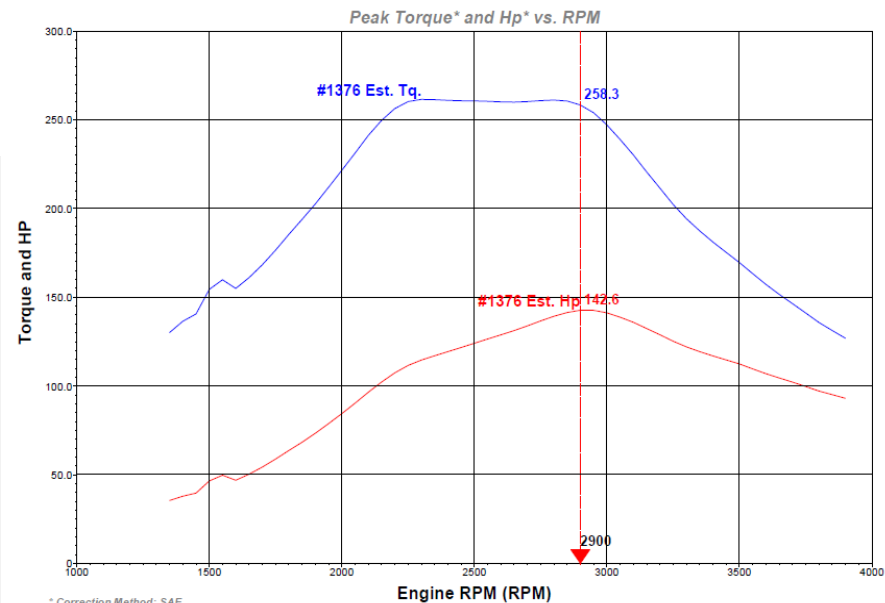
Peak Est. Hp: 140.7 Hp @ 2950 RPM



RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1400	37.77	-3.447	8.032	136.3
1500	46.34	-2.564	8.032	154.3
1600	46.78	-2.504	8.032	154.9
1700	54.24	-1.657	8.032	168.2
1800	63.51	-0.667	8.032	185.3
1900	73.24	0.436	8.032	202.5
2000	84.33	1.755	8.032	221.5
2100	96.39	3.182	8.032	241.0
2200	107.3	4.419	8.032	256.2
2300	114.5	5.155	8.032	261.4
2400	119.2	5.396	8.032	260.8
2500	124.0	5.465	8.032	260.5
2600	128.7	5.496	8.032	260.0
2700	133.8	5.578	8.032	260.2
2800	139.2	5.701	8.032	261.0
2900	142.6	5.710	8.032	258.3
3000	141.1	5.585	8.032	247.1
3100	135.8	5.363	8.032	230.0
3200	128.8	5.118	8.032	211.4
3300	122.0	4.915	8.032	194.2
3400	116.8	4.800	8.032	181.0
3500	112.3	4.727	8.032	169.5
3600	106.9	4.547	8.032	157.1
3700	102.1	4.386	8.032	146.3
3800	97.12	4.371	8.032	135.7
3900	92.99	4.442	8.032	126.8

Motor 25% de hidrógeno

DYNomite test "Dario Borja #1376 on 2017-04-03 @ 16-32-58" by Dinamyca Competicion



* Correction Method: SAE
Notes: hidrogeno

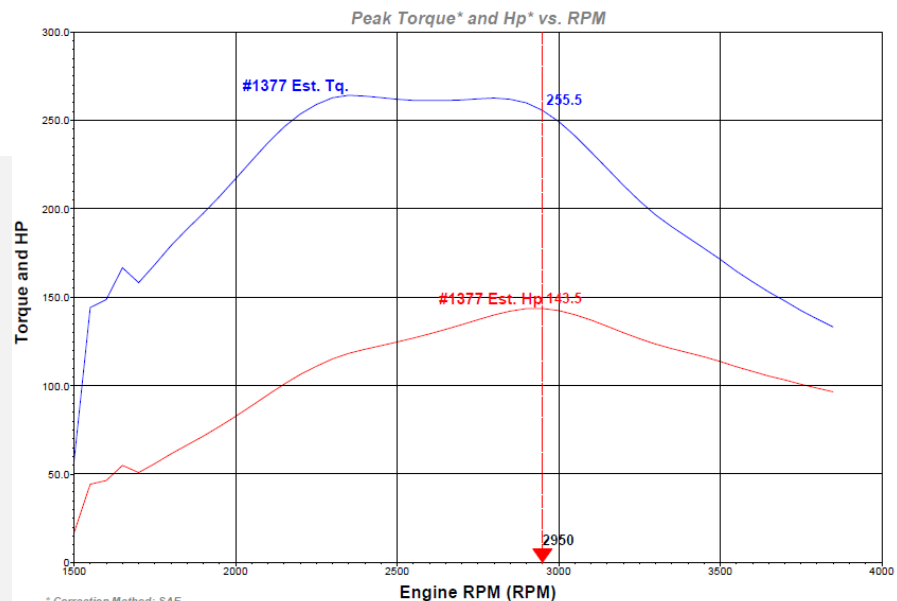
Peak Est. Hp: 142.6 Hp @ 2900 RPM



RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1500	16.86	-3.674	8.032	57.33
1600	46.32	-2.716	8.032	148.6
1700	50.80	-2.244	8.032	158.1
1800	61.37	-1.110	8.032	179.1
1900	71.37	0.029	8.032	197.3
2000	82.56	1.355	8.032	216.8
2100	94.78	2.833	8.032	237.1
2200	106.2	4.187	8.032	253.4
2300	115.0	5.012	8.032	262.7
2400	120.5	5.296	8.032	263.6
2500	124.6	5.369	8.032	261.8
2600	129.2	5.416	8.032	261.1
2700	134.4	5.500	8.032	261.4
2800	139.9	5.621	8.032	262.5
2900	143.4	5.652	8.032	259.8
3000	142.4	5.516	8.032	249.2
3100	137.0	5.255	8.032	232.1
3200	129.9	5.011	8.032	213.2
3300	123.4	4.843	8.032	196.5
3400	118.6	4.729	8.032	183.7
3500	113.6	4.632	8.032	171.3
3600	108.0	4.466	8.032	158.7
3700	103.2	4.308	8.032	147.8
3800	98.53	4.285	8.032	137.7

Motor 50% de hidrógeno

DYNomite test "Dario Borja #1377 on 2017-04-03 @ 16-37-19" by Dinamyca Competicion



* Correction Method: SAE
Notes: hidrogeno2

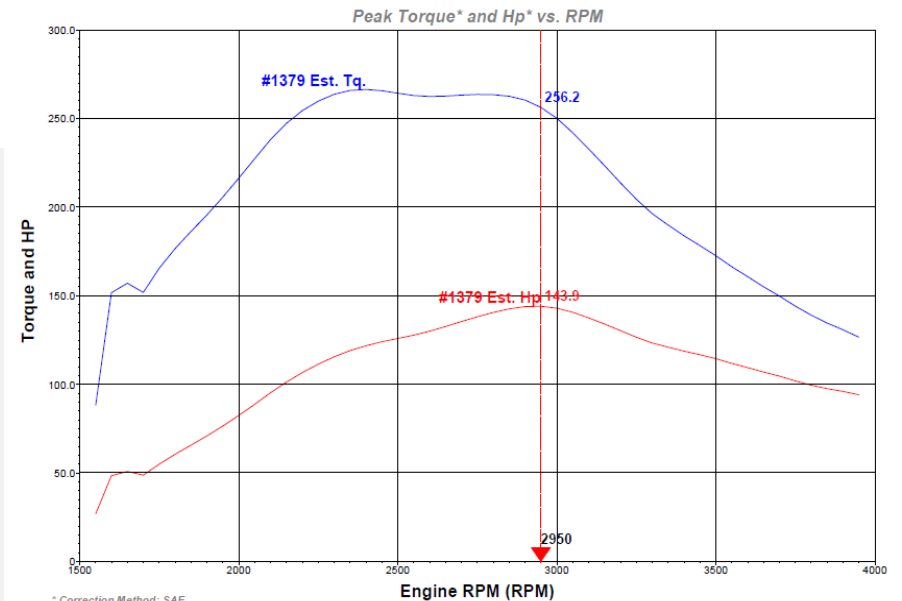
Peak Est. Hp: 143.5 Hp @ 2950 RPM



RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1600	48.30	-2.606	16.26	151.6
1700	48.63	-2.537	16.26	151.7
1800	60.46	-1.379	16.26	176.5
1900	70.71	-0.243	16.26	195.5
2000	82.34	1.055	16.26	216.3
2100	95.14	2.497	16.26	237.9
2200	106.5	3.813	16.26	254.4
2300	115.5	4.700	16.26	263.6
2400	121.7	5.044	16.26	266.3
2500	125.7	5.096	16.26	264.2
2600	129.9	5.108	16.26	262.4
2700	135.3	5.176	16.26	263.1
2800	140.4	5.324	16.26	263.4
2900	143.7	5.418	16.26	260.3
3000	142.8	5.295	16.26	250.0
3100	137.4	5.032	16.26	232.8
3200	130.2	4.821	16.26	213.6
3300	123.3	4.628	16.26	196.2
3400	118.6	4.441	16.26	183.7
3500	114.4	4.316	16.26	172.5
3600	109.4	4.169	16.26	160.7
3700	104.5	4.005	16.26	149.7
3800	99.45	3.965	16.25	138.9
3900	95.90	4.033	16.25	130.7

Motor 75% de hidrógeno

DYNomite test "Dario Borja #1379 on 2017-04-03 @ 16-45-50" by Dinamyca Competicion



* Correction Method: SAE
Notes: hidrogeno 4

Peak Est. Hp: 143.9 Hp @ 2950 RPM



DYNomite Test Run: [Dario Borja #1380 on 2017-04-03 @ 16-48-29](#)

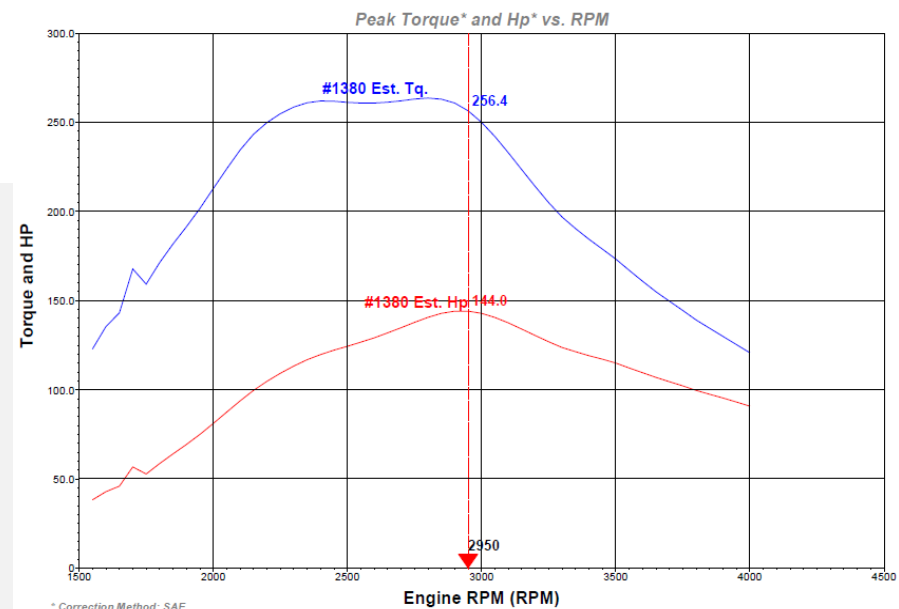
Date: [4/3/2017](#)

Correction Method: [SAE](#)

RPM (RPM)	Est. Hp (Hp)	Boost (PSI)	AFR (A/F)	Est. Tq. (ft-lb)
1600	42.71	-2.776	8.032	135.3
1700	56.60	-1.603	8.032	167.7
1800	58.49	-1.386	8.032	171.2
1900	69.19	-0.181	8.032	191.3
2000	81.03	1.138	8.032	212.8
2100	93.70	2.565	8.032	234.3
2200	104.7	3.862	8.032	249.8
2300	113.2	4.697	8.032	258.5
2400	119.7	5.013	8.032	261.9
2500	124.3	5.065	8.032	261.1
2600	129.1	5.081	8.032	260.7
2700	134.7	5.153	8.032	262.0
2800	140.5	5.301	8.032	263.5
2900	144.0	5.392	8.032	260.7
3000	142.8	5.280	8.032	249.9
3100	137.4	5.022	8.032	232.7
3200	130.4	4.808	8.032	213.9
3300	123.6	4.622	8.032	196.8
3400	119.0	4.443	8.032	184.3
3500	115.0	4.302	8.032	173.3
3600	109.5	4.149	8.032	160.8
3700	104.4	4.001	8.032	149.6
3800	99.55	3.946	8.032	139.0
3900	95.27	4.022	8.032	129.8
4000	90.68	3.910	8.032	120.6

Motor 100% de hidrógeno

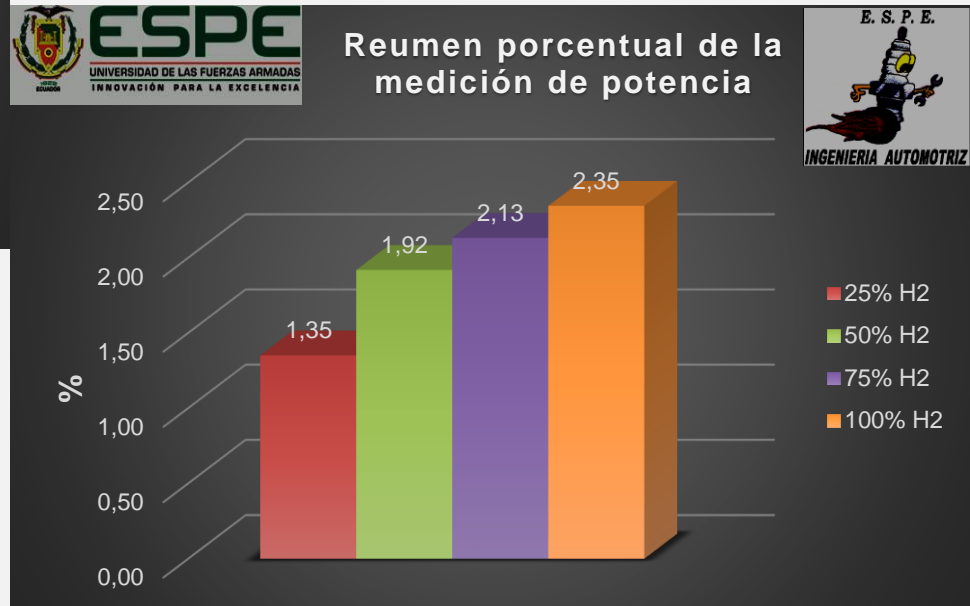
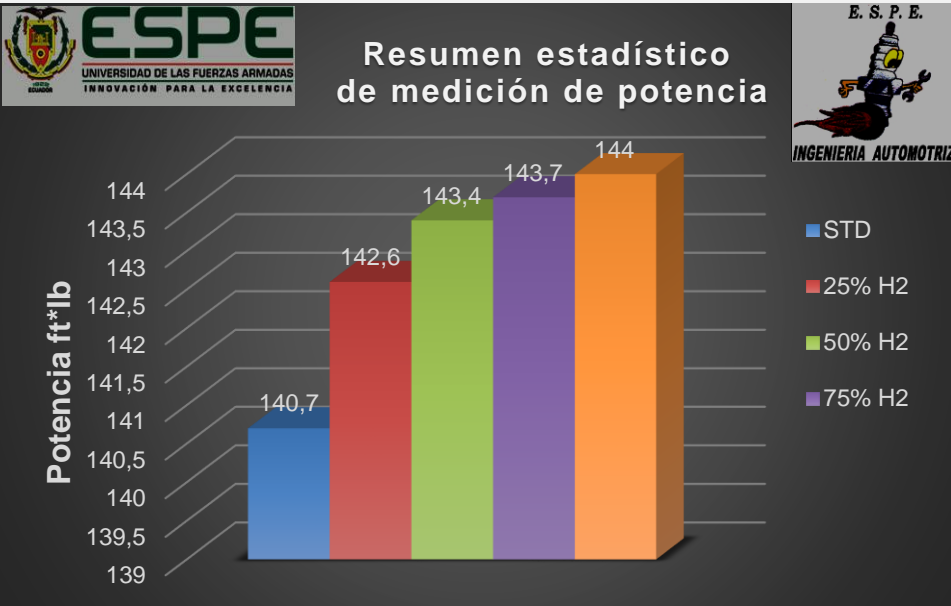
DYNomite test "Dario Borja #1380 on 2017-04-03 @ 16-48-29" by Dinamyca Competicion



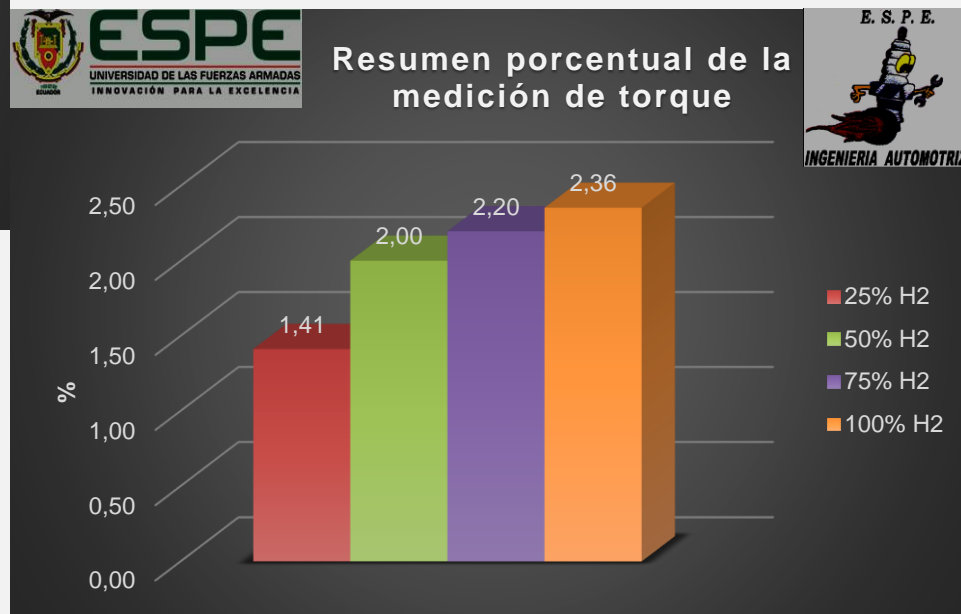
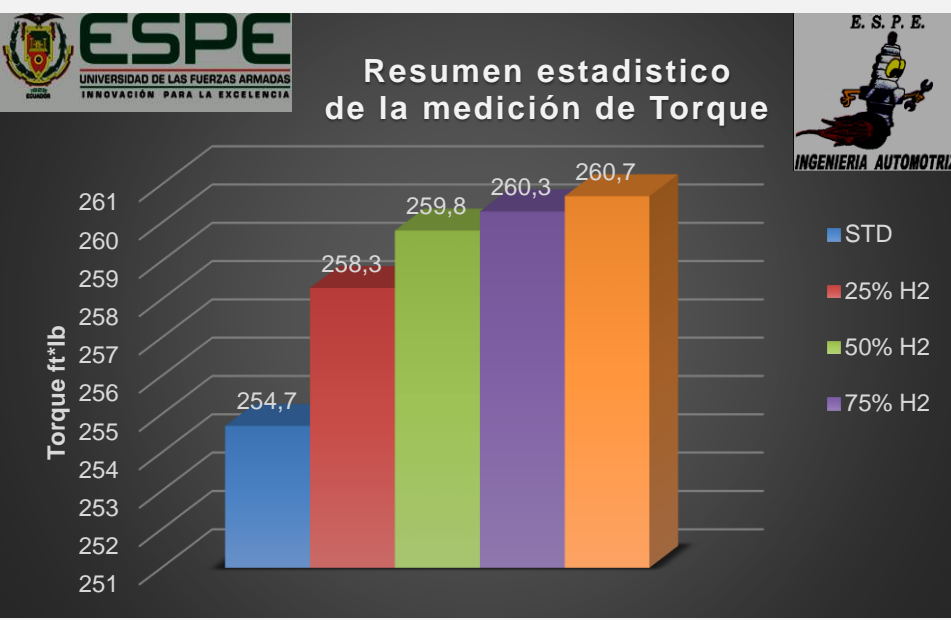
Peak Est. Hp: 144.0 Hp @ 2950 RPM



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE POTENCIA



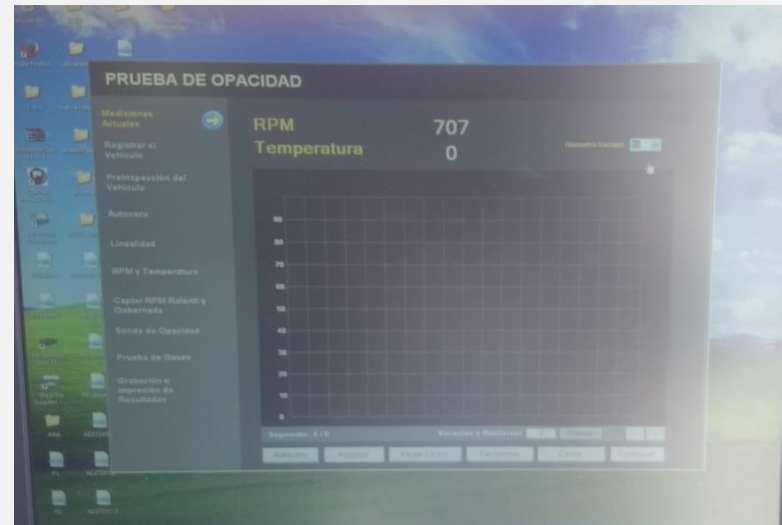
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE POTENCIA

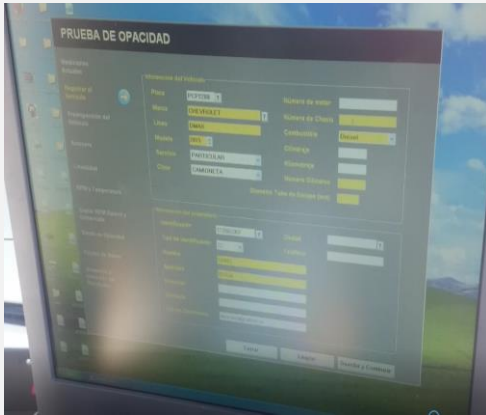


OPACÍMETRO CARTEK

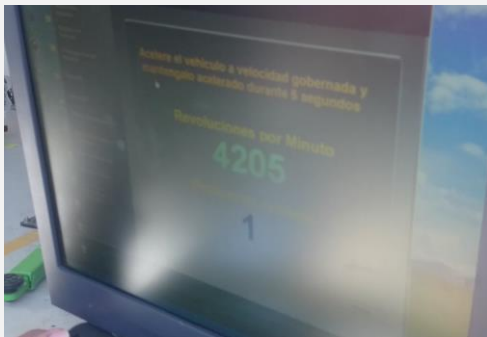


- Encender el equipo
- Ingresar la dimensión tubo de escape (51mm)





- Ingreso de datos del vehículo y usuario



- Calibración de ralentí y velocidad gobernada

Ingreso de la sonda en el tubo de escape





Inicio de la prueba

Informe



ESPE LATACUNGA Tel: 0000000		Email:
DATOS DEL CLIENTE NOMBRE: DARIO APELLIDO: BORJA IDENTIFICACION: 1725562969		DATOS DEL VEHICULO PLACA: POP2288 MODELO: 2015 MARCA: CHEVROLET LINEA: DMAX NUMERO DE MOTOR: VIN: 8LBETF3NXF0306977 DIAM. EXHOTO: 60.00
PRUEBA EN BAYO: 0.47 % PRUEBA 1: 0.04 % PRUEBA 2: 0.49 % PRUEBA 3: 0.83 % OPACIDAD: 0.45 %	DISPOSITIVO DE MEDICION 8181 RPM RALENTI 704 RPM RPM GOBERNADA 4260 RPM TEMPERATURA DE OPACIDAD 0 ° NORMA OPACIDAD LIMITE: 15.00 % MOTIVO:	
FECHA Y HORA DE LA PRUEBA 4/4/2017 15:52:47		
RESULTADO: APROBADA		
OPERARIO RESPONSABLE: _____ QUIROZ		
ESPE LATACUNGA Tel: 0000000		Email:
DATOS DEL CLIENTE NOMBRE: DARIO APELLIDO: BORJA IDENTIFICACION: 1725562969		DATOS DEL VEHICULO PLACA: POP2288 MODELO: 2015 MARCA: CHEVROLET LINEA: DMAX NUMERO DE MOTOR: VIN: 8LBETF3NXF0306977 DIAM. EXHOTO: 60.00
PRUEBA EN BAYO: 0.47 % PRUEBA 1: 0.04 % PRUEBA 2: 0.49 % PRUEBA 3: 0.83 % OPACIDAD: 0.45 %	DISPOSITIVO DE MEDICION 8181 RPM RALENTI 704 RPM RPM GOBERNADA 4260 RPM TEMPERATURA DE OPACIDAD 0 ° NORMA OPACIDAD LIMITE: 15.00 % MOTIVO:	
FECHA Y HORA DE LA PRUEBA 4/4/2017 15:52:47		
RESULTADO: APROBADA		
OPERARIO RESPONSABLE: _____ QUIROZ		

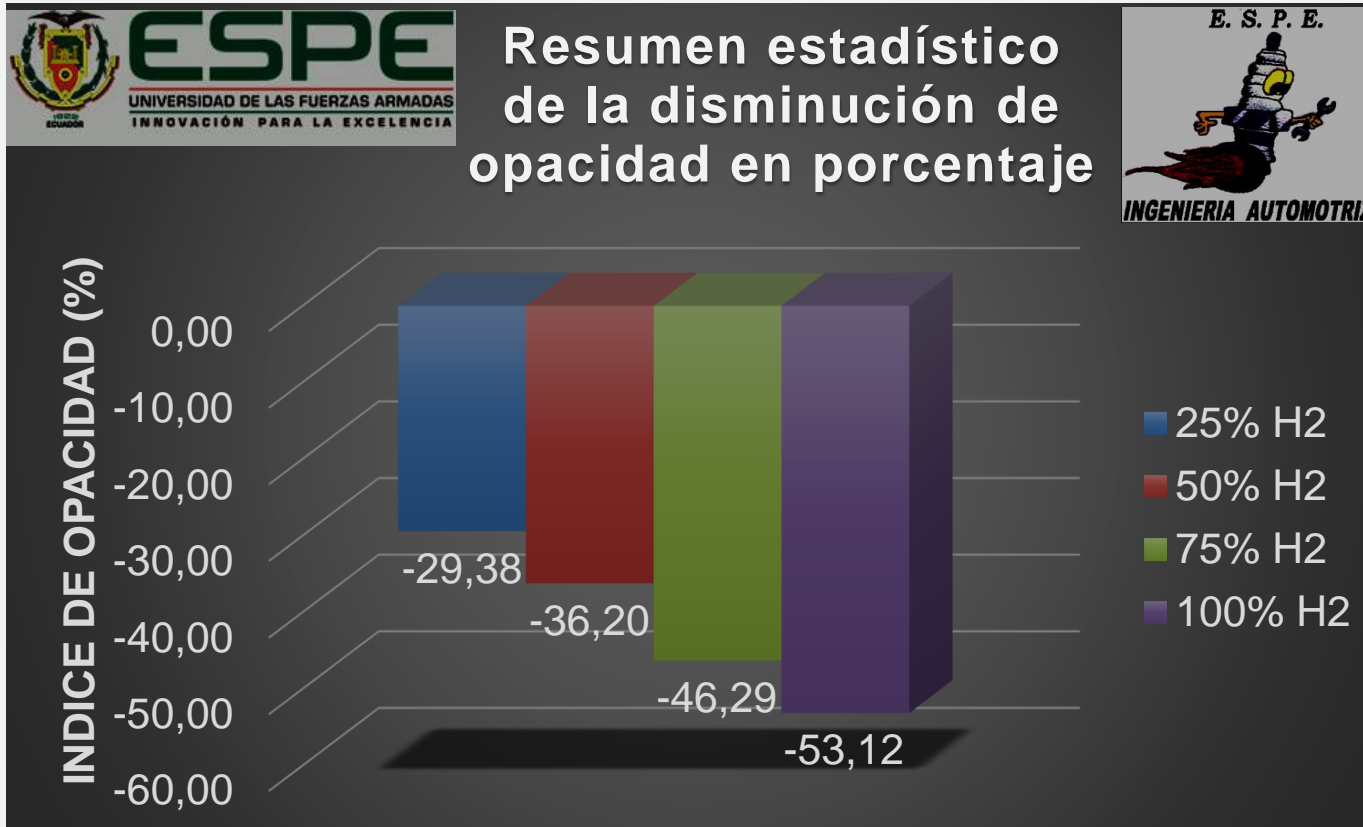


RESULTADO DE OPACIDAD CARTEK

	STD	25% de H2	50% de H2	75% de H2	100% de H2
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Medición 1	1,24	0,9	0,51	0,83	0,45
Medición 2	1,03	0,71	0,74	0,61	0,54
Medición 3	1,1	0,77	0,9	0,37	0,59
Promedio	1,12	0,79	0,72	0,60	0,53
Resultado porcentual	100 %	70,62%	63,80%	53,71%	46,88%



ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LA OPACIDAD



ANALIZADOR DE GASES AGS-688



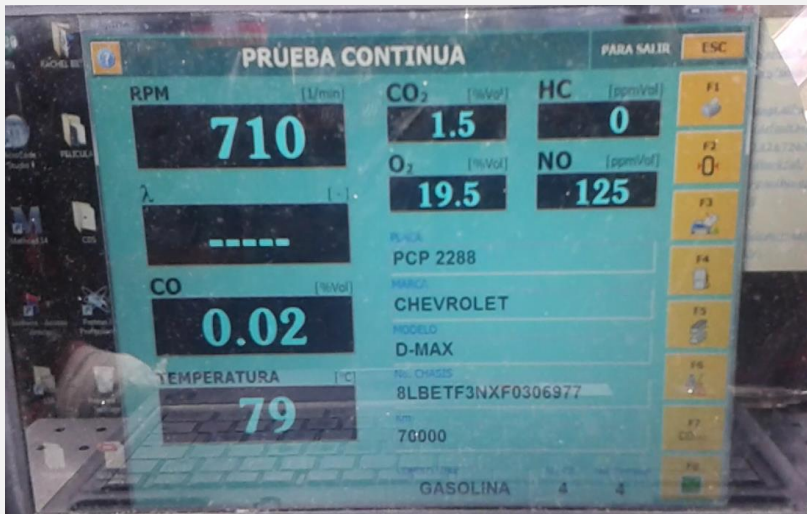
Medidor de revoluciones y temperatura GPRPM-300

Medidor de temperatura






Ventana de programa y prueba



Pantalla de medición



 ANÁLISIS GASES ESCAPE			
ANALIZADOR	AGS-688	CUENTARREVOLUCIONES	GPRPM-300
Número de serie	: 160513000054	Número de serie	: 101070014400
ADDRESS		NAME	
ZIP - CITY		TELEPHONE	
		FAX - EMAIL	
Datos del vehículo:			
Marca	: CHEVROLET	Modelo	: DMAX
Matrícula	: PCP 2288	No. Chasis	: 8LBETF3NXF0306977
Combustible	: GASOLINA	Km recorridos	: 70000
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	96
RPM	[1/min]	:	3470
COcorr	[%Vol]	:	0.25
Lambda	[-]	:	4.815
CO	[%Vol]	:	0.05
CO ₂	[%Vol]	:	3.0
HC	[ppmVol]	:	1
O ₂	[%Vol]	:	16.5
NO	[ppmVol]	:	286
Fecha y hora prueba	:	05/04/2017 12:09	
Sello			
Firma			



Informe del análisis de gases

Filtro AGS-688



RESULTADO ANÁLISIS DE GASES AGS-688

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (%vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	78	0.03	1.6	0	18.6	140	0
	2	78	0.03	1.6	0	18.6	145	0
	Promedio	78	0.03	1.6	0	18.6	142.5	0
1500	1	79	0.08	1.7	0	18.3	74	0
	2	80	0.07	1.7	0	18.4	78	0
	Promedio	79.5	0.075	1.7	0	18.35	76	0
2000	1	82	0.16	1.9	0	17.9	73	0
	2	84	0.14	2	0	18.2	88	0
	Promedio	83	0.15	1.95	0	18.05	80.5	0
2500	1	85	0.2	2.2	0	17.6	82	0
	2	87	0.2	2.1	0	17.7	85	0
	Promedio	86	0.2	2.15	0	17.65	83.5	0
3000	1	88	0.14	2.5	1	17.6	127	0
	2	91	0.1	2.5	2	17.3	143	0
	Promedio	89.5	0.12	2.5	1.5	17.45	135	0
3500	1	92	0.05	2.9	0	16.9	261	0
	2	94	0.04	2.9	1	16.8	283	0
	Promedio	93	0.045	2.9	0.5	16.85	272	0
	Promedio Total	84.83	0.103	2.13	1.00	17.825	131.58	0.00

Resultados
motor
estándar



RESULTADO ANÁLISIS DE GASES AGS-688

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (%vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	88	0.02	1.5	0	18.9	149	0
	2	87	0.02	1.5	0	18.7	155	0
	Promedio	87.5	0.02	1.5	0	18.8	152	0
1500	1	87	0.07	1.7	0	18.4	84	0
	2	88	0.07	1.7	0	18.3	78	0
	Promedio	87.5	0.07	1.7	0	18.35	81	0
2000	1	89	0.14	1.9	0	18	87	0
	2	90	0.14	1.8	0	18	85	0
	Promedio	89.5	0.14	1.85	0	18	86	0
2500	1	91	0.19	2.3	0	17.6	104	0
	2	91	0.19	2.2	0	17.6	93	0
	Promedio	91	0.19	2.25	0	17.6	98.5	0
3000	1	93	0.1	2.5	2	17.2	143	0
	2	93	0.1	2.6	1	17.3	146	0
	Promedio	93	0.1	2.55	1.5	17.25	144.5	0
3500	1	95	0.06	2.9	0	16.9	275	0
	2	96	0.05	2.9	1	16.7	289	0
	Promedio	95.5	0.055	2.9	0.5	16.8	282	0
	Promedio Total	90.67	0.096	2.13	1.00	17.800	140.67	0.00

Resultados
motor
25%
hidrógeno



RESULTADO ANÁLISIS DE GASES AGS-688

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (%vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	91	0.02	1.5	0	18.7	161	0
	2	90	0.02	1.4	0	18.8	130	0
	Promedio	90.5	0.02	1.45	0	18.75	145.5	0
1500	1	90	0.06	1.8	0	18.3	108	0
	2	90	0.07	1.7	0	18.5	87	0
	Promedio	90	0.065	1.75	0	18.4	97.5	0
2000	1	90	0.14	1.9	0	18.2	99	0
	2	91	0.14	1.9	0	18.1	91	0
	Promedio	90.5	0.14	1.9	0	18.15	95	0
2500	1	93	0.18	2.3	0	17.2	108	0
	2	94	0.19	2.2	0	17.4	105	0
	Promedio	93.5	0.185	2.25	0	17.3	106.5	0
3000	1	93	0.11	2.6	6	17.5	146	0
	2	95	0.1	2.5	5	17.6	166	0
	Promedio	94	0.105	2.55	5.5	17.55	156	0
3500	1	96	0.05	2.9	3	17.2	277	0
	2	99	0.04	2.9	3	17	298	0
	Promedio	97.5	0.045	2.9	3	17.1	287.5	0
	Promedio Total	92.67	0.093	2.13	4.25	17.875	148.00	0.00

Resultados
motor
50%
hidrógeno



RESULTADO ANÁLISIS DE GASES

AGS-688

RPM	Medición	Tempe- ratura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (%vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	88	0.02	1.6	0	19.1	139	0
	2	87	0.02	1.6	0	18.5	150	0
	Promedio	87.5	0.02	1.6	0	18.8	144.5	0
1500	1	88	0.07	1.7	0	18.1	84	0
	2	90	0.07	1.7	0	18.2	90	0
	Promedio	89	0.07	1.7	0	18.15	87	0
2000	1	89	0.15	1.9	0	17.8	87	0
	2	90	0.15	1.9	0	17.8	89	0
	Promedio	89.5	0.15	1.9	0	17.8	88	0
2500	1	90	0.19	2.2	0	17.4	103	0
	2	92	0.19	2.2	0	17.3	107	0
	Promedio	91	0.19	2.2	0	17.35	105	0
3000	1	92	0.11	2.6	8	17.2	156	0
	2	93	0.1	2.7	7	16.9	169	0
	Promedio	92.5	0.105	2.65	7.5	17.05	162.5	0
3500	1	94	0.05	3	5	16.6	281	4.818
	2	96	0.05	3	1	16.5	302	4.799
	Promedio	95	0.05	3	3	16.55	291.5	4.8085
	Promedio Total	90.75	0.098	2.18	5.25	17.617	146.42	4.809

Resultados
motor
75%
hidrógeno



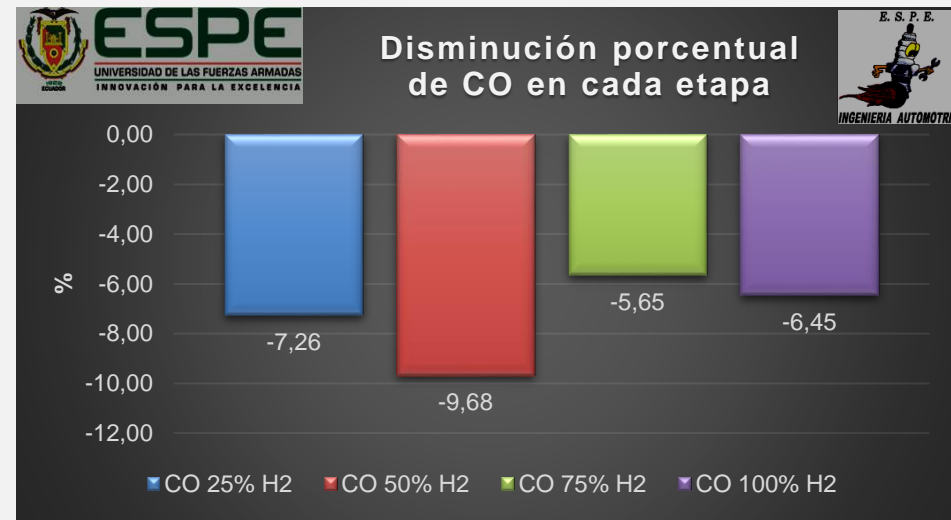
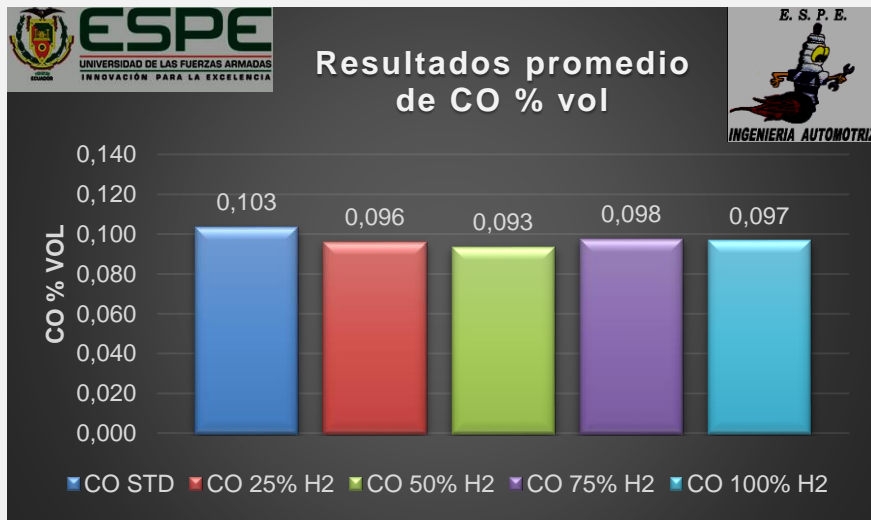
RESULTADO ANÁLISIS DE GASES AGS-688

RPM	Medición	Temperatura °C	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm vol)	O2 (%vol)	NO (ppm vol)	Lambda (λ)
750	1	88	0.02	1.6	0	18.5	157	0
	2	88	0.02	1.6	0	18.5	159	0
	Promedio	88	0.02	1.6	0	18.5	158	0
1500	1	89	0.08	1.7	0	18.2	79	0
	2	89	0.07	1.7	0	18.3	86	0
	Promedio	89	0.075	1.7	0	18.25	82.5	0
2000	1	89	0.14	2	0	17.9	94	0
	2	90	0.15	1.9	0	17.8	91	0
	Promedio	89.5	0.145	1.95	0	17.85	92.5	0
2500	1	91	0.19	2.2	0	17.5	102	0
	2	92	0.19	2.3	0	17.4	102	0
	Promedio	91.5	0.19	2.25	0	17.45	102	0
3000	1	94	0.1	2.7	8	16.9	160	0
	2	96	0.1	2.7	5	17.3	185	0
	Promedio	95	0.1	2.7	6.5	17.1	172.5	0
3500	1	96	0.05	3	1	16.5	286	4.815
	2	97	0.05	3	5	16.6	296	4.82
	Promedio	96.5	0.05	3	3	16.55	291	4.8175
	Promedio Total	91.58	0.097	2.20	4.75	17.617	149.75	4.818

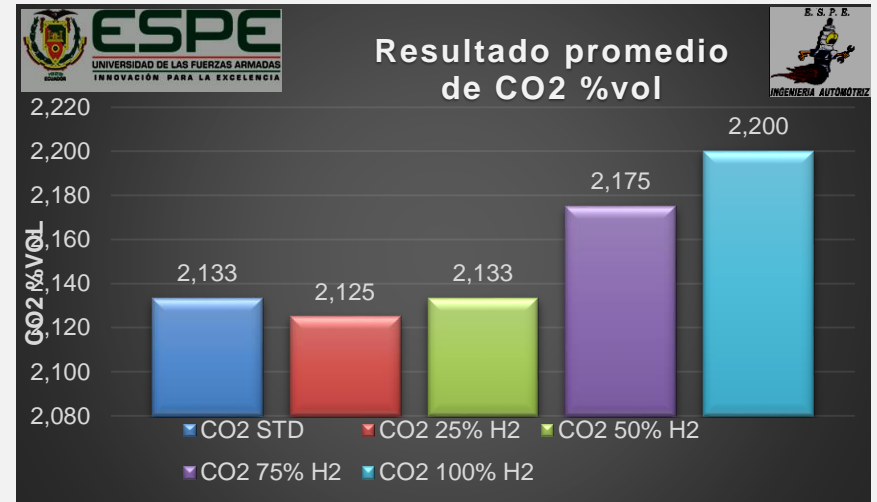
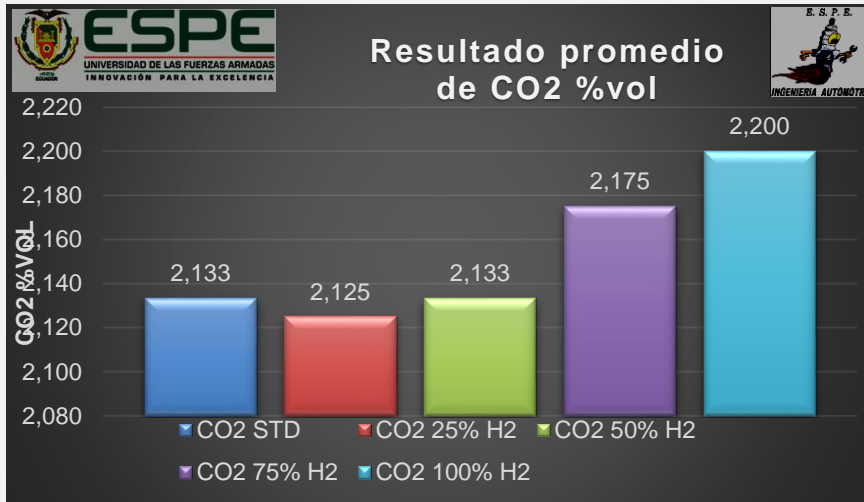
Resultados
motor
100%
hidrógeno



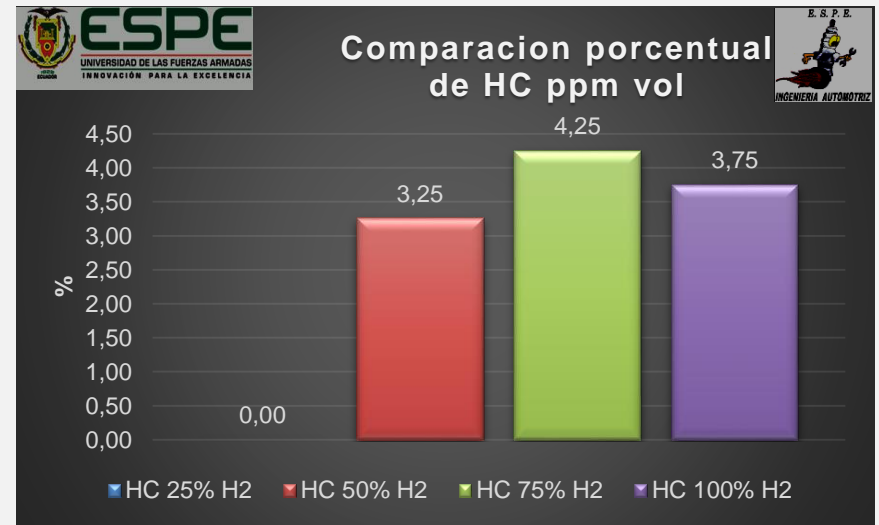
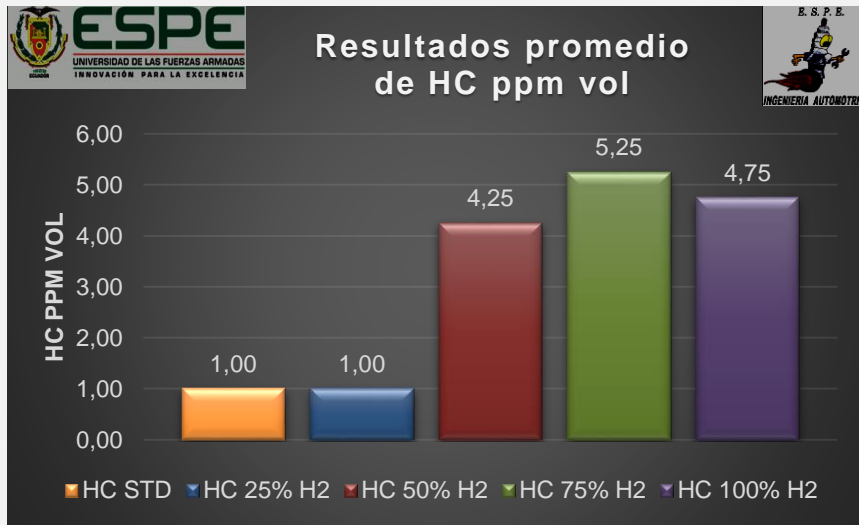
ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DEL MONÓXIDO DE CARBONO CO



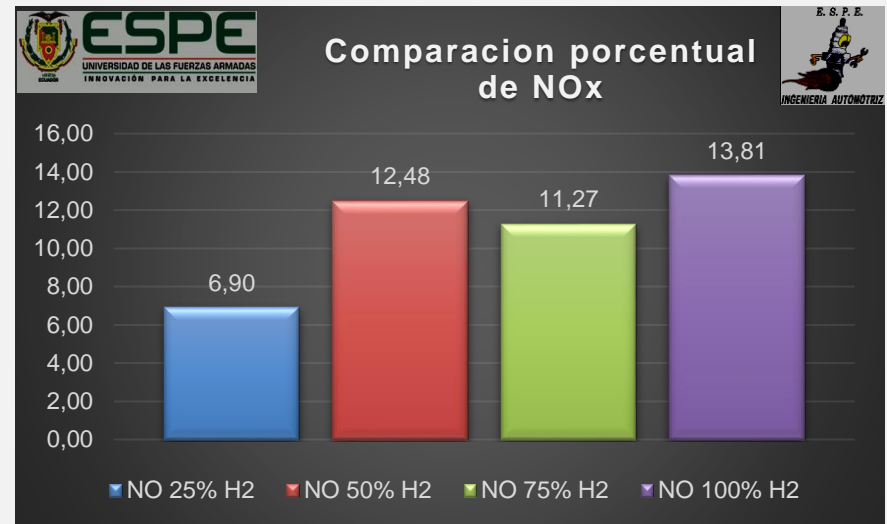
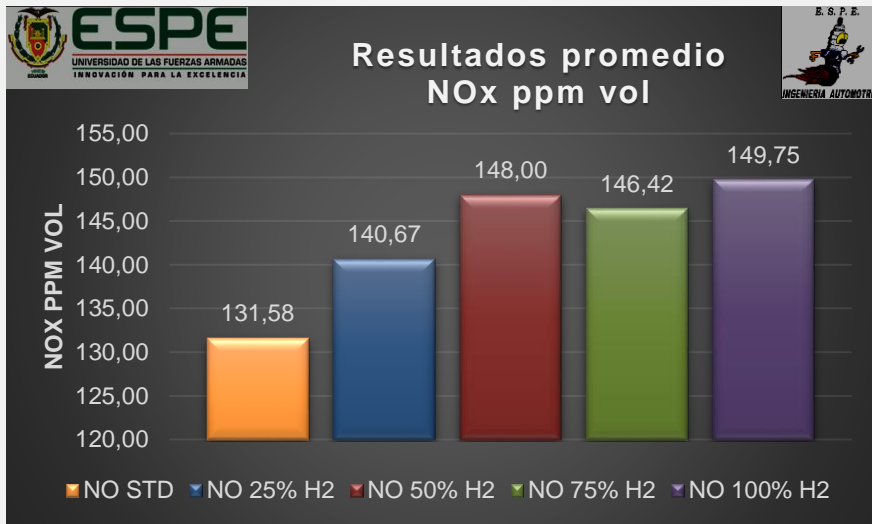
ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DEL DIÓXIDO DE CARBONO CO₂



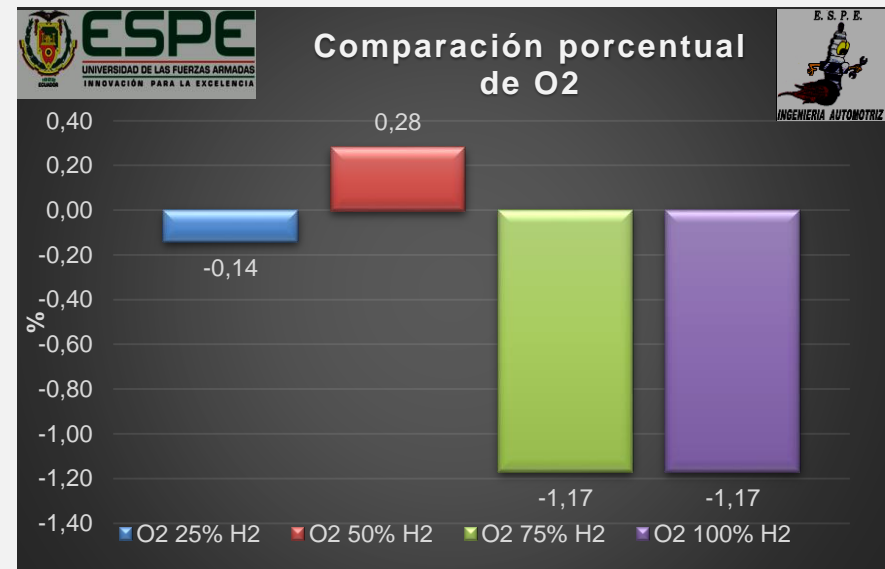
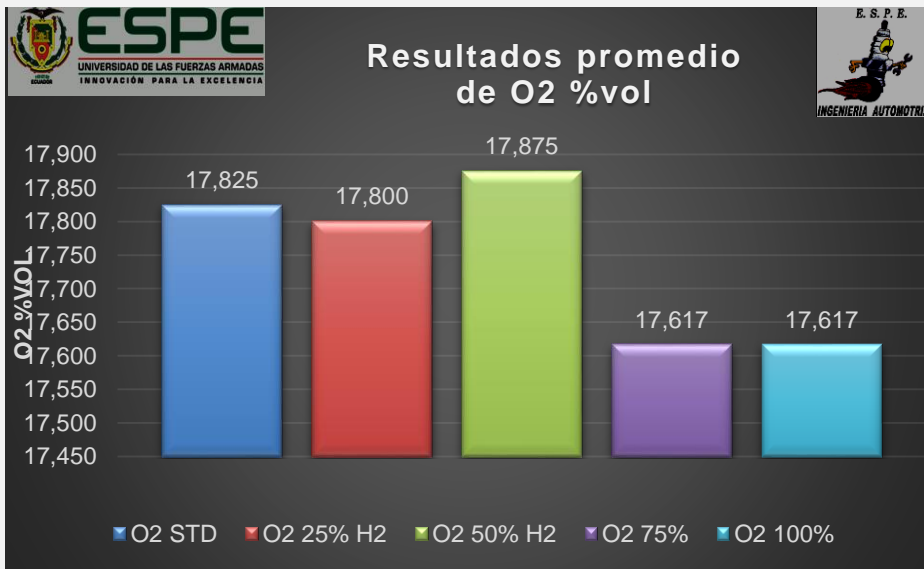
ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE HIDROCARBUROS HC



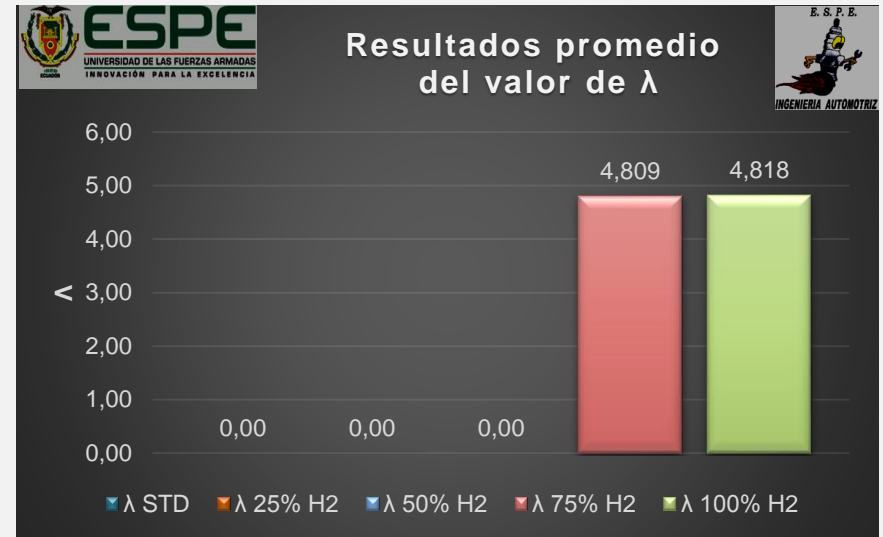
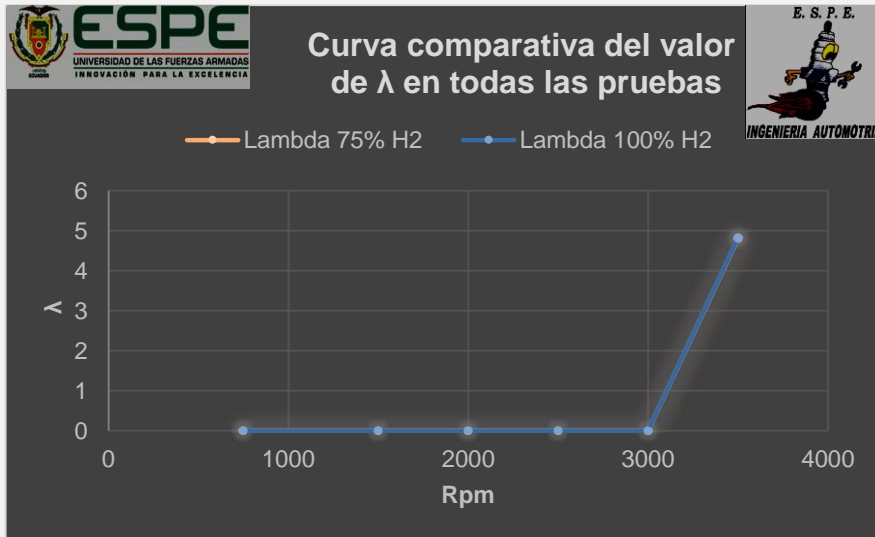
ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO NOx



ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE OXÍGENO O₂



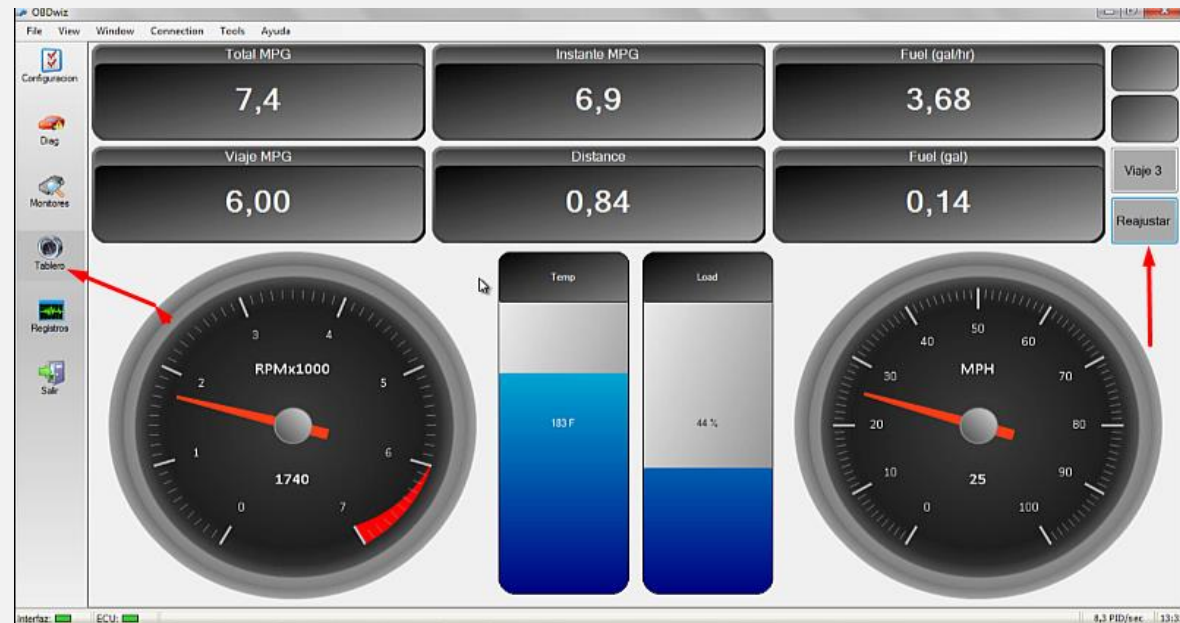
ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE VALOR DE LAMBDA λ



PRUEBAS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

La herramienta de medición:

– Software OBDLINK SX



PRUEBAS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Las pruebas de consumo de combustible las realizaremos en tres distintos protocolos los cuales son:

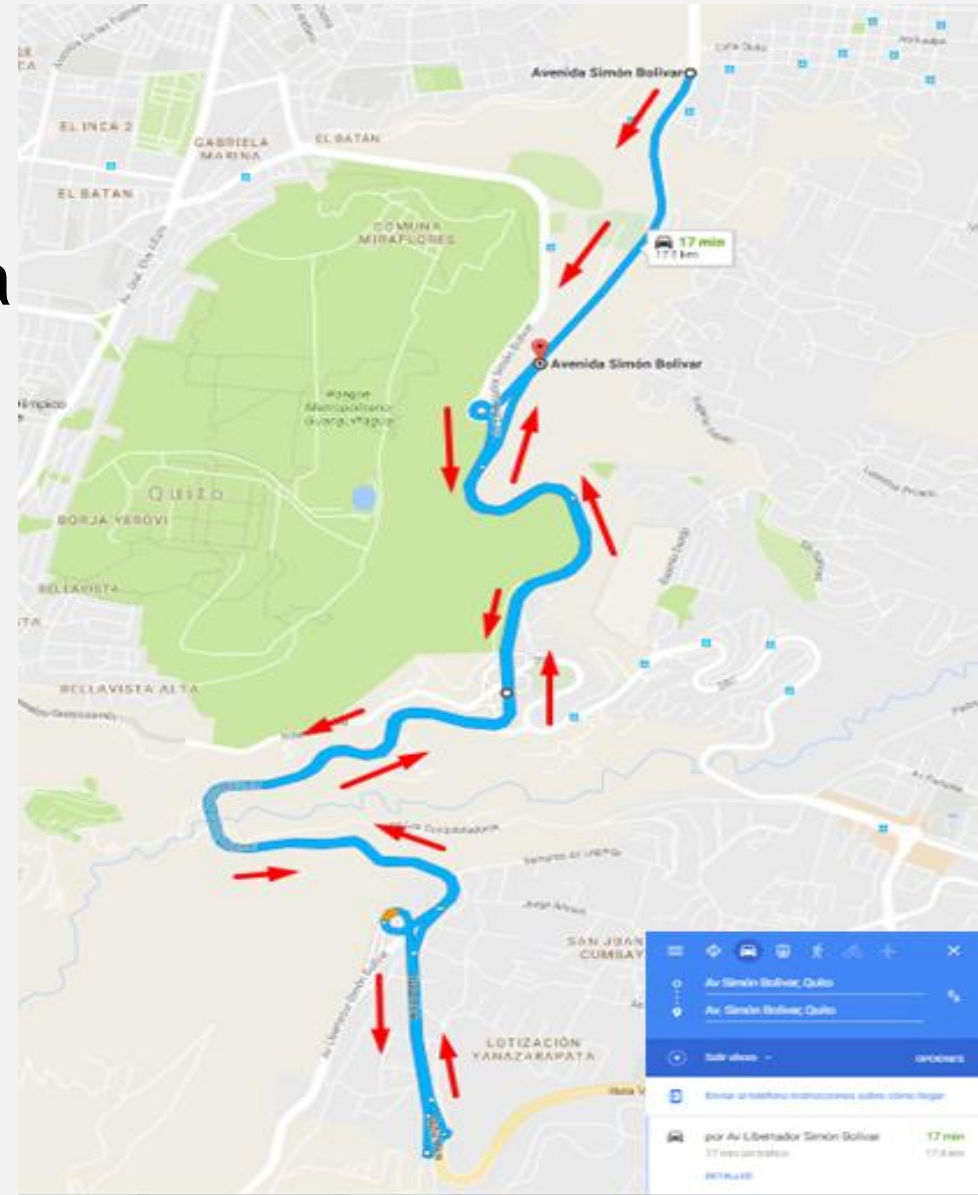
- Prueba FTP-75 + SFTP-SC03
- Prueba ECE 15 + EUDC
- Prueba New York City Cycle



PROCEDIMIENTO FTP-75

Parámetros principales para el ciclo FTP-75 son:

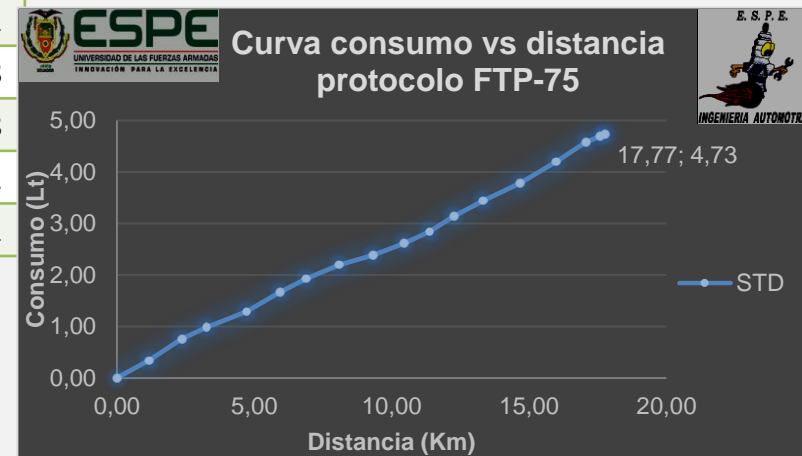
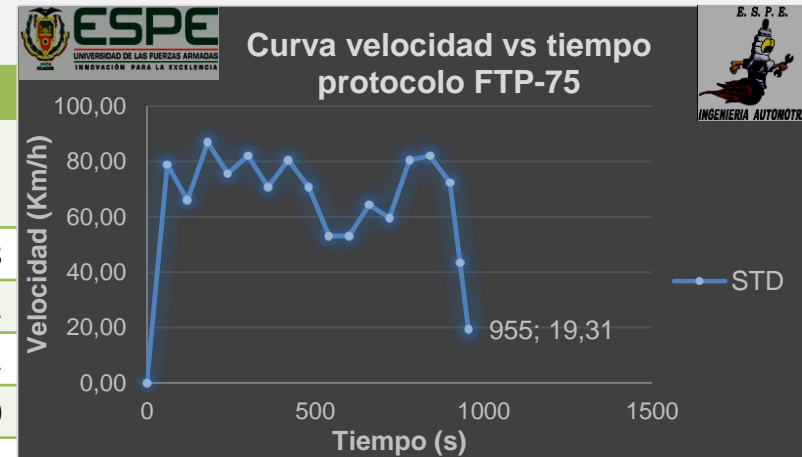
- Distancia recorrida:
17.77 Km – 1.04 Millas
- Velocidad máxima:
91.2 Km/h – 6.67 Millas/h



RESULTADOS DE LA PROCEDIMIENTO FTP-75

Motor estándar

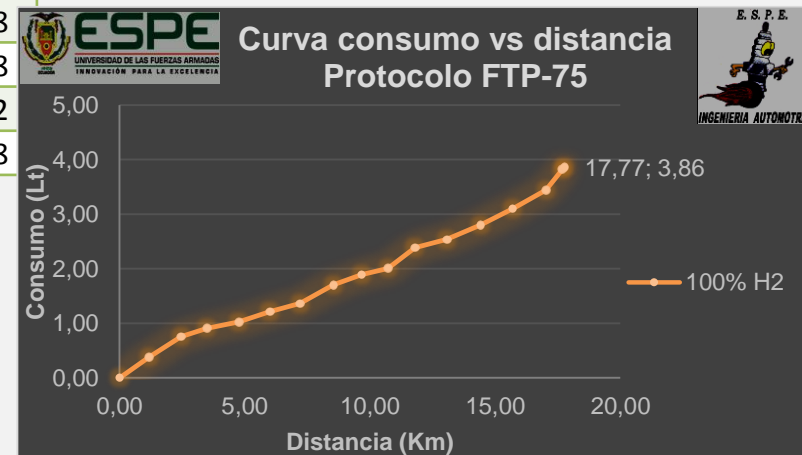
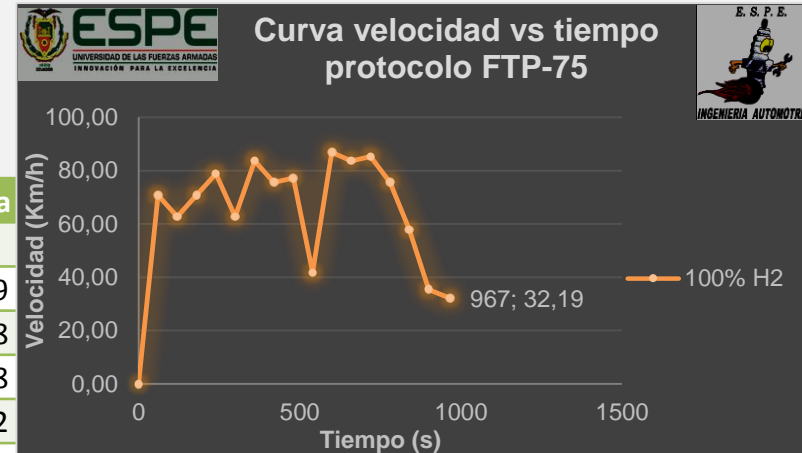
Tiempo (seg)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0,00	0	0,00	181	82,78
120	1.47	2.37	0.2	0,76	41	65,98	189	87,22
240	2.93	4.72	0.34	1,29	47	75,64	189	87,22
360	4.28	6.89	0.51	1,93	44	70,81	185	85,00
480	5.8	9.33	0.63	2,38	44	70,81	185	85,00
600	7.07	11.38	0.75	2,84	33	53,11	187	86,11
720	8.29	13.34	0.91	3,44	37	59,55	190	87,78
840	9.94	16.00	1.11	4,20	51	82,08	190	87,78
930	10.93	17.59	1.24	4,69	27	43,45	189	87,22
955	11.04	17.77	1.25	4,73	12	19,31	187	86,11



RESULTADOS DE LA PROCEDIMIENTO FTP-75

Motor con inyección del 100% de hidrógeno

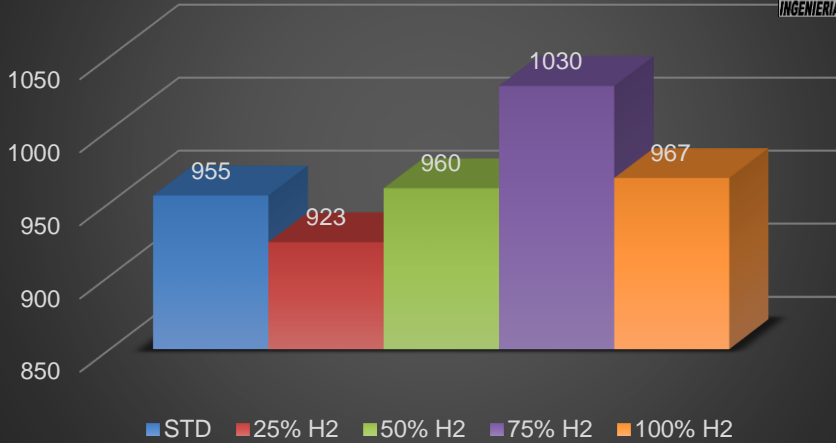
Tiempo (seg)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0,00	183	83.89
120	1.53	2.46	0.2	0.76	39	62,76	190	87.78
240	2.96	4.76	0.27	1.02	49	78,86	181	82.78
360	4.48	7.21	0.36	1.36	52	83,69	180	82.22
480	6.01	9.67	0.5	1.89	48	77,25	183	83.89
600	7.33	11.80	0.63	2.38	54	86,90	190	87.78
720	8.96	14.42	0.74	2.80	53	85,30	190	87.78
840	10.58	17.03	0.91	3.44	36	57,94	189	87.22
967	11.04	17.77	1.02	3.86	20	32,19	190	87.78



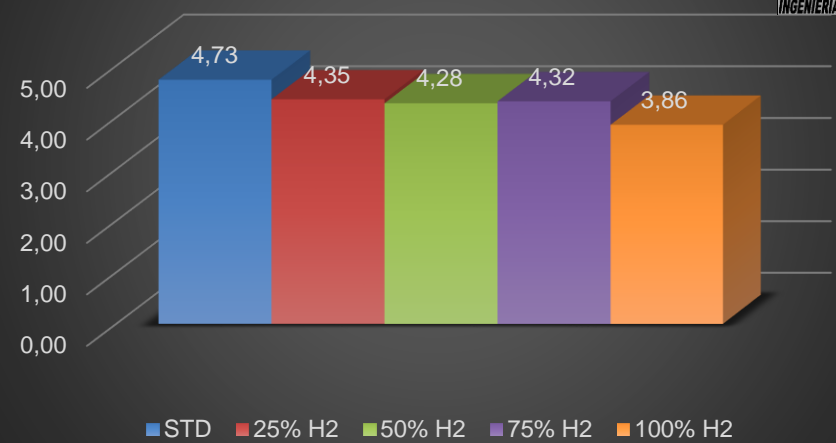
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL PROTOCOLO FTP-75



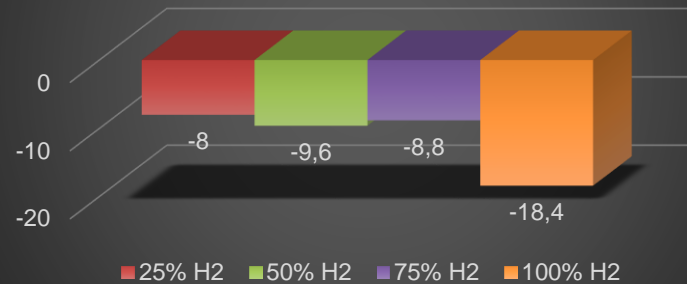
Resumen estadístico de los tiempos de duración del protocolo FTP-75



Resumen estadístico del consumo de combustible protocolo FTP-75



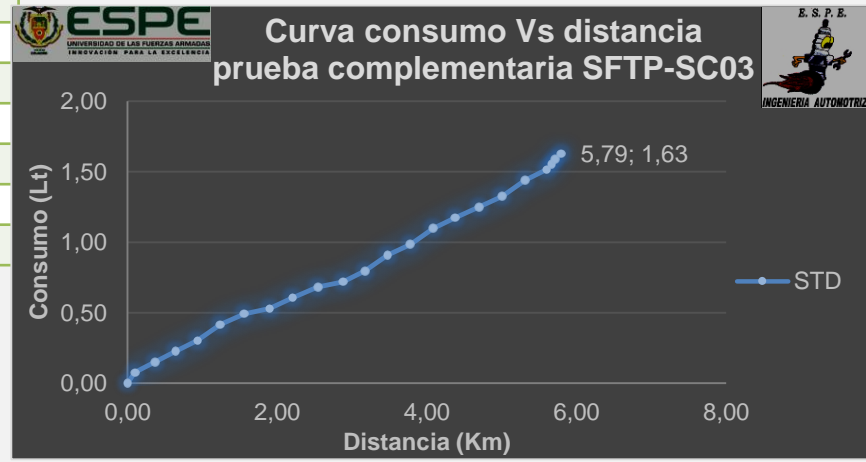
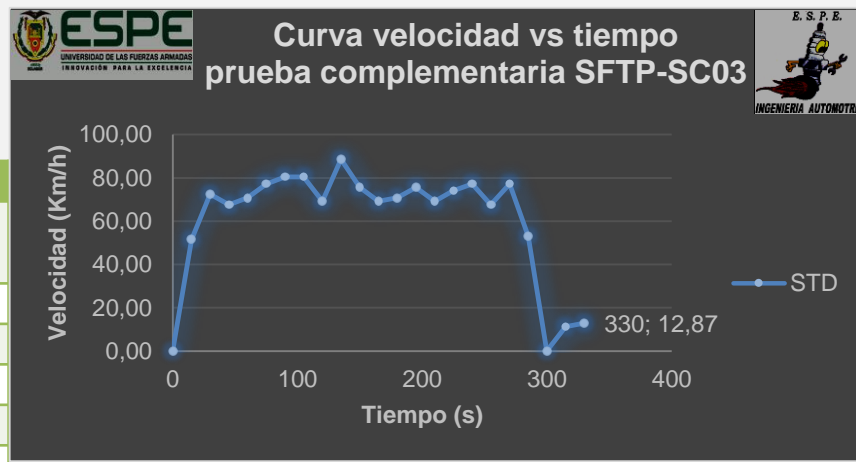
Resumen porcentual de la variación del consumo de combustible protocolo FTP-75



PRUEBA COMPLEMENTARIA SFTP-SC03

Motor "STD"

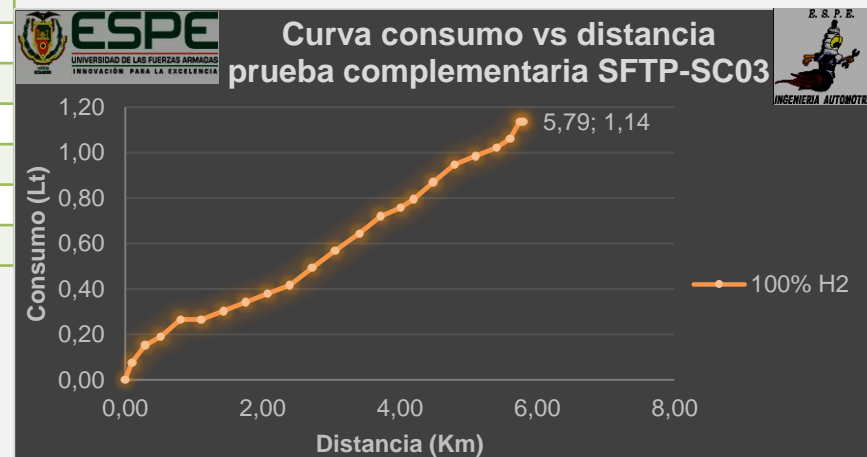
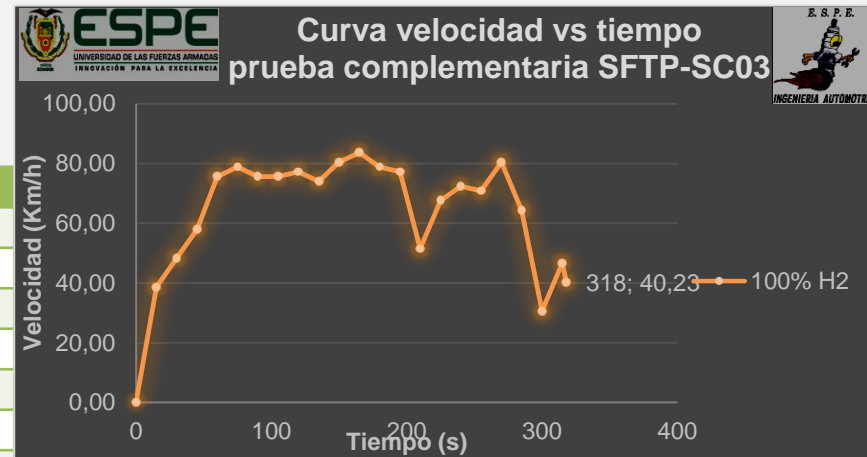
Tiempo (seg)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0,00	0	0,00	187	86.11
30	0.23	0.37	0.04	0,15	45	72,42	189	87.22
60	0.58	0.93	0.08	0,30	44	70,81	189	87.22
90	0.97	1.56	0.13	0,49	50	80,47	187	86.11
120	1.37	2.20	0.16	0,61	43	69,20	185	85.00
150	1.79	2.88	0.19	0,72	47	75,64	189	87.22
180	2.16	3.48	0.24	0,91	44	70,81	187	86.11
210	2.54	4.09	0.29	1,10	43	69,20	189	87.22
240	2.92	4.70	0.33	1,25	48	77,25	187	86.11
270	3.3	5.31	0.38	1,44	48	77,25	187	86.11
300	3.52	5.66	0.41	1,55	0	0,00	185	85.00
330	3.6	5.79	0.43	1,63	8	12,87	187	86.11



PRUEBA COMPLEMENTARIA SFTP-SC03

Motor con inyección del 100% de hidrógeno

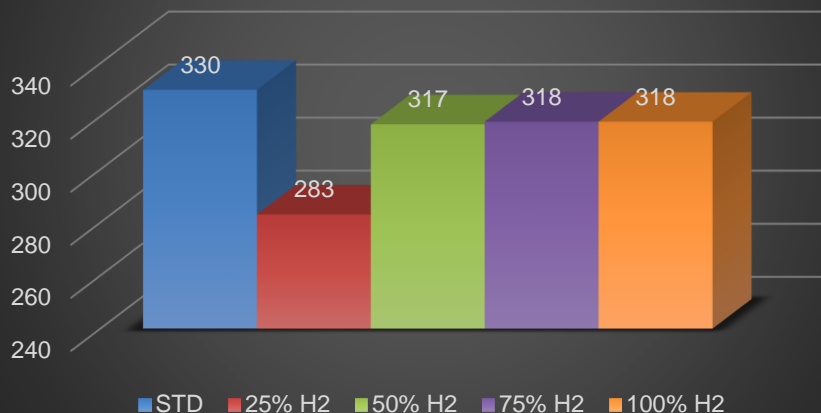
Tiempo (seg)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0,00	185	85.00
30	0.18	0.29	0.04	0.15	30	48,28	190	87.78
60	0.5	0.80	0.07	0.26	47	75,64	187	86.11
90	0.89	1.43	0.08	0.30	47	75,64	185	85.00
120	1.29	2.08	0.1	0.38	48	77,25	181	82.78
150	1.69	2.72	0.13	0.49	50	80,47	181	82.78
180	2.12	3.41	0.17	0.64	49	78,86	187	86.11
210	2.49	4.01	0.2	0.76	32	51,50	185	85.00
240	2.79	4.49	0.23	0.87	45	72,42	183	83.89
270	3.17	5.10	0.26	0.98	50	80,47	185	85.00
300	3.48	5.60	0.28	1.06	19	30,58	183	83.89
318	3.6	5.79	0.3	1.14	25	40,23	183	83.89



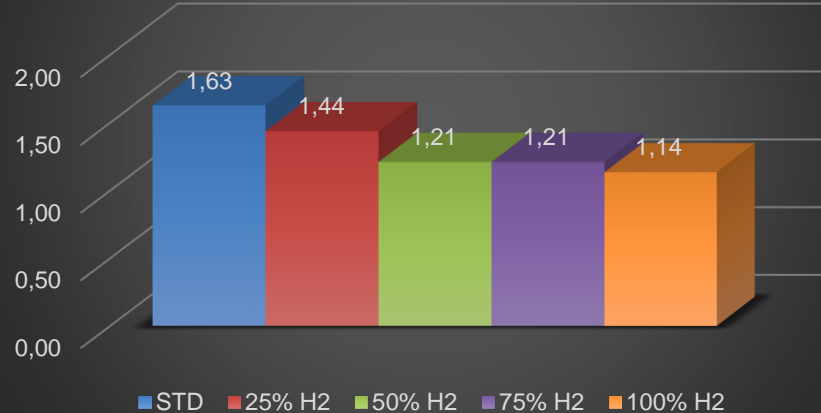
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA COMPLEMENTARIA SFTP-SC03



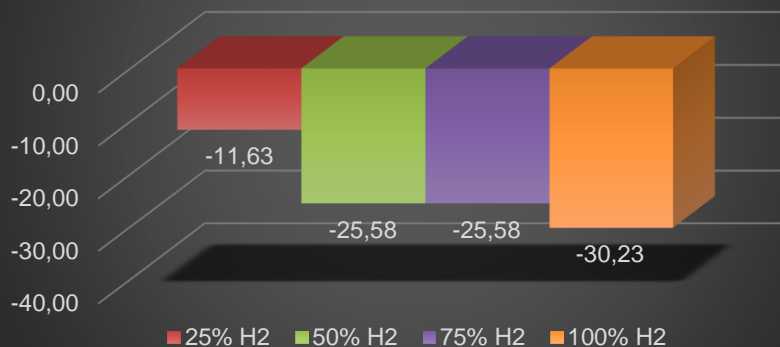
Resumen estadístico de los tiempos de duración de la prueba complementaria SFTP-SC03



Resumen estadístico del consumo de combustible prueba complementaria SFTP-SC03

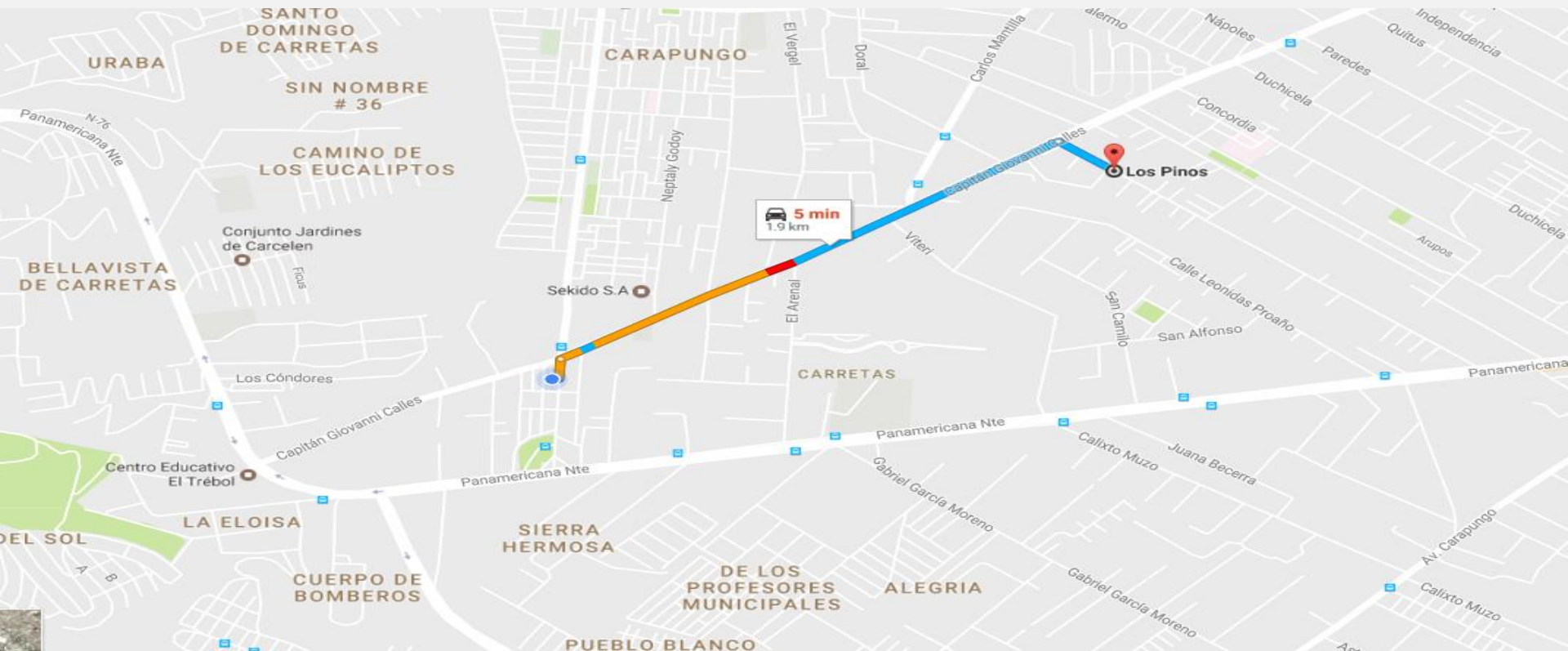


Resumen porcentual de la variación del consumo de combustible protocolo FTP-75



PRUEBA NEW YORK CITY CYCLE (NYCC)

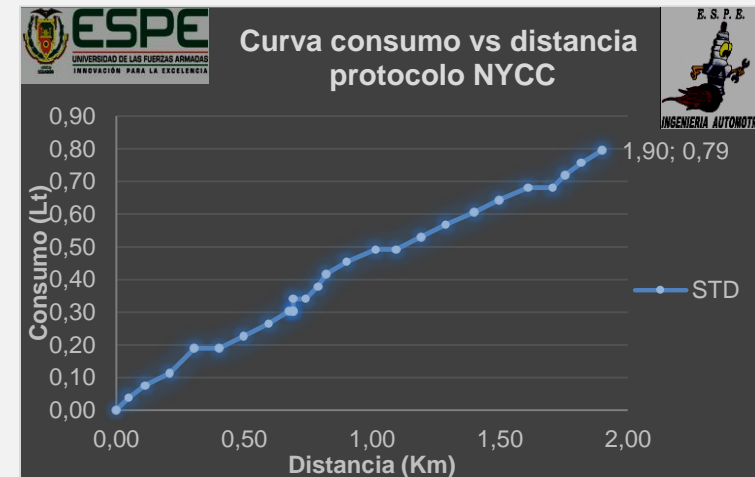
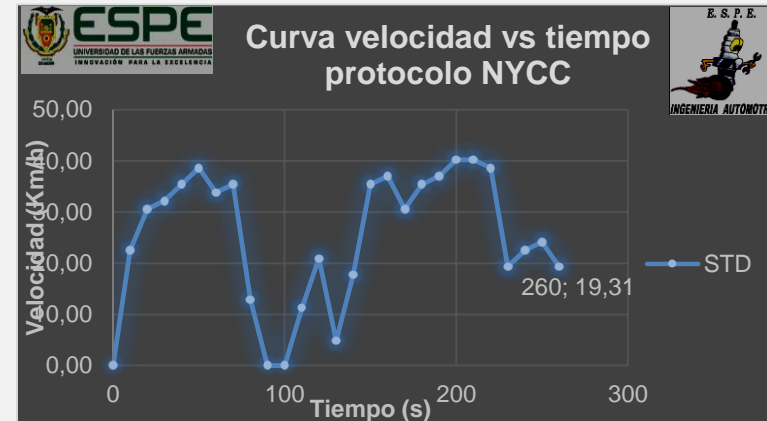
- Parámetros principales para el ciclo NYCC son:
 - Distancia recorrida: 1.89 Km – 1.18 millas
 - Velocidad máxima: 44.6 Km/h – 27.7 millas/h



DATOS OBTENIDOS PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE AMERICANA NYCC (New York City Cycle)

MOTOR ESTANDAR

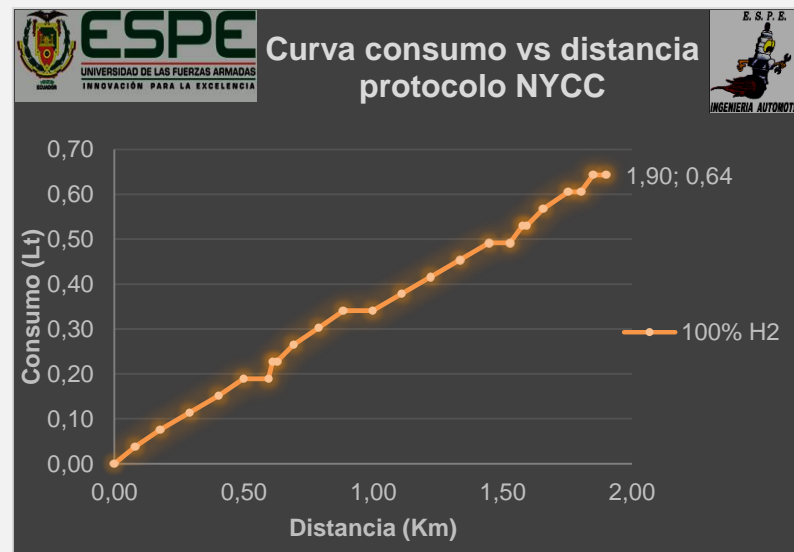
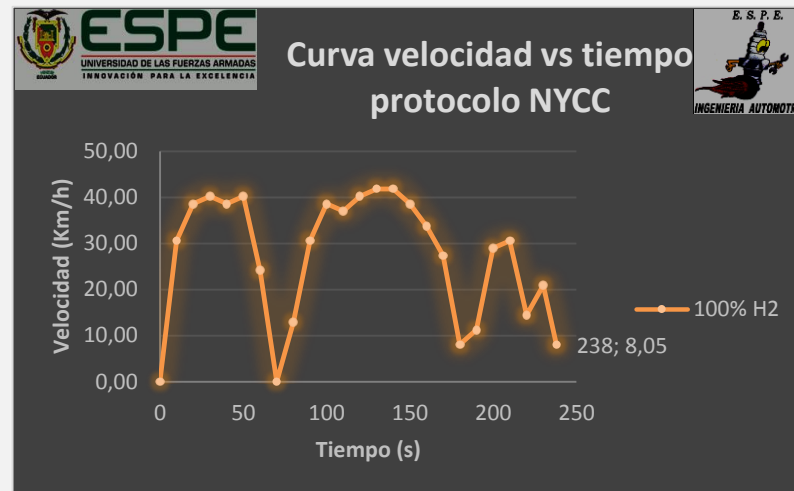
Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	183	83.89
20	0.07	0.11	0.02	0.08	19	30.58	183	83.89
40	0.19	0.31	0.05	0.19	22	35.41	185	85.00
60	0.31	0.50	0.06	0.23	21	33.80	185	85.00
80	0.42	0.68	0.08	0.30	8	12.87	185	85.00
100	0.43	0.69	0.08	0.30	0	0.00	187	86.11
120	0.46	0.74	0.09	0.34	13	20.92	185	85.00
140	0.51	0.82	0.11	0.42	11	17.70	185	85.00
160	0.63	1.01	0.13	0.49	23	37.01	187	86.11
180	0.74	1.19	0.14	0.53	22	35.41	189	87.22
200	0.87	1.40	0.16	0.61	25	40.23	185	85.00
220	1	1.61	0.18	0.68	24	38.62	185	85.00
240	1.09	1.75	0.19	0.72	14	22.53	185	85.00
260	1.18	1.90	0.21	0.79	12	19.31	185	85.00



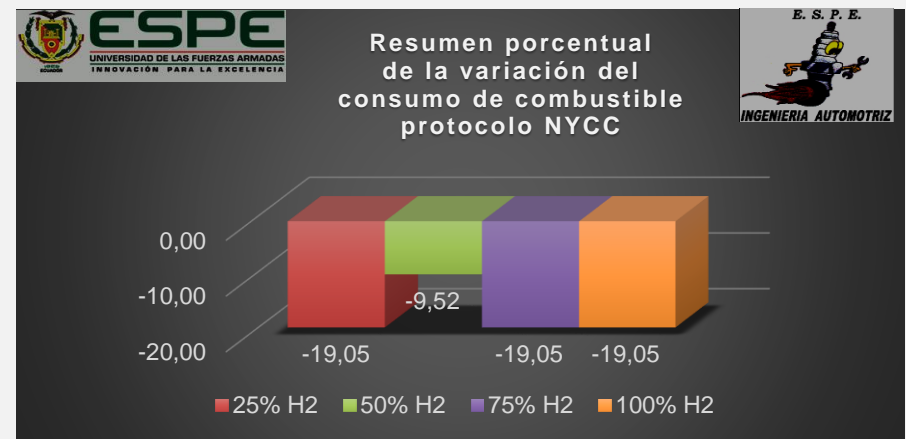
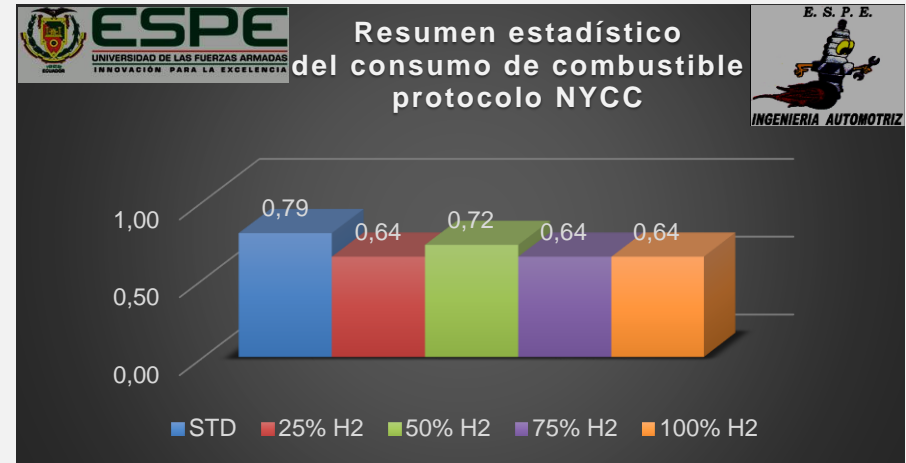
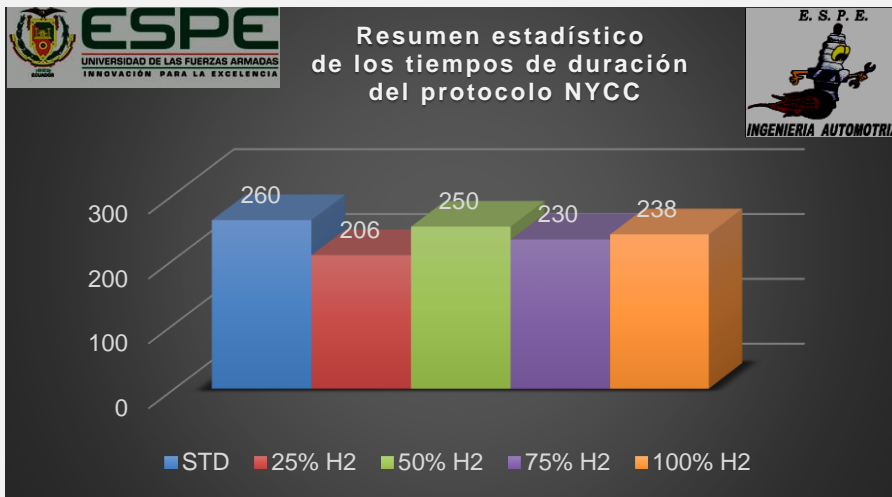
DATOS OBTENIDOS PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE AMERICANA NYCC (New York City Cicle)

PRUEBA NYCC 100% DE HIDRÓGENO

Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
20	0.11	0.18	0.02	0.08	24	38.62	187	86.11
40	0.25	0.40	0.04	0.15	24	38.62	189	87.22
60	0.37	0.60	0.05	0.19	15	24.14	185	85.00
80	0.39	0.63	0.06	0.23	8	12.87	185	85.00
100	0.49	0.79	0.08	0.30	24	38.62	187	86.11
120	0.62	1.00	0.09	0.34	25	40.23	185	85.00
140	0.76	1.22	0.11	0.42	26	41.84	185	85.00
160	0.9	1.45	0.13	0.49	21	33.80	185	85.00
180	0.98	1.58	0.14	0.53	5	8.05	185	85.00
200	1.03	1.66	0.15	0.57	18	28.97	183	83.89
220	1.12	1.80	0.16	0.61	9	14.48	185	85.00
238	1.18	1.90	0.17	0.64	5	8.05	183	83.89



RESUMEN ESTADÍSTICO PROTOCOLO NYCC



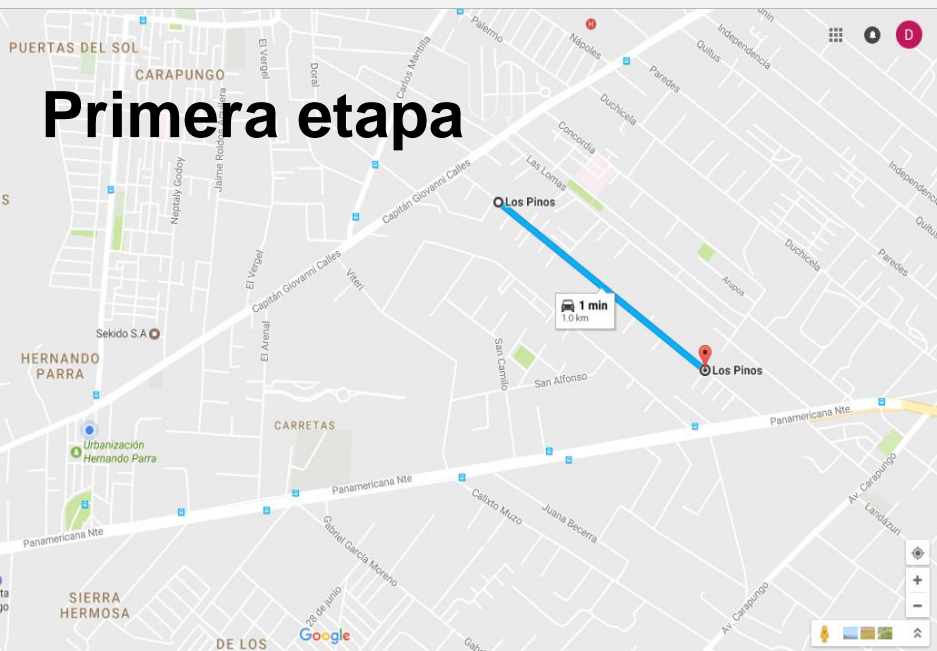
PRUEBA ECE 15 + EUDC

Parámetros principales para el ciclo ECE son:

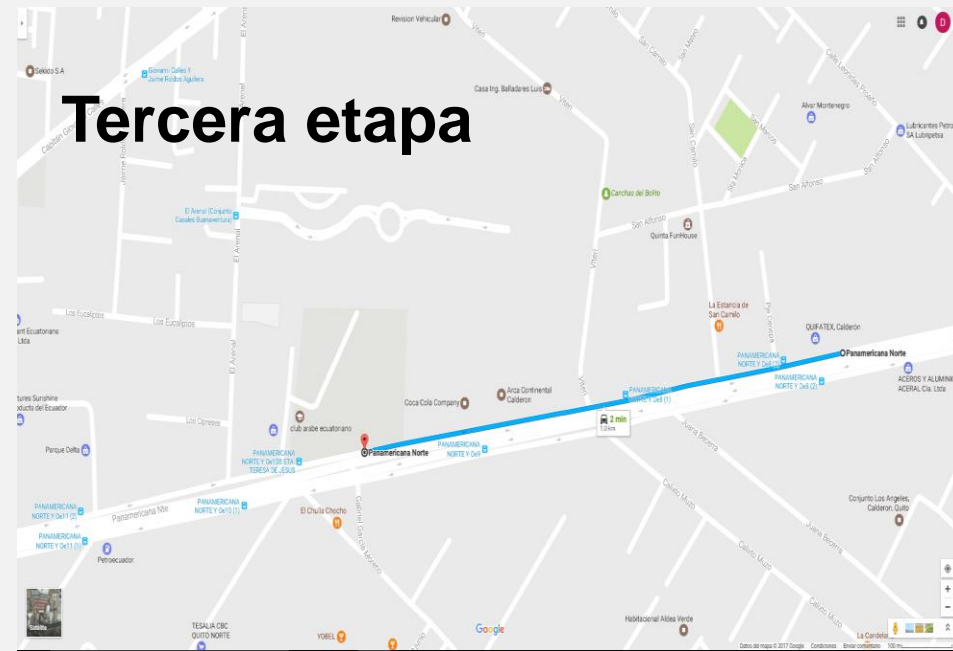
- Distancia recorrida: 0.99 Km – 0.62millas
- Velocidad máxima: 50 Km/h – 31.07millas/h
- Conformada por cuatro etapas (4 rutas)



Primera etapa



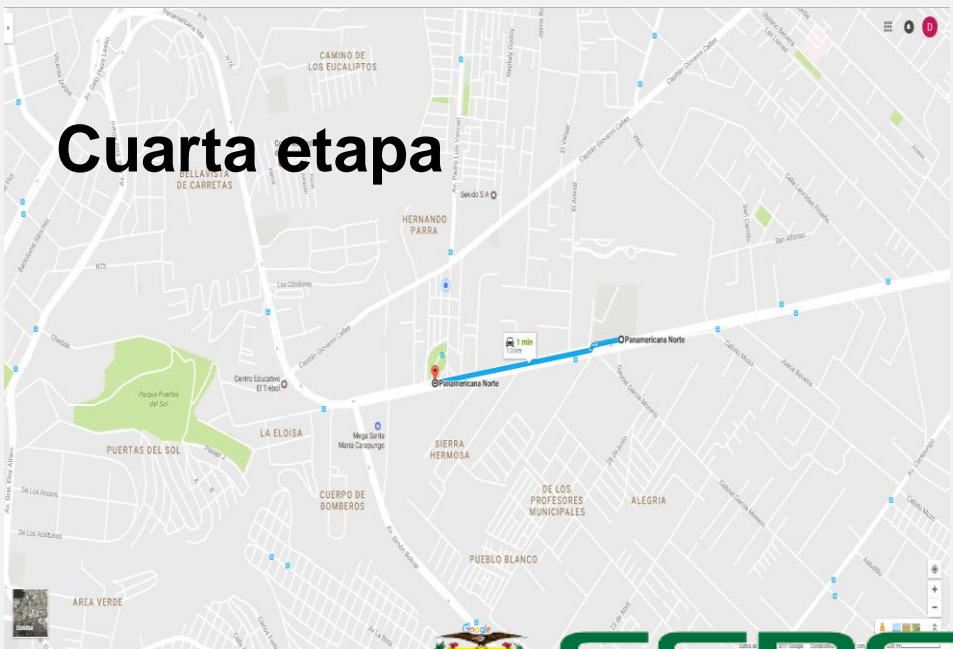
Tercera etapa



Segunda etapa



Cuarta etapa

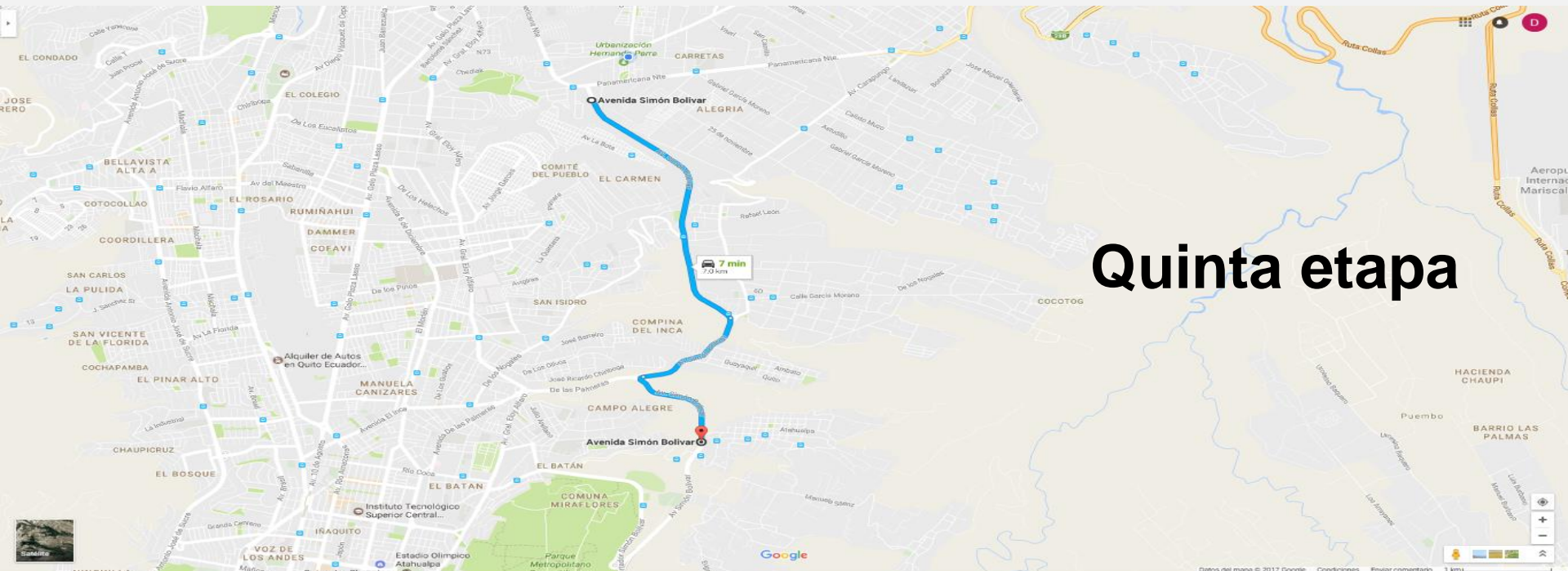


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBA ECE 15 + EUDC

Parámetros principales para el ciclo EUDC son:

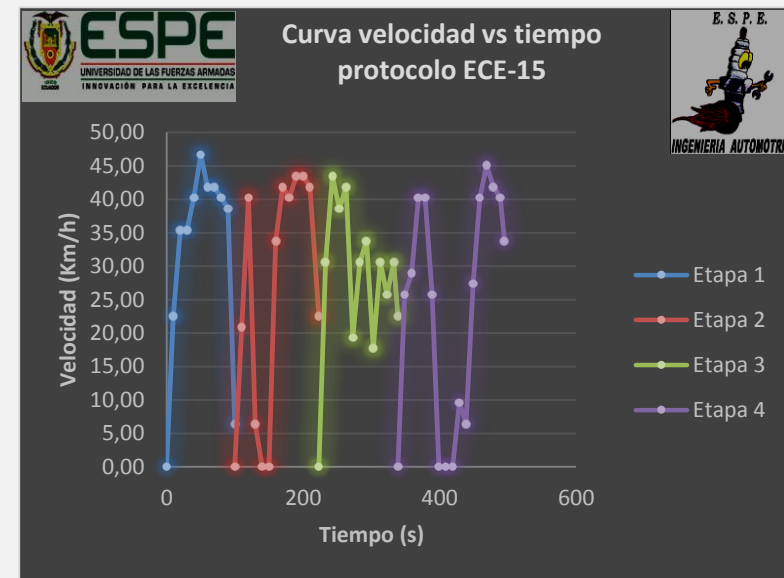
- Distancia recorrida: 6.95 Km – 4.32 millas
- Velocidad máxima: 120 Km/h – 74.56 millas/h



DATOS OBTENIDOS PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EUROPEA ECE-15 + EUDC

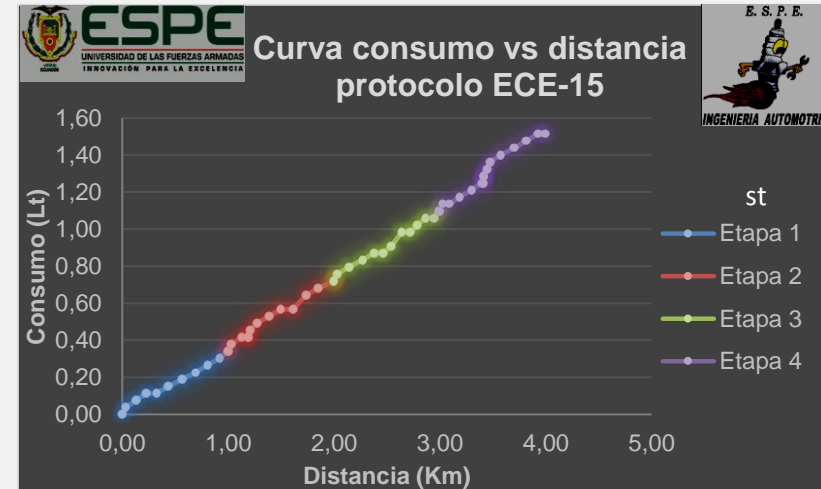
Tiempo (segundos)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
Primera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	169	76.11
20	0.08	0.13	0.02	0.08	22	35.41	171	77.22
40	0.2	0.32	0.03	0.11	25	40.23	171	77.22
60	0.35	0.56	0.05	0.19	26	41.84	172	77.78
80	0.5	0.80	0.07	0.26	25	40.23	172	77.78
100	0.62	1.00	0.09	0.34	4	6.44	172	77.78
Segunda etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	172	77.78
20	0.08	0.13	0.02	0.08	25	40.23	172	77.78
40	0.12	0.19	0.02	0.08	0	0.00	174	78.89
60	0.17	0.27	0.04	0.15	21	33.80	174	78.89
80	0.31	0.50	0.06	0.23	25	40.23	178	81.11
100	0.46	0.74	0.08	0.30	27	43.45	180	82.22
123	0.62	1.00	0.1	0.38	14	22.53	183	83.89
156	0.62	1.00	0.11	0.42	21	33.80	189	87.22

MOTOR ESTANDAR



DATOS OBTENIDOS PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EUROPEA ECE-15 + EUDC

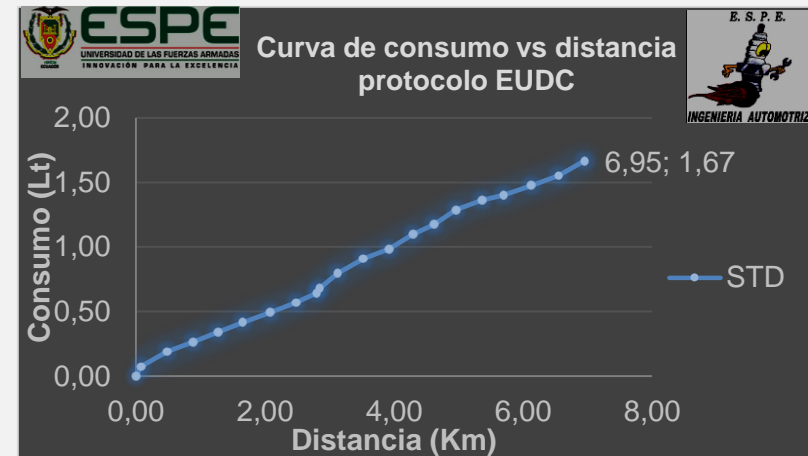
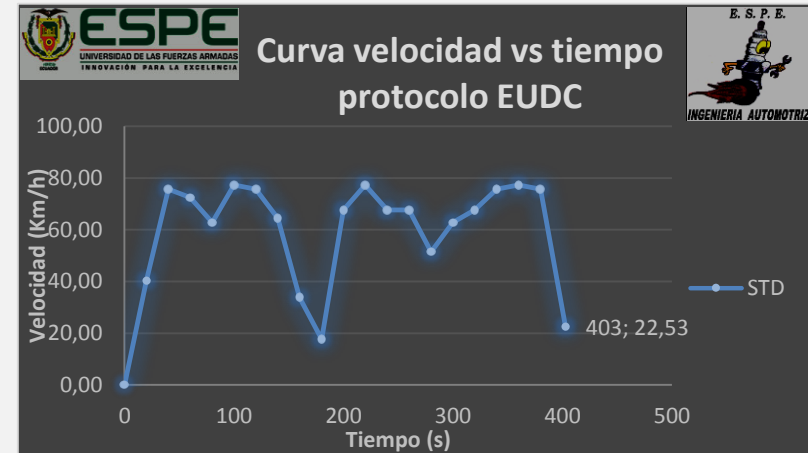
Tiempo (seg)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
Tercera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	181	82.78
20	0.09	0.14	0.02	0.08	27	43.45	183	83.89
40	0.24	0.39	0.04	0.15	26	41.84	187	86.11
60	0.34	0.55	0.05	0.19	19	30.58	187	86.11
80	0.45	0.72	0.07	0.26	11	17.70	183	83.89
100	0.54	0.87	0.09	0.34	16	25.75	185	85.00
116	0.62	1.00	0.1	0.38	14	22.53	185	85.00
Cuarta etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	183	83.89
20	0.06	0.10	0.01	0.04	18	28.97	181	82.78
40	0.19	0.31	0.03	0.11	25	40.23	185	85.00
60	0.26	0.42	0.04	0.15	0	0.00	185	85.00
80	0.26	0.42	0.05	0.19	0	0.00	185	85.00
100	0.28	0.45	0.06	0.23	4	6.44	181	82.78
120	0.36	0.58	0.08	0.30	25	40.23	183	83.89
140	0.51	0.82	0.1	0.38	26	41.84	187	86.11



DATOS OBTENIDOS PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EUROPEA ECE-15 + EUDC

PROTOCOLO EUDC QUINTA ETAPA STD

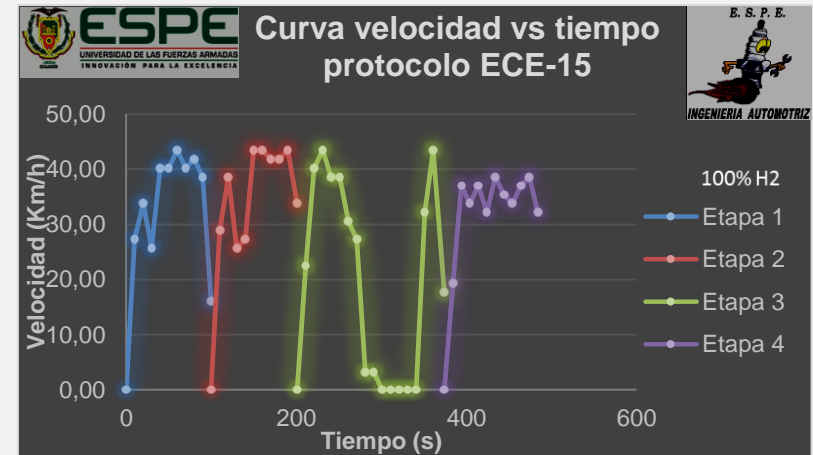
Tiempo (seg)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	187	86.11
40	0.3	0.48	0.05	0.19	47	75.64	189	87.22
80	0.79	1.27	0.09	0.34	39	62.76	185	85.00
120	1.29	2.08	0.13	0.49	47	75.64	187	86.11
160	1.74	2.80	0.17	0.64	21	33.80	187	86.11
200	1.94	3.12	0.21	0.79	42	67.59	183	83.89
220	2.19	3.52	0.24	0.91	48	77.25	190	87.78
260	2.67	4.30	0.29	1.10	42	67.59	189	87.22
300	3.08	4.96	0.34	1.29	39	62.76	189	87.22
340	3.54	5.70	0.37	1.40	47	75.64	185	85.00
380	4.07	6.55	0.41	1.55	47	75.64	183	83.89
403	4.32	6.95	0.44	1.67	14	22.53	189	87.22



DATOS OBTENIDOS PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EUROPEA ECE-15 + EUDC

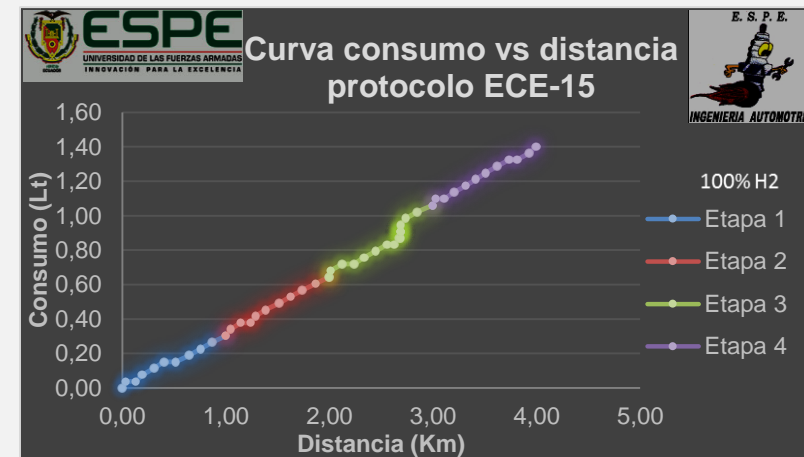
MOTOR 100% DE HIDRÓGENO ECE15+EUDC

Tiempo (seg)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
Primera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	183	83.89
20	0.08	0.13	0.01	0.04	21	33.80	185	85.00
40	0.19	0.31	0.03	0.11	25	40.23	187	86.11
60	0.32	0.51	0.04	0.15	27	43.45	189	87.22
80	0.47	0.76	0.06	0.23	26	41.84	187	86.11
100	0.62	1.00	0.08	0.30	10	16.09	185	85.00
Segunda etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
20	0.09	0.14	0.02	0.08	24	38.62	187	86.11
40	0.18	0.29	0.03	0.11	17	27.36	187	86.11
60	0.32	0.51	0.05	0.19	27	43.45	187	86.11
80	0.46	0.74	0.07	0.26	26	41.84	187	86.11
101	0.62	1.00	0.09	0.34	21	33.80	187	86.11



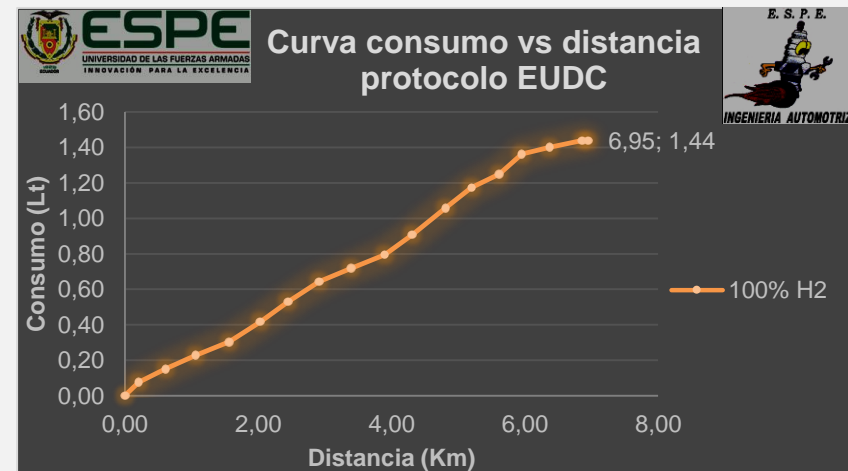
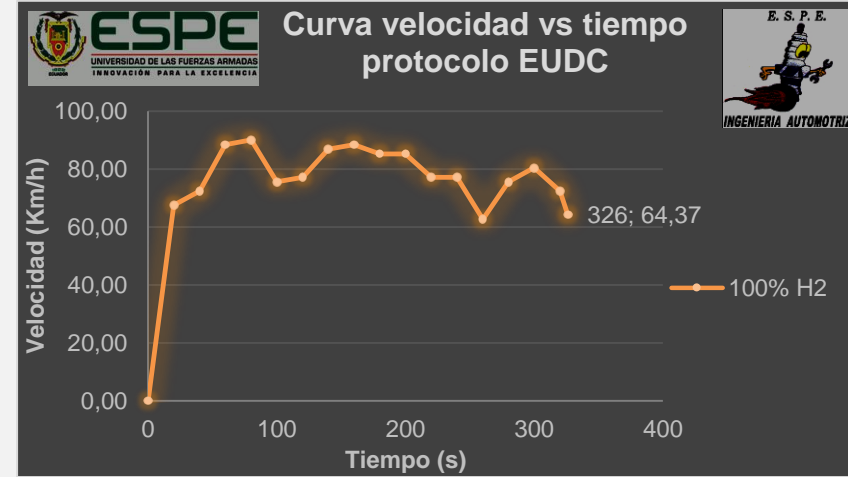
DATOS OBTENIDOS PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EUROPEA ECE-15 + EUDC

Tiempo (seg)	Distancia		Consumo		Velocidad		Temperatura	
	(millas)	(km)	(gal)	(litros)	(millas/h)	(km/h)	°F	°C
Tercera etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	185	85.00
20	0.08	0.13	0.02	0.08	25	40.23	185	85.00
40	0.21	0.34	0.03	0.11	24	38.62	187	86.11
60	0.35	0.56	0.05	0.19	19	30.58	185	85.00
80	0.42	0.68	0.06	0.23	2	3.22	185	85.00
100	0.43	0.69	0.07	0.26	0	0.00	185	85.00
120	0.43	0.69	0.07	0.26	0	0.00	185	85.00
140	0.43	0.69	0.08	0.30	0	0.00	185	85.00
160	0.53	0.85	0.1	0.38	27	43.45	185	85.00
173	0.62	1.00	0.11	0.42	11	17.70	187	86.11
Cuarta etapa								
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	187	86.11
20	0.07	0.11	0.01	0.04	23	37.01	185	85.00
40	0.2	0.32	0.03	0.11	23	37.01	185	85.00
60	0.32	0.51	0.05	0.19	24	38.62	187	86.11
80	0.46	0.74	0.07	0.26	21	33.80	187	86.11
110	0.62	1.00	0.09	0.34	20	32.19	187	86.11



DATOS OBTENIDOS PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EUROPEA ECE-15 + EUDC

PROTOCOLO EUDC QUINTA ETAPA 100% HIDRÓGENO

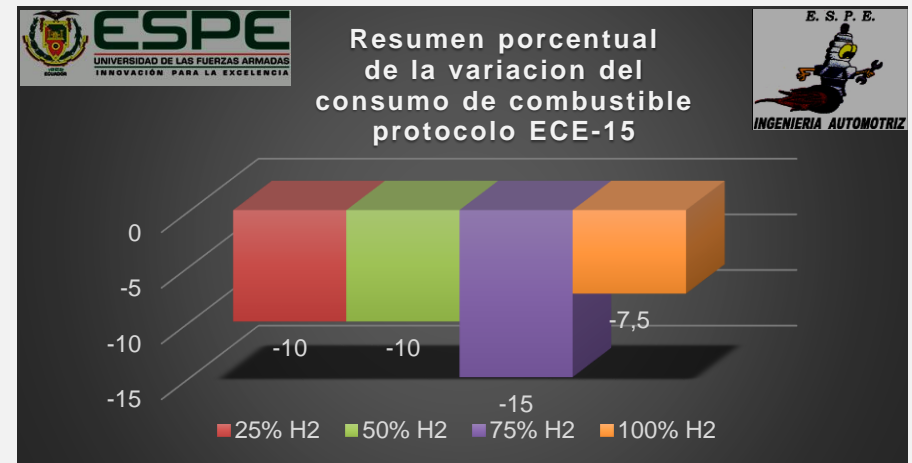
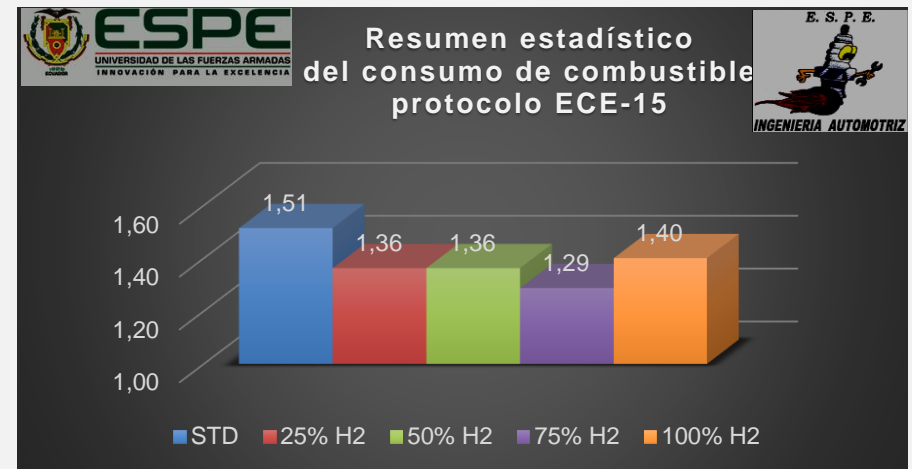
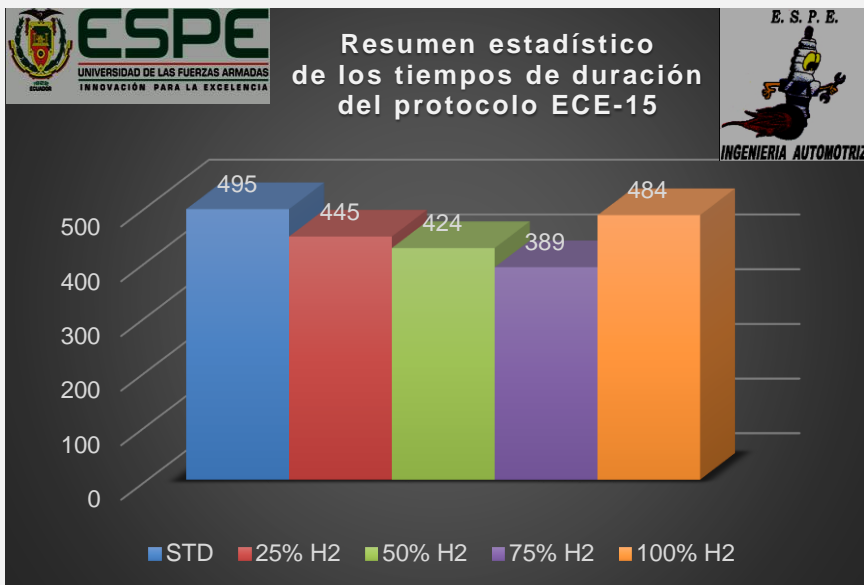


Tiempo (seg)	Distancia (millas)	Distancia (km)	Consumo (gal)	Consumo (litros)	Velocidad (millas/h)	Velocidad (km/h)	Temperatura (°F)	Temperatura (°C)
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	183	83.89
40	0.38	0.61	0.04	0.15	45	72.42	187	86.11
80	0.97	1.56	0.08	0.30	56	90.12	183	83.89
120	1.52	2.45	0.14	0.53	48	77.25	187	86.11
160	2.11	3.40	0.19	0.72	55	88.51	185	85.00
200	2.68	4.31	0.24	0.91	53	85.30	185	85.00
240	3.23	5.20	0.31	1.17	48	77.25	187	86.11
280	3.7	5.95	0.36	1.36	47	75.64	189	87.22
320	4.26	6.86	0.38	1.44	45	72.42	183	83.89
326	4.32	6.95	0.38	1.44	40	64.37	181	82.78

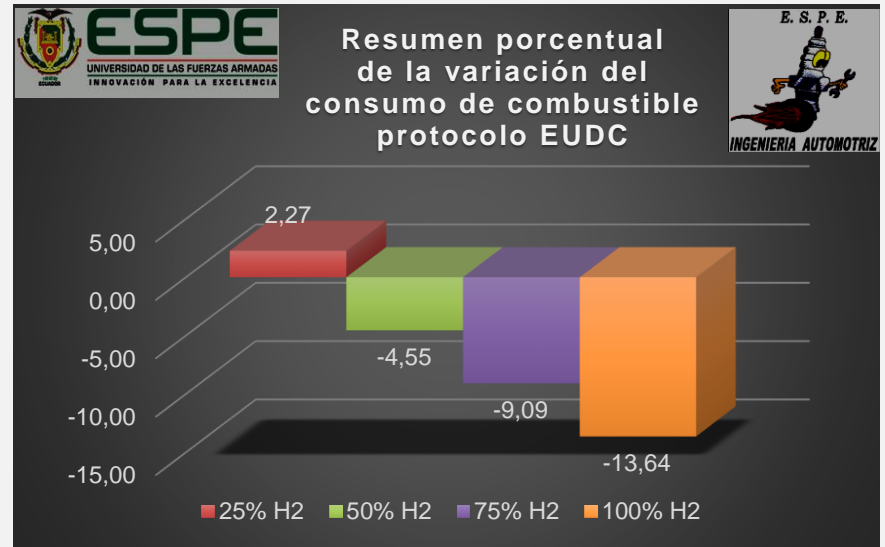
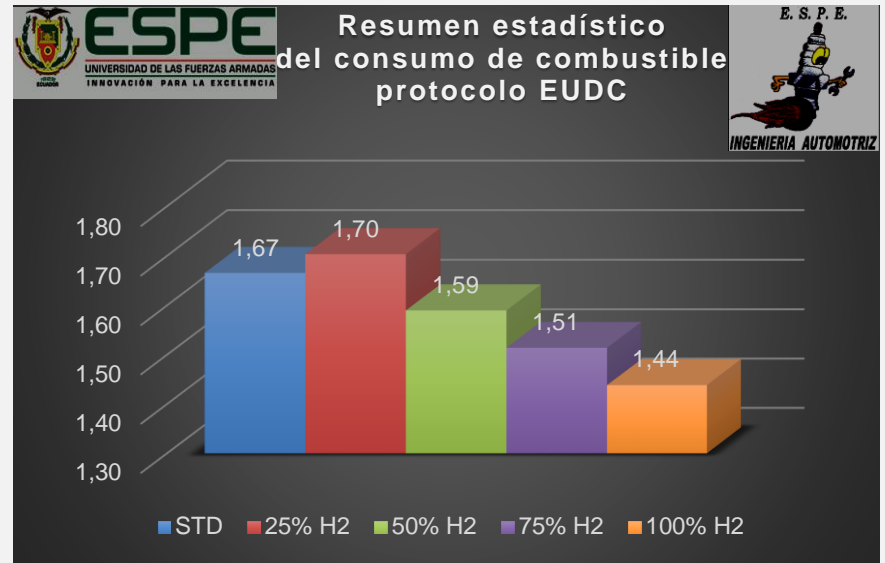
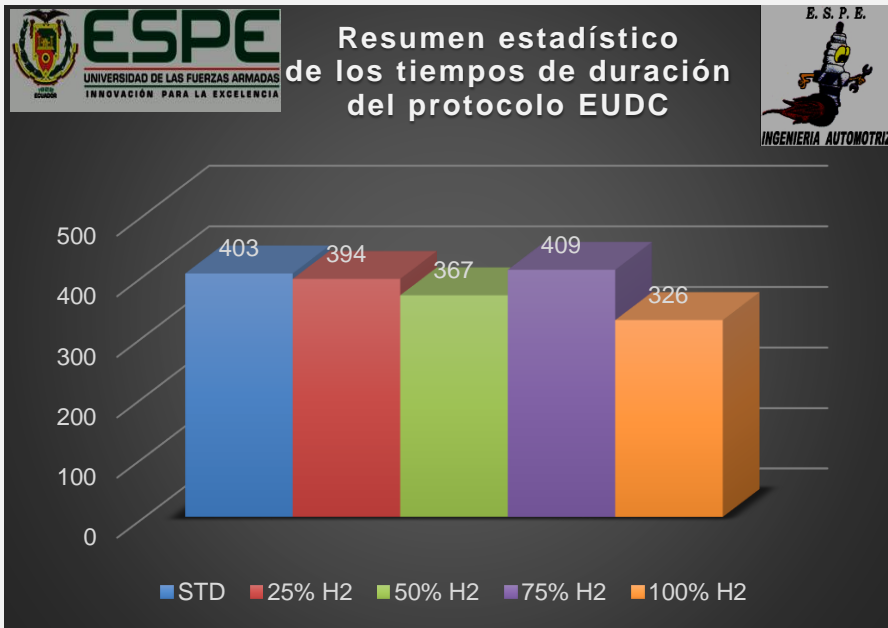


RESUMEN ESTADÍSTICO PROTOCOLO ECE15+EUDC

CUATRO ETAPAS ECE 15



QUINTA ETAPA EUDC



CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS

- Caudal de combustible
- Consumo volumétrico de aire teórico
- Consumo másico de combustible
- Consumo másico de aire
- La densidad del aire para motores sobrealimentados
- Eficiencia volumétrica
- Consumo específico de combustible
- Presión media del ciclo
- Rendimiento térmico, mecánico e indicado



Caudal de combustible (FTP-75)

$$\dot{V}_c = \frac{V_p}{t}$$
$$\dot{V}_c = \frac{3,86 \text{ lt}}{967 \text{ s}} * \frac{0,001 \text{ m}^3}{1 \text{ lt}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$
$$\dot{V}_c = 0,0144 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Consumo másico de combustible

$$\dot{m}_c = \dot{V}_c * \rho_{\text{diesel}}$$
$$\dot{m}_c = 0,0144 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 831 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$
$$\dot{m}_c = 11,97 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Consumo volumétrico de aire teórico

$$VD = \left(\frac{\pi * D^2}{4} \right) * (s) * (i) * \left(\frac{\bar{N}}{60 * Ki} \right)$$
$$VD = \left(\frac{\pi * (0,0954 \text{ m})^2}{4} \right) * (0,1049 \text{ m}) * (4) * \left(\frac{2900 \text{ rpm}}{60 * 2} \right)$$
$$VD = 0,0725 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \rightarrow 0,001208 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Consumo másico de aire

$$RAF = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c}$$
$$\dot{m}_a = RAF * \dot{m}_c$$
$$\dot{m}_a = 8,032 * 11,94 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$
$$\dot{m}_a = 95,9 \text{ Kg/h}$$



La densidad del aire para motores sobrealimentados

$$(P_a = 0,9 * P_s)$$

$$\rho_{as} = \frac{P_a}{P_o} * \rho_o$$

$$\rho_{as} = \frac{0,9 * P_s}{P_o} * \rho_o$$

$$\rho_{as} = \frac{0,9 * 5,392 \text{ Psi}}{1 \text{ atm}} * \frac{1 \text{ atm}}{14,7 \text{ Psi}} \left(0,867 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$\rho_{as} = 0,2862 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Eficiencia volumétrica

$$n_v = \frac{m_a}{VD * \rho_{as}}$$

$$n_v = \frac{95,9 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}}{0,0725 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 0,2862 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$n_v = 77,03 \%$$

Consumo específico de combustible

$$CEC = \frac{m_c}{P_f}$$

$$CEC = \frac{11,94 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}}{107,38 \text{ kW}}$$

$$CEC = 0,11 \frac{\text{Kg}}{\text{kW} * \text{h}}$$

Presión media del ciclo

$$P_{mc} = \frac{T}{Vh} * i$$

$$P_{mc} = \frac{260,7 \text{ Lb} * \text{ft} * \frac{1,35582 \text{ N} * \text{m}}{1 \text{ Lb} * \text{ft}}}{0,000750 \text{ m}^3} * 4$$

$$P_{mc} = 1885132,128 \text{ Pa} \rightarrow 18,85 \text{ bar}$$



Rendimiento térmico

$$nt = P_{mc} * \frac{(\varepsilon - 1) * (k - 1)}{P_a * \varepsilon^k * k * (\rho - 1)}$$
$$nt = 1885132,128 Pa * \frac{(18,3 - 1) * (1,41 - 1)}{101324,9966 Pa * 18,3^{(1,41)} * 1,41 * (4 - 1)}$$
$$nt = 51,77 \%$$

Rendimiento mecánico

$$nm = \frac{\text{Potencia al freno}}{\text{Potencia indicada}}$$

$$nm = \frac{109,5 \text{ hp}}{134 \text{ hp}}$$

$$nm = 81,71 \%$$

Rendimiento indicado

$$ni = \frac{nt}{nm}$$

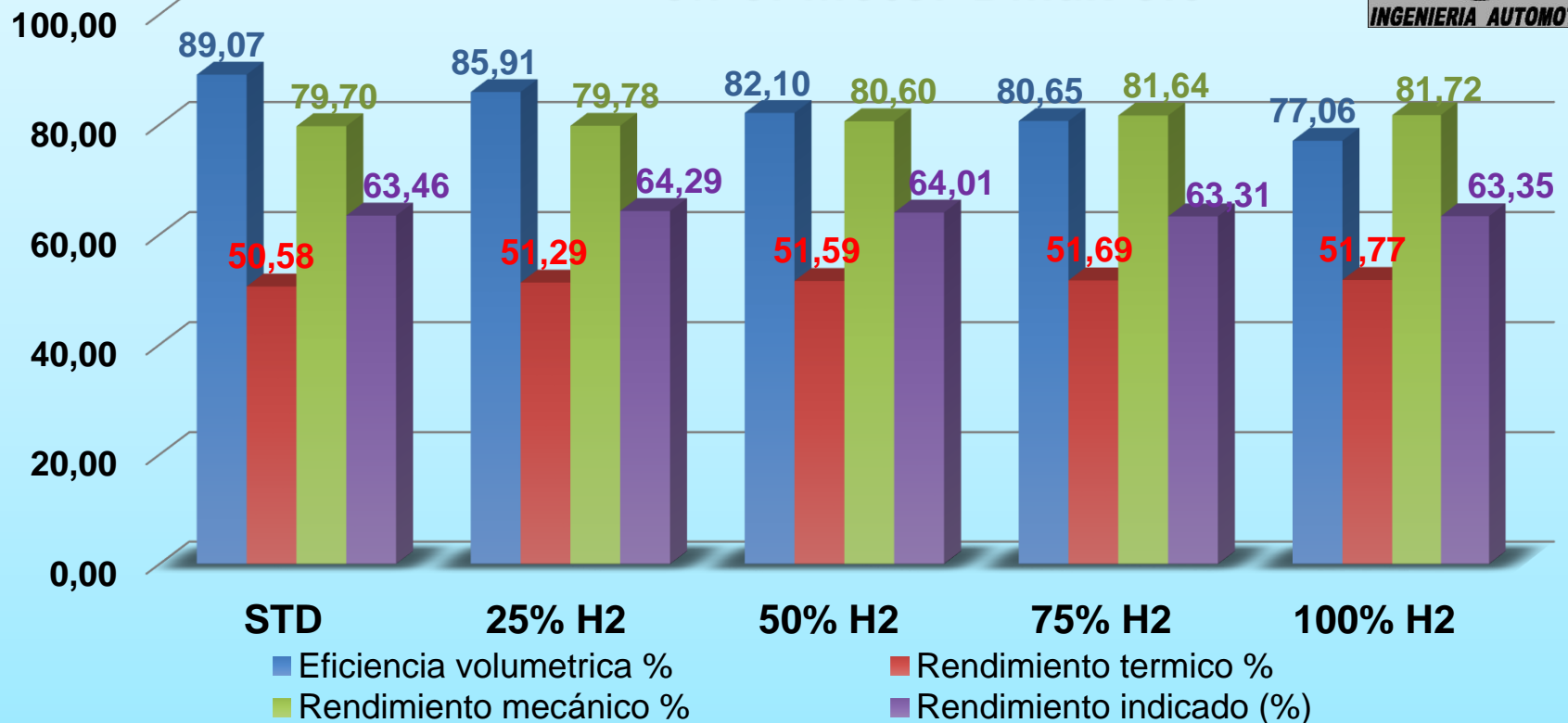
$$ni = \frac{0,518}{0,817} * 100$$

$$ni = 63,4 \%$$



Influencia del potencial energético del hidrógeno en el motor Dmax 3.0

Influencia del potencial energético del hidrógeno en el motor Dmax 3.0



TALENTO HUMANO

Grupo de talento de apoyo	Dario Borja	Investigadores
	Jhon Jara	Investigadores
	Alex Cevallos	Director del proyecto de titulación
	Germán Erazo	Docente investigador
	Leonidas Quiroz	Jefe de Laboratorio Mecánica de patio (Medición análisis de gases)
	José Quiroz	Jefe Laboratorio Autotrónica (Uso de instrumentación)



GASTOS PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

Gastos producción de hidrógeno				
Nº	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Generador de hidrógeno	1	300.00	300.00
2	Deposito	1	50.00	50.00
3	Agua destilada	3lt	1.00	3.00
4	Hidróxido de potasio	100gr	5.00	20.00
TOTAL				372.00

Gastos pruebas realizadas				
Nº	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Pruebas torque y potencia	5	100.00	500.00
2	Pruebas de opacidad	15	0	0
3	Pruebas de gases	60	0	0
4	Pruebas de consumo de combustible	15	0	0
TOTAL				500.00



PROPUESTA

- En 17.77 km ahorro 0.87 litros de diésel según FTP-75.
- Promedio anual que recorre un vehículo de este tipo de 25000 kilómetros se tiene un ahorro de 1223.97 litros de diésel convirtiéndose en 323.34 galones tomando el precio actual de \$1.03 por galón tenemos un ahorro de \$333.04 anuales

ITEM	COSTO
Generador de hidrógeno + deposito	350.00
Mangueras	10.00
Cable	1.60
Taípe	0.50
Aseguradores	1.00
Pernos	1.80
Protectores plásticos	3.00
Neplos	10.00
Abrazaderas plásticas	2.00
Talento humano	50.00
Total	429.90

ÍTEM	INVERSIÓN INICIAL	VALOR UNITARIO	VALOR ANUAL
Implementación	429.90		
Mantenimiento generador de hidrógeno		20.00	40.00
Insumos generador de hidrógeno		23.00	46.00
Total			86.00



AÑOS	0	1	2	3	4	5
Inversión	429.90					
Ingresos		333.04	333.04	333.04	333.04	333.04
Egresos		86.00	86.00	86.00	86.00	86.00
Flujos	(429.90)	247.04	247.04	247.04	247.04	247.04

Desembolso Inicial
-429,90

Tasa de Actualización porcentual
10

Flujos de Caja

Añadir Flujo

1 247,04
2 247,04
3 247,04
4 247,04
5 247,04
6
7
8
9 Max: 50

Borrar Seleccionado

Resultado

VAN: 460,52
TIR: 49,9%

La inversión se recupera en 1 año 8 meses y 27 días.



CONCLUSIONES

- Se investigó el comportamiento mecánico y térmico del motor diésel de la camioneta Chevrolet D-Max 3.0 CRDI con la implementación del generador de hidrógeno HE4-3500 al 25%, 50%, 75% y 100% de su capacidad máxima de funcionamiento, comportándose de la mejor manera en la etapa del 100% de su generación, con la producción de 4 litros por minuto.
- Se recopiló información confiable para el desarrollo de la investigación consiguiendo una base teórica firme, con el aporte de libros, artículos científicos, tesis, manuales, normas y fichas técnicas.
- Se fundamentó los requerimientos técnicos del sistema generador de hidrógeno para la obtención de 4 litros por cada minuto en su máxima capacidad con 12 voltios de alimentación y 20 amperios de consumo de corriente.
- La selección del generador de hidrógeno fue el equipo HE4-3500 que cumplió los requerimientos de la investigación con 8 placas ánodo-cátodo y 23 neutrales, una alimentación de 12 voltios y un consumo máximo aproximado de 20 A y la producción de 4 litros.



- Se implementó el generador de hidrógeno en la camioneta Chevrolet D-Max 3.0 CRDI satisfactoriamente en la parte delantera del motor siendo el lugar adecuado para el llenado y revisión habitual del equipo.
- El suministro de hidrógeno al motor en sus diferentes etapas se las realizó mediante el módulo de control cuyo corazón fue el circuito PWM HHO RC – 10000137 el cual controlaba la corriente suministrada al generador de hidrógeno para obtener el 25%, 50%, 75% y 100% de su capacidad
- Se realizó las pruebas de rendimiento mecánico (torque y potencia) así también las pruebas de opacidad y análisis de gases de escape y las de consumo de combustible en todas las etapas de generación de hidrógeno.
- Se tabuló los resultados de las pruebas para obtener las curvas de comportamiento del motor, así como las gráficas comparativas de gases de escape y consumo de combustible.



- Se determinó que la proporción óptima es del 100% de la generación de hidrógeno, ya que elevó la potencia y el torque más que las otras proporciones, la opacidad en esta etapa obtuvo la mayor reducción así como los gases no fueron afectados mayormente, y en tanto al consumo de combustible en los tres protocolos de prueba se obtuvo el mejor resultado a la máxima inyección de hidrógeno.
- Las pruebas de potencia se realizó en el dinamómetro Dynamite 4400 2WD IO Chassis Dyno cuyos resultados fueron favorables en todas las etapas de inyección de hidrógeno, siendo el más representativo la etapa de 100% de generación de hidrógeno con un aumento de 3.3 HP de 140,7 HP en motor estándar a 144 HP con hidrógeno representando un aumento del 2,35%
- Se evidencio con la inyección del 100% de generación de hidrógeno el aumento del torque en un 2.36% referente al motor estándar subiendo 6 ft*lb de un valor de 254.7 ft*lb a 260.7 ft*lb en el dinamómetro.



- Las pruebas de opacidad que se realizó en el opacímetro Cartek dieron resultados positivos en la inyección de hidrógeno al 100%, tomando el valor promedio de 3 pruebas en cada etapa, se evidencio la disminución del 1.12% en motor estándar a 0.53% con hidrógeno representado esta reducción en el 53.12 %
- En las pruebas de gases de escape en el AGS-688 el monóxido de carbono descendió en todas las etapas de inyección de hidrógeno ya que aumenta la velocidad de llama siendo el más significativo en la etapa del 50% de hidrógeno con la disminución del 9.68% del valor referencial con motor estándar reduciendo de 0.103 %vol a 0.093%vol con hidrógeno, con nuestra selección del 100% de hidrógeno el CO disminuyó el 6.45% a un valor de 0.097%vol, siendo favorable ya que se disminuye los gases y se ayuda al medio ambiente.
- El dióxido de carbono sufrió alteraciones con la adición de hidrógeno disminuyendo en la etapa del 25% de hidrógeno con la disminución del 0.39% del valor referencial con motor estándar reduciendo de 2.133 %vol a 2.125%vol con hidrógeno, con nuestra selección del 100% de hidrógeno el dióxido de carbono aumentó su valor en un 3.12% a un valor de 2.200%vol, siendo este valor permisible y entrando en el rango estimado de aumento de emisiones de escape.



- Se analizó los hidrocarburos combustionados sufriendo un aumento en sus valores en todas las etapas, pero manteniéndose en el rango de ascenso planteado, siendo en la inyección del 100% de hidrógeno con el aumento de 3.75 ppm vol del valor referencial con motor estándar aumentando de 1.00 ppm vol a 4.75 ppm vol con hidrógeno.
- Los resultados obtenidos de hidrocarburos presentan un aumento notable siendo el más alto y significativo con 5,25 ppm volumen con 75% de inyección de hidrógeno, los datos de HC se registraron en un régimen de trabajo alto más de 3000 revoluciones por minuto esto hace que exista ausencia de oxígeno aumentando de tal manera los hidrocarburos.
- La medición de óxidos de nitrógeno presenta un aumento del 13,81% con una diferencia de 18.17 ppm vol en comparación con el resultado obtenido a motor estándar este incremento se debe a que con la presencia de hidrógeno en la cámara de combustión aumenta la velocidad de llama existiendo un lapso en el que existe compresión de gases combustionados con mayor temperatura y presión originándose de tal manera la cantidad de óxidos de nitrógeno



- Existe una disminución de consumo de combustible mediante el protocolo FTP-75 el cual describe una ruta de carretera, siendo el valor más representativo al inyectar 100% de hidrógeno disminuyendo 0.87 litros de diésel en 17.77km recorridos representando el ahorro de un 18.4% y con su prueba complementaria SFTP-SC03 tuvo un ahorro de 0.49 litros representando un 30.23% de ahorro en 5.8 km encendido el aire acondicionado.
- Al calcular el consumo específico de combustible con los datos obtenidos del protocolo de consumo FTP-75 tanto para motor estándar y con inyección del 100% de hidrógeno se presenta valores de $0,14 \frac{Kg}{KW*h}$ y $0,11 \frac{Kg}{KW*h}$ respectivamente presentando una disminución de combustible del 21.43% es decir se necesita menos combustible para realizar cierta cantidad de trabajo durante un tiempo específico.



- Al calcular el rendimiento térmico tanto para motor estándar y con inyección del 100% de hidrógeno se obtuvieron resultados de 50,57% y 51,77% respectivamente obteniendo un aumento del 1,2% siendo un resultado favorable ya que se aprovecha más cantidad de calor para realizar trabajo, teniendo en cuenta que dicho cálculo está en función del consumo de combustible realizado bajo el protocolo FTP-75
- Se obtuvo el rendimiento mecánico en las condiciones de trabajo para el motor en manera estándar y con inyección de hidrógeno del 100% se calculó un 79,7% y 81,72% respectivamente afirmando un aumento del 2,02% siendo un resultado favorable ya que se aprovecha más cantidad de trabajo mecánico considerando las pérdidas que existen por rozamiento, distribución u otro elemento del motor.
- Al realizar el cálculo del rendimiento indicado tanto para motor estándar y con inyección del 100% de hidrógeno se obtuvieron resultados de 63,45% y 63,35% respectivamente obteniendo un disminución del 0,1% siendo un resultado despreciable pues la calidad con que se transforma la energía almacenada en el combustible en energía mecánica sobre el pistón no varía significativamente.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda efectuar un estudio acerca de la obtención de hidrógeno e inyección en motores diésel en una mayor cantidad a la realizada en esta investigación (4 litros por cada minuto), tomando como requerimiento la corriente necesaria para el generador de hidrógeno, siendo esta proporcionada por la batería del vehículo o una fuente de energía externa.
- Realizar el mantenimiento previo del vehículo antes de realizar cualquier prueba de rendimiento mecánico y térmico para no obtener datos erróneos, también el motor debe tener la temperatura de funcionamiento en todo el tiempo de prueba.
- Se recomienda realizar el mantenimiento preventivo del generador de hidrógeno cada 6 meses para que su funcionamiento no se vea alterado, tomando en cuenta que el motor del vehículo así como el generador deben estar apagado.



- Mantener el nivel adecuado de agua destilada con electrolito en el depósito del generador de hidrógeno, siendo el 75% de su capacidad máxima.
- Se recomienda tener precaución en el manejo de los equipos de medición para no tener ningún inconveniente o daño.
- Realizar la calibración previa de los equipos de medición antes de realizar las pruebas para no visualizar datos erróneos.
- Se recomienda realizar la investigación sobre la durabilidad del generador de hidrógeno implementado en un vehículo con motor diésel para verificar su ciclo de funcionamiento útil y su rendimiento a diferentes horas de trabajo.

