



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**Departamento de Ciencias de Energía y Mecánica
Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz.**

Pruebas de rendimiento y emisiones de gases de escape antes y después de la implementación del sistema de generación de hidrógeno en el motor LCU 1.4 LS-III.

Autor: Canchigña Chingay, Nicolás Paul

Directora de tesis: Ing. Amaya Sandoval, Stefania Matilde





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVO GENERAL

- Realizar pruebas de rendimiento y emisiones de gases de escape antes y después de la implementación del sistema de generación de hidrógeno en el motor.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Investigar y analizar los principios de funcionamiento del hidrógeno como combustible, sus efectos en la combustión y su influencia en la eficiencia del motor.
- Realizar las pruebas experimentales, recopilando y registrando datos precisos sobre el rendimiento del motor y las emisiones contaminantes durante cada prueba.
- Analizar y comparar los datos recopilados durante las pruebas para evaluar cómo el uso de hidrógeno afecta el rendimiento del motor, incluyendo la potencia, el consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes.

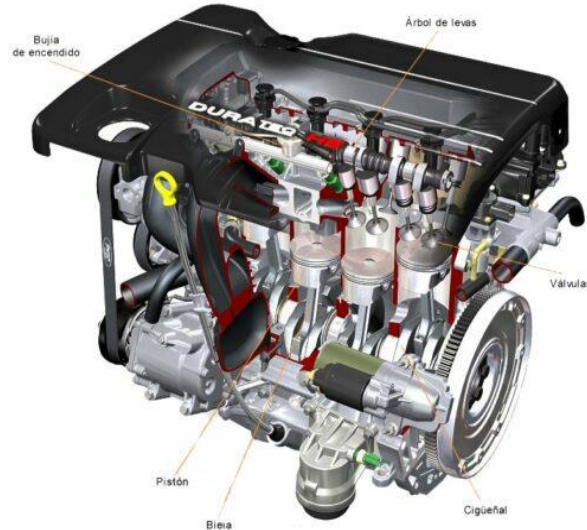


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

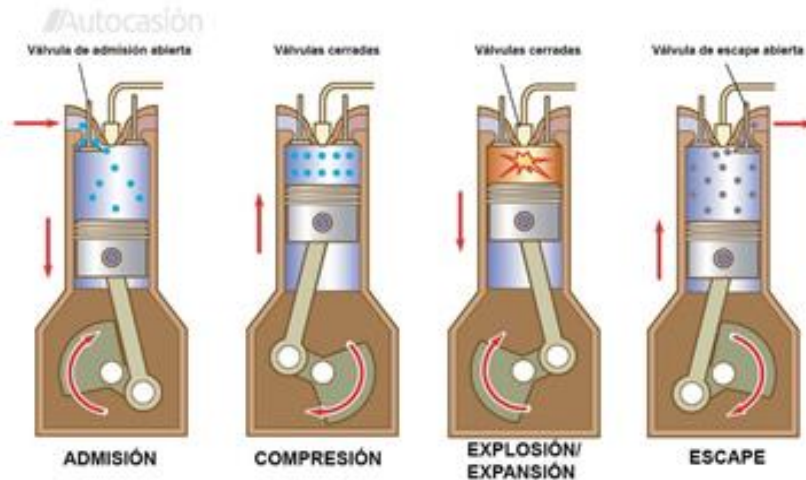
MOTOR A GASOLINA

Es un tipo de motor de combustión interna que funciona mezclando aire y gasolina dentro de una cámara de combustión. Encargado de transformar la energía de la explosión producida por la mezcla de oxígeno y combustible, en energía mecánica.



Ciclo Otto

Es un ciclo termodinámico ideal que describe el funcionamiento de los motores de combustión interna de encendido por chispa, como los motores de gasolina. Se compone de cuatro fases:



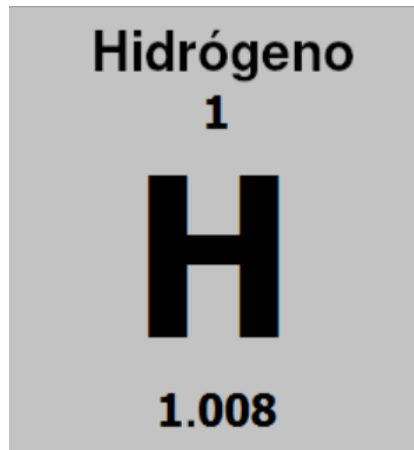


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EL HIDRÓGENO

El es el elemento químico más ligero y abundante del universo. Es un gas incoloro, inodoro e insípido con el símbolo H y número atómico 1.



El hidrógeno es un combustible limpio y eficiente que no produce emisiones de carbono.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EMISIONES CONTAMINANTES

Las emisiones contaminantes son la liberación de sustancias o formas de energía al medio ambiente que pueden degradar su calidad. Estas emisiones pueden tener un impacto negativo en la salud humana, animales, los ecosistemas y el clima.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 2204

Establece los límites máximos de emisiones de gases contaminantes para vehículos automotores que funcionan con gasolina.

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralenti (prueba estática)

| Año modelo | % CO ^a | | ppm HC ^a | |
|--------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | 0 - 1500 ^b | 1500 - 3000 ^b | 0 - 1500 ^b | 1500 - 3000 ^b |
| 2000 y posteriores | 1,0 | 1,0 | 200 | 200 |
| 1990 a 1999 | 3,5 | 4,5 | 650 | 750 |
| 1989 y anteriores | 5,5 | 6,5 | 1000 | 1200 |

^a Volumen
^b Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica) (Directiva de la UE 98/69/CE)

- Monóxido de carbono (CO): 6,5% en ralenti y 3,5% a 2500 rpm.
- Hidrocarburos no quemados (HC): 1000 ppm en ralenti y 100 ppm a 2500 rpm.
- Óxidos de nitrógeno (NO_x): 1000 ppm en ralenti y 250 ppm a 2500 rpm.
- Partículas en suspensión : 1% en ralenti y 0,5% a 2500 rpm.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

HERRAMIENTAS



Analizador de gases.



Medidor de Amperaje



Scanner



Medidor de temperatura



Termocupla



Generador de Hidrógeno



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS PARA LA OBTENCIÓN DE PARÁMETROS

Toma de datos de temperatura

| DEPURADOR | TIEMPO | MÚLTIPLE |
|-----------|--------|----------|
| 20° | 11:05 | 19° |
| 21° | 11:15 | 204° |
| 21° | 11:25 | 244° |
| 22° | 11:35 | 255° |
| 23° | 11:45 | 263° |
| 26° | 11:55 | 280° |
| 26° | 12:05 | 280° |
| 26° | 12:15 | 253° |
| 27° | 12:25 | 258° |
| 27° | 12:35 | 265° |
| 27° | 12:45 | 183° |

| DEPURADOR | TIEMPO | MÚLTIPLE |
|-----------|--------|----------|
| 20° | 12:15 | 19° |
| 22° | 12:25 | 151° |
| 23° | 12:35 | 163° |
| 24° | 12:45 | 186° |
| 25° | 12:55 | 260° |
| 25° | 13:05 | 258° |
| 26° | 13:15 | 268° |
| 26° | 13:25 | 269° |
| 27° | 13:35 | 258° |

| DEPURADOR | TIEMPO | MÚLTIPLE |
|-----------|--------|----------|
| 22° | 11:55 | 20° |
| 21° | 12:05 | 168° |
| 21° | 12:10 | 200° |
| 21° | 12:15 | 224° |
| 21° | 12:20 | 275° |
| 22° | 12:25 | 300° |
| 22° | 12:30 | 291° |
| 22° | 12:35 | 287° |
| 23° | 12:40 | 279° |
| 25° | 12:45 | 275° |
| 25° | 12:50 | 260° |
| 26° | 12:55 | 254° |



PRUEBAS PARA LA OBTENCIÓN DE PARÁMETROS

Toma de datos de temperatura y gases contaminantes con gasolina.

| DEPURADOR | TIEMPO | MÚLTIPLE |
|-----------|--------|----------|
| 20° | 11:05 | 19° |
| 21° | 11:15 | 204° |
| 21° | 11:25 | 244° |
| 22° | 11:35 | 255° |
| 23° | 11:45 | 263° |
| 26° | 11:55 | 280° |
| 26° | 12:05 | 280° |
| 26° | 12:15 | 253° |
| 27° | 12:25 | 258° |
| 27° | 12:35 | 265° |
| 27° | 12:45 | 183° |



| Parámetros | Gasolina | | |
|------------|----------|---------|---------|
| | 800 | 1500 | 2500 |
| O2 | 2.26 % | 2.14 % | 2.09 % |
| CO2 | 11.2 % | 11.6 % | 12.9 % |
| CO | 0.23 % | 0.31% | 0.57 % |
| NO | --- | --- | --- |
| HC | 93 ppm | 194 ppm | 160 ppm |
| LAMBDA / | 1.12 | 1.11 | 1.07 |
| AFR | 0.29 % | 0.32 % | 0.99 % |
| COK | --- | --- | --- |
| NOx | --- | --- | --- |



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS PARA LA OBTENCIÓN DE PARÁMETROS

Toma de datos de temperatura y emisiones contaminantes con gasolina e hidrógeno

| DEPURADOR | TIEMPO | MÚLTIPLE | AMPERIOS |
|-----------|--------|----------|----------|
| 28° | 13:40 | 258° | 15.8 |
| 28° | 13:45 | 264° | 15.1 |
| 29° | 13:50 | 257° | 14.9 |
| 29° | 13:55 | 249° | 14.3 |
| 28° | 14:0 | 255° | 14.4 |
| 28° | 14:05 | 251° | 14.5 |
| 28° | 14:10 | 245° | 14.5 |
| 29° | 14:15 | 245° | 13.9 |
| 29° | 14:20 | 245° | 13.5 |
| 29° | 14:25 | 240° | 12.4 |



| Parámetros | Gasolina e Hidrógeno | | |
|-----------------|----------------------|---------|--------|
| | RALENTÍ | 1500 | 2500 |
| O ₂ | 2.32 % | 2.23 % | 2.14 % |
| CO ₂ | 10.6 % | 12.0 % | 13.0 % |
| CO | 0.09 % | 0.02% | 0.01 % |
| NO | --- | --- | --- |
| HC | 109 ppm | 138 ppm | 71 ppm |
| LAMBDA / AFR | 1.14 | 1.12 | 1.11 |
| COK | 0.12 % | 0.03 % | 0.01 % |
| NO _x | --- | --- | --- |



CÁLCULOS DE LA EFICIENCIA TÉRMICA CON GASOLINA

| RELACION DE COMPRESION | COEFICIENTE ADIABATICO |
|------------------------|------------------------|
| 10,2 | 1,4 |
| Lamba con gasolina | |
| rpm | lambda |
| 800 | 1,12 |
| 1500 | 1,11 |
| 2500 | 1,07 |
| promedio | 1,1 |

| DEPURADOR | MÚLTIPLE | Temperatura de admisión (°K) | Temperatura en múltiple de escape (°K) | Temperatura de expansión (°K) | Temperatura de combustión (°K) | Temperatura de compresión (°K) | Eficiencia térmica |
|-----------|----------|------------------------------|--|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| | | T_a | | $T_b = \lambda T_a$ | $T_z = \lambda \epsilon^{k-1} T_a$ | $T_c = T_a \epsilon^{k-1}$ | $\eta_t = 1 - \frac{T_c - T_a}{T_c}$ |
| 21 | 168 | 294 | 441 | 323,40 | 818,80 | 744,37 | 0,3590602 |
| 21 | 200 | 294 | 473 | 323,40 | 818,80 | 744,37 | 0,3590602 |
| 21 | 124 | 294 | 397 | 323,40 | 818,80 | 744,37 | 0,3590602 |
| 21 | 275 | 294 | 548 | 323,40 | 818,80 | 744,37 | 0,3590602 |
| 22 | 300 | 295 | 573 | 324,50 | 821,59 | 746,90 | 0,3590602 |
| 22 | 291 | 295 | 564 | 324,50 | 821,59 | 746,90 | 0,3590602 |
| 22 | 287 | 295 | 560 | 324,50 | 821,59 | 746,90 | 0,3590602 |
| 23 | 279 | 296 | 552 | 325,60 | 824,37 | 749,43 | 0,3590602 |
| 25 | 275 | 298 | 548 | 327,80 | 829,94 | 754,49 | 0,3590602 |
| 25 | 260 | 298 | 533 | 327,80 | 829,94 | 754,49 | 0,3590602 |
| 26 | 254 | 299 | 527 | 328,90 | 832,73 | 757,03 | 0,3590602 |



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CÁLCULOS DE LA EFICIENCIA TÉRMICA ENTRE GASOLINA E HIDRÓGENO

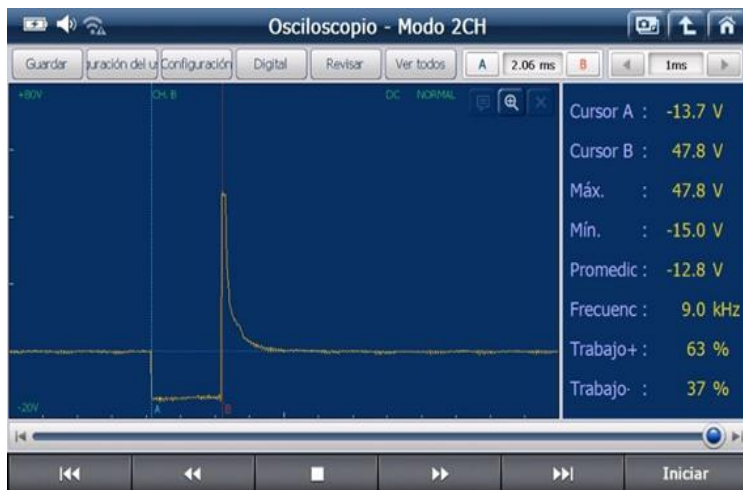
| | |
|--------------------------------|------------|
| Relación de compresión | 10,2 |
| Coefficiente adiabático | 1,4 |
| Lamba con gasolina e hidrógeno | |
| rpm | lambda |
| 800 | 1,14 |
| 1500 | 1,12 |
| 2500 | 1,11 |
| Promedio | 1,12333333 |

| DEPURADOR | MULTIPLE | Temperatura de admisión (°K) | Temperatura en múltiple de escape (°K) | Temperatura de expansión (°K) | Temperatura de combustión (°K) | Temperatura de compresión (°K) | Eficiencia térmica |
|-----------|----------|------------------------------|--|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| | | T_a | | $T_b = \lambda T_a$ | $T_z = \lambda \epsilon^{k-1} T_a$ | $T_c = T_a \epsilon^{k-1}$ | $\eta_e = 1 - \frac{T_c - T_a}{T_c}$ |
| 21 | 204 | 294 | 477 | 321,44 | 813,84 | 744,37 | 0,361249573 |
| 21 | 244 | 294 | 517 | 321,44 | 813,84 | 744,37 | 0,361249573 |
| 22 | 255 | 295 | 528 | 322,53 | 816,61 | 746,90 | 0,361249573 |
| 23 | 263 | 296 | 536 | 323,63 | 819,38 | 749,43 | 0,361249573 |
| 26 | 280 | 299 | 553 | 326,91 | 827,68 | 757,03 | 0,361249573 |
| 26 | 280 | 299 | 553 | 326,91 | 827,68 | 757,03 | 0,361249573 |
| 26 | 253 | 299 | 526 | 326,91 | 827,68 | 757,03 | 0,361249573 |
| 27 | 258 | 300 | 531 | 328,00 | 830,45 | 759,56 | 0,361249573 |
| 27 | 265 | 300 | 538 | 328,00 | 830,45 | 759,56 | 0,361249573 |
| 27 | 183 | 300 | 456 | 328,00 | 830,45 | 759,56 | 0,361249573 |

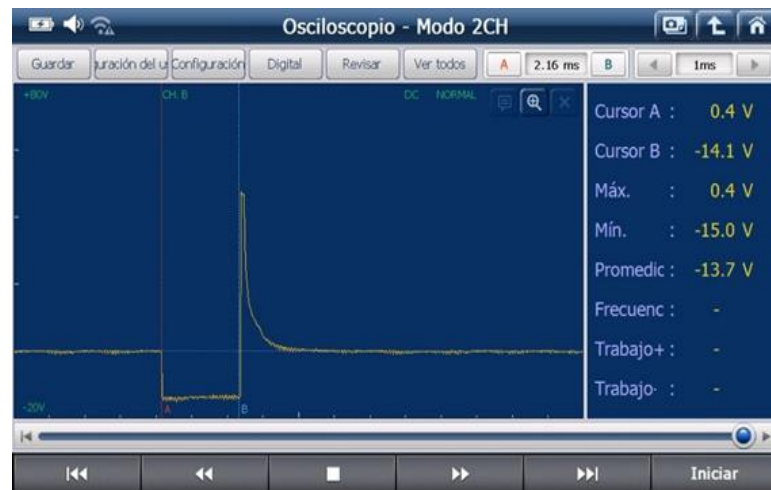


TIEMPOS DE INYECCIÓN

Gasolina



Gasolina e Hidrógeno





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RELACION DE DATOS

Relación de emisiones contaminantes entre gasolina y gasolina e hidrógeno.

| PARÁMETROS | GASOLINA | | | GASOLINA E HIDROGENO | | |
|---------------------|----------|----------|----------|----------------------|----------|----------|
| | 800 | 1500 rpm | 2500 rpm | 800 | 1500 rpm | 2500 rpm |
| CO2 (%V) | 11.2 % | 11.6 % | 12.9 % | 10.6 % | 12.0 % | 13.0 % |
| CO(%V) | 0.23 % | 0.31 % | 0.57 % | 0.09 % | 0.02 % | 0.01 % |
| O2(%V) | 2.26 % | 2.14 % | 2.09 % | 2.32 % | 2.23 % | 2.14 % |
| HC | 93 ppm | 194 ppm | 160 ppm | 109 ppm | 138 ppm | 71ppm |
| LAMBDA / AFR | 1.12 | 1.13 | 1.13 | 1.14 | 1.15 | 1.14 |
| COK | 0.29 % | 0.32 % | 0.99 % | 0.12 % | 0.03 % | 0.01% |



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

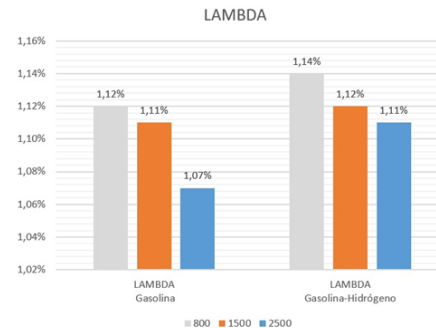
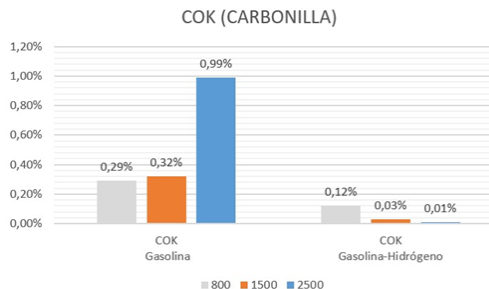
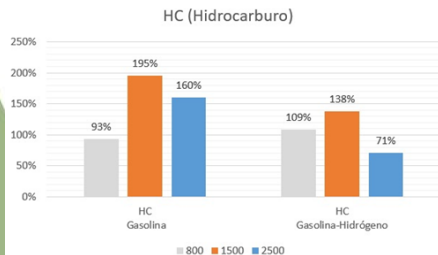
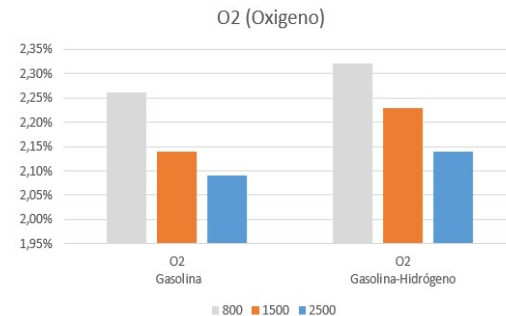
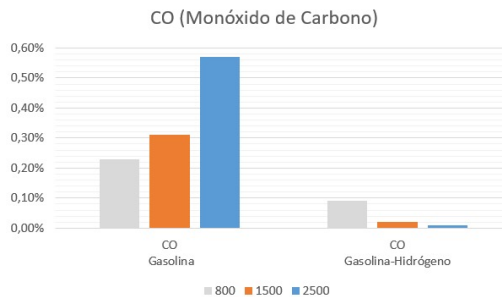
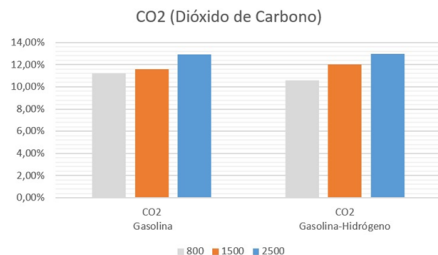
Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina
(prueba dinámica) (Directiva de la UE 98/69/CE)

- Monóxido de carbono (CO): 6,5% en ralentí y 3,5% a 2500 rpm.
- Hidrocarburos no quemados (HC): 1000 ppm en ralentí y 100 ppm a 2500 rpm.
- Óxidos de nitrógeno (NOx): 1000 ppm en ralentí y 250 ppm a 2500 rpm.
- Partículas en suspensión : 1% en ralentí y 0,5% a 2500 rpm.

| PARÁMETROS | GASOLINA | | | GASOLINA E HIDROGENO | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------------------|----------|----------|
| | 800 | 1500 rpm | 2500 rpm | 800 | 1500 rpm | 2500 rpm |
| CO2 (%V) | 11.2 % | 11.6 % | 12.9 % | 10.6 % | 12.0 % | 13.0 % |
| CO(%V) | 0.23 % | 0.31 % | 0.57 % | 0.09 % | 0.02 % | 0.01 % |
| O2(%V) | 2.26 % | 2.14 % | 2.09 % | 2.32 % | 2.23 % | 2.14 % |
| HC | 93 ppm | 194 ppm | 160 ppm | 109 ppm | 138 ppm | 71ppm |
| LAMBDA / AFR | 1.12 | 1.13 | 1.13 | 1.14 | 1.15 | 1.14 |
| COK | 0.29 % | 0.32 % | 0.99 % | 0.12 % | 0.03 % | 0.01% |



COMPARACIÓN DE EMISIONES DE GASES



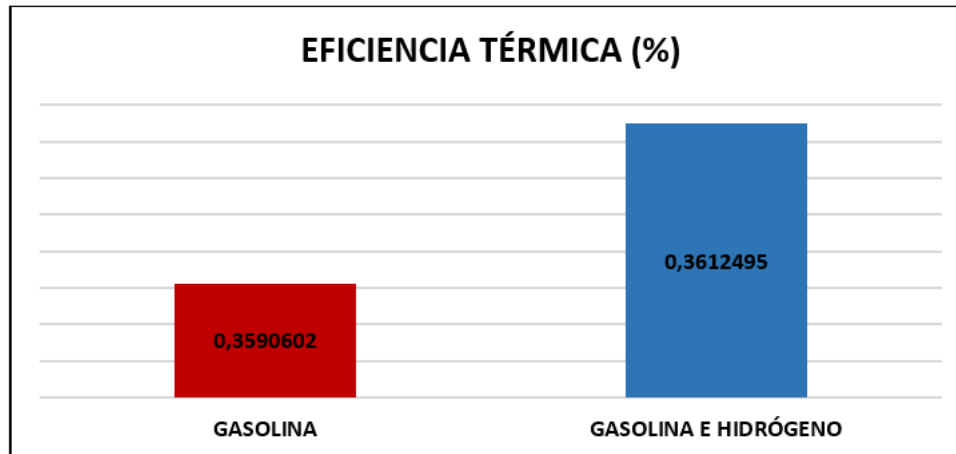


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EFICIENCIA TÉRMICA

| COMBUSTIBLE | EFICIENCIA TÉRMICA (%) |
|----------------------|------------------------|
| GASOLINA | 0,3590602 |
| GASOLINA E HIDRÓGENO | 0,3612495 |





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONCLUSIONES

- Se confirmó que el hidrógeno tiene un gran potencial como combustible ya que trabaja con un octanaje de 130, además ofrece una serie de ventajas sobre la gasolina, como una combustión más limpia y eficiente, un mayor rango de operación y menores emisiones.
- Se realizaron las pruebas en el motor LCU 1.4L S-TEC III, mediante la lectura de temperaturas de admisión y de escape para verificar la eficiencia térmica que trabajaría el motor al emplear el kit de hidrogeno conjuntamente con gasolina.
- Se verificó, que mediante la bujía el comportamiento de la combustión con el sistema dual fuel, como resultado se visualizó una coloración marrón indicando que se genera una mezcla proporcional.
- Se determinó que el uso de gasolina e hidrogeno en el análisis de las emisiones tales como, CO₂, CO, y HC tuvo una disminución considerable en los gases considerados tóxicos, teniendo en cuenta que tiene un alza evidente de 0,27% de O₂, lo que nos indica que estamos dentro del límite permitido en nuestra categoría M, en la norma (NTE INEN 2204).



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONCLUSIONES

- En consecuencia, se ha llegado a comparar los resultados obtenidos entre gasolina y gasolina e hidrogeno, el hidrogeno ayuda al rendimiento del motor, con la estabilidad del mismo, con menor ruido y emisiones contaminantes. Demostrando que la eficiencia del hidrógeno es una alternativa en relación a gasolina.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RECOMENDACIONES

- Se recomienda trabajar con cuidado y con guantes al tratar de manipular el químico hidróxido de sodio al realizar las mezclas.
- Se sugiere que antes de hacer cualquier medición con el analizador de gases se debe de purgar para evitar resultados erróneos.
- Se aconseja que, al momento de tomar medidas de temperatura y amperaje, el intervalo de tiempo sea min de cada 5 min, ya que así tendríamos más datos a considerar.
- Se propone que el motor se encuentre en su temperatura ideal para poder hacer las mediciones correctas.
- Se recomienda revisar bien las fórmulas con las cuales se va a proceder a trabajar, ya que hay diferentes formulas para poder determinar la eficiencia térmica de un motor a gasolina y las de un motor diésel.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Gracias por su atención