



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y

### MECÁNICA

# INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

---

EDWIN FABRICIO TELENCHANA CUSPA

E. S. P. E.



INGENIERIA AUTOMOTRIZ

**DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO**  
**LATACUNGA, MARZO 2018**



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

# **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA:**

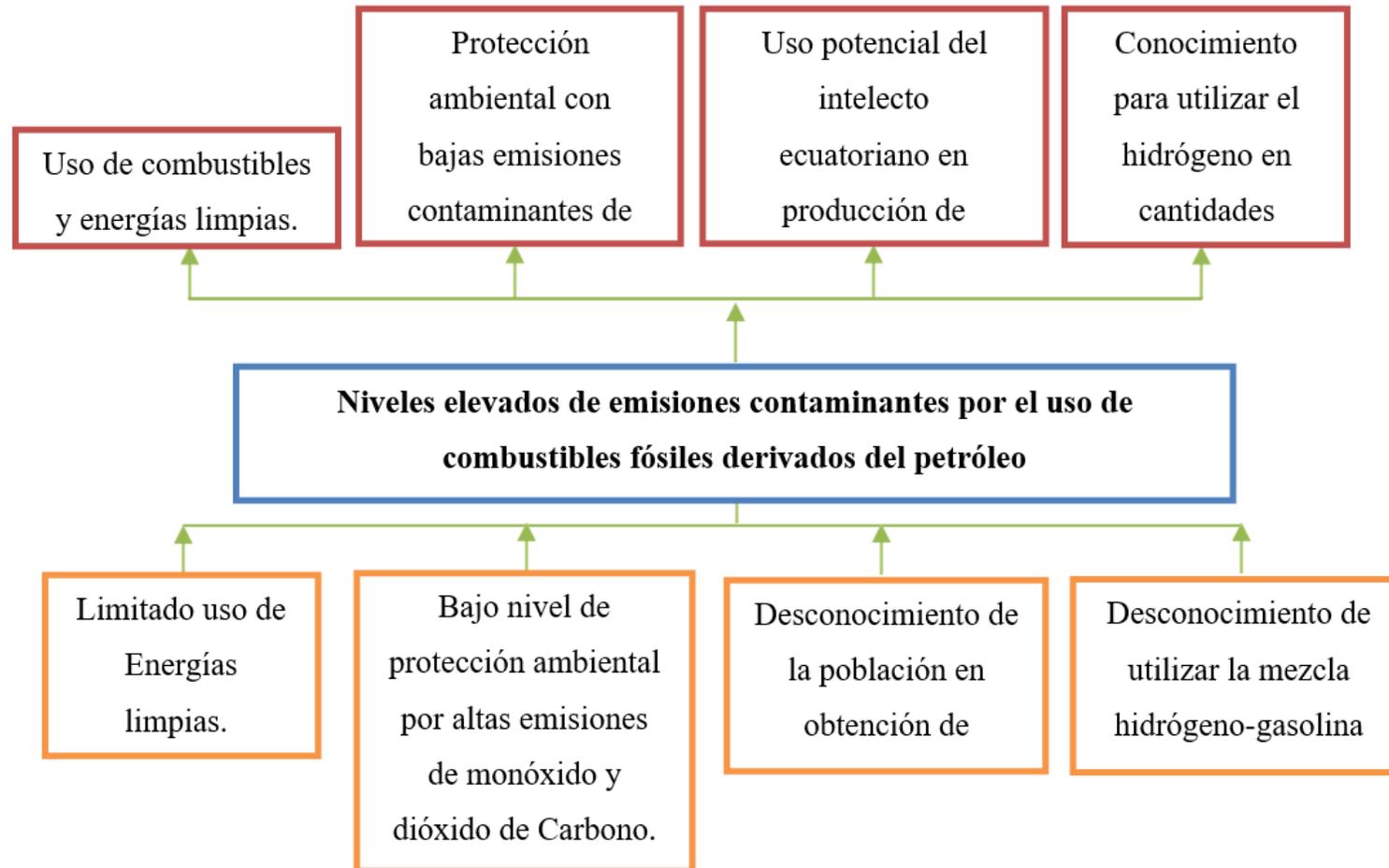
**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR DE OBTENER HIDRÓGENO PARA UTILIZARLO  
COMO COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA SUZUKI DE 75 cm<sup>3</sup>.**



**INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**



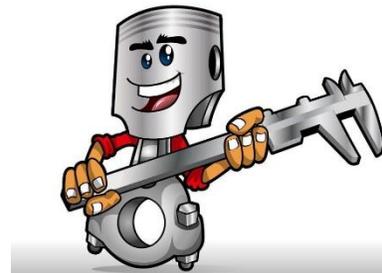
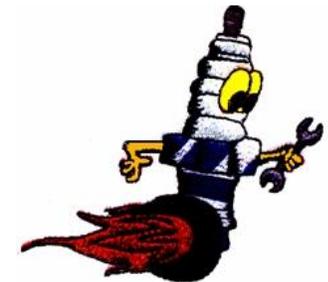
# Árbol de problemas.



# Objetivo General:

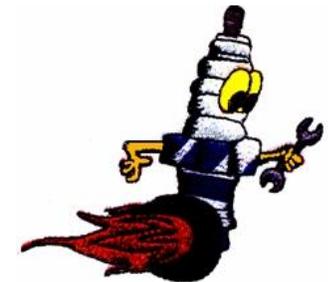
---

Diseñar y construir un reactor generador de hidrógeno para ser utilizado como combustible en un motor de combustión interna a fin de determinar los parámetros característicos del mismo.



## Objetivo específico:

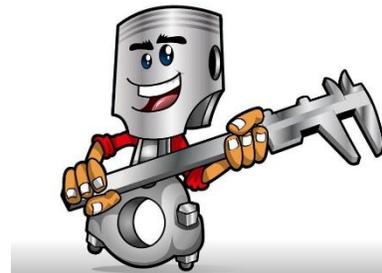
- Analizar referencias bibliográficas relevantes de textos, revistas y publicaciones referidas al uso de hidrógeno en motores a gasolina.
- Seleccionar los componentes necesarios para la construcción del reactor y la futura producción de hidrógeno.
- Utilizar el hidrógeno en estado puro, así como cuando se encuentra mezclado en proporciones con gasolina extra como combustible limpio.



## Objetivo específico:

---

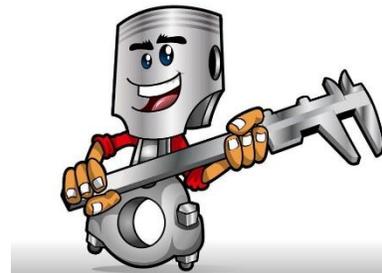
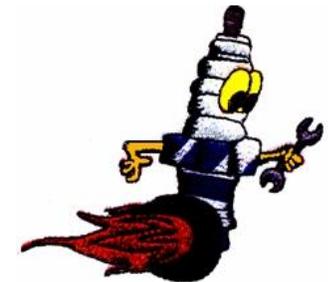
- Adaptar al sistema de alimentación el hidrógeno para el funcionamiento de la motocicleta de paseo Ranger.
- Utilizar el hidrógeno en el motor de combustión interna como combustible de uso automotriz.
- Disminuir las emisiones contaminantes producidas por la combustión de la gasolina para protección del medio ambiente.



## Objetivo específico:

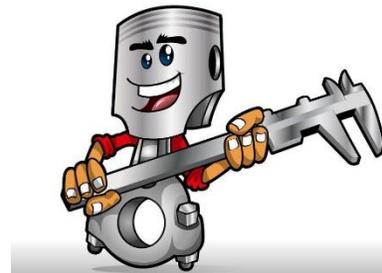
---

- Realizar las pruebas de fuerza, torque, potencia, y consumo de combustible de la motocicleta de paseo Ranger.



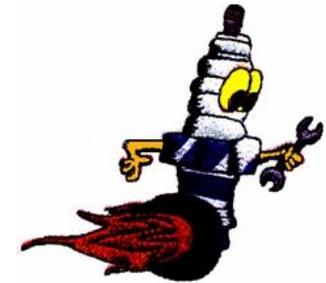
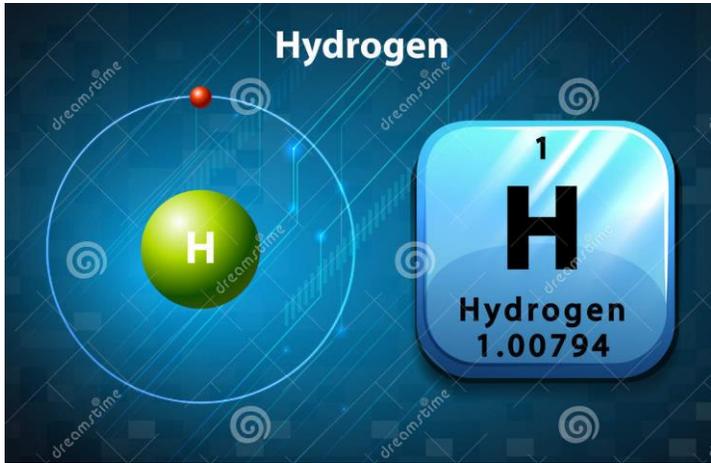
## Metas:

- Bajar el índice de emisiones de gases contaminantes de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y monóxido de carbono (CO) en el ambiente en un 5% en el motor de dos tiempos de la motocicleta serie Ranger.
- Mantener el torque y la potencia necesaria para el correcto funcionamiento del motor.
- Ahorro en el gasto de combustible en un 25%.



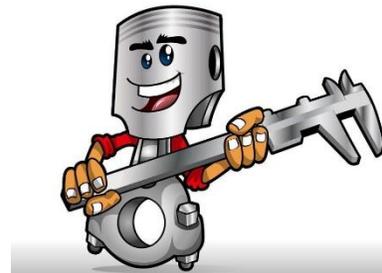
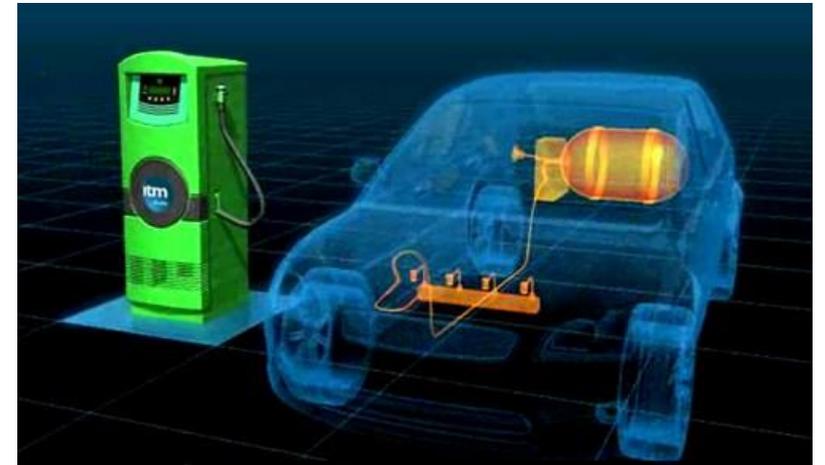
# Características fundamentales:

El hidrógeno como el elemento más ligero que existe y muy abundante en la tierra, constituye aproximadamente el 75% de la materia del universo, pero se encuentra combinado con otros elementos por lo que no es un combustible que pueda tomarse directamente de la naturaleza, sino que es un vector energético. Por lo que, para liberar de forma controlada la energía que almacena se ha de generar mediante otros componentes químicos.



# Características fundamentales:

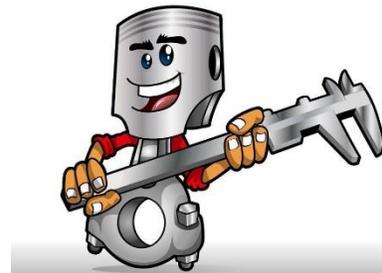
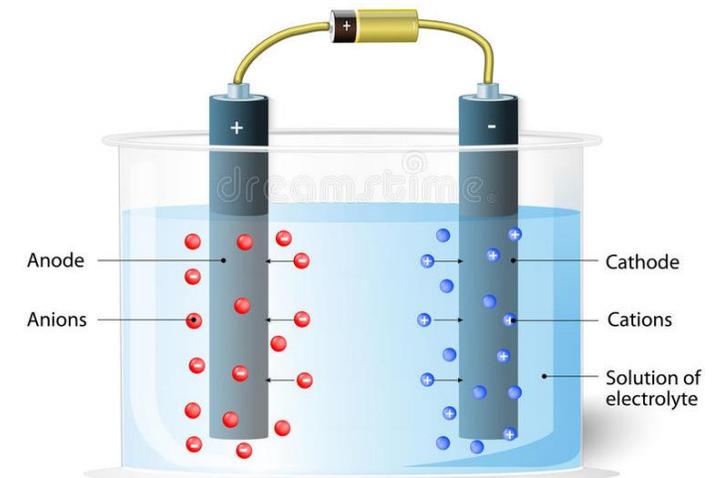
Un kilogramo de hidrógeno puede liberar más energía que un kilogramo de cualquier otro combustible (casi el triple que la gasolina o el gas natural), y para liberar esa energía no emite nada de dióxido de carbono, tan sólo vapor de agua, por lo que el impacto ambiental es nulo.



# Electrólisis:

## ELECTROLYSIS

El proceso se trata de fundir o disolver el electrolito en agua, se aplica una corriente eléctrica continua mediante un par de electrodos que están conectados a una fuente de corriente directa el electrodo negativo se conoce como cátodo, y el electrodo conectado al polo positivo se llama ánodo, cada electrodo mantiene atraídos a los iones de carga opuesta. Por lo que los iones de carga opuesta son atraídos al ánodo y al cátodo, es decir los iones positivos son atraídos al cátodo y los iones negativos al ánodo.



# Electrólisis:

Como electrolito se usa comúnmente sosa cáustica ( $\text{NaOH}$ ) o potasa cáustica ( $\text{KOH}$ ) para tener una buena conductividad iónica.

El hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) o hidróxido sódico, también conocido como soda cáustica o sosa cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos, y detergentes. Además, se utiliza en la industria petrolera en la elaboración de lodos de perforación base agua. A nivel doméstico, son reconocidas sus utilidades para desbloquear tuberías de desagües de cocinas y baños, entre otros.

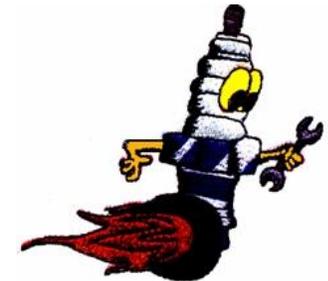


# Hidrógeno en motores alternativos:



El hidrógeno posee tres características que determinan su comportamiento en un motor alternativo:

1. Los límites de inflamabilidad son tan amplios que casi cualquier proporción de aire/combustible produce una buena combustión.

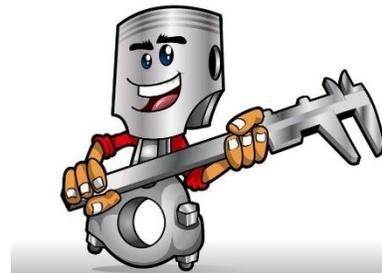
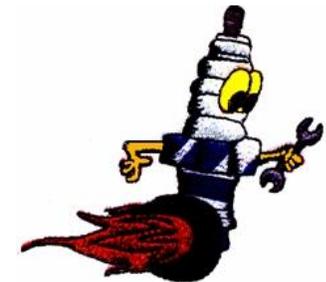


# Hidrógeno en motores alternativos:



El hidrógeno posee tres características que determinan su comportamiento en un motor alternativo:

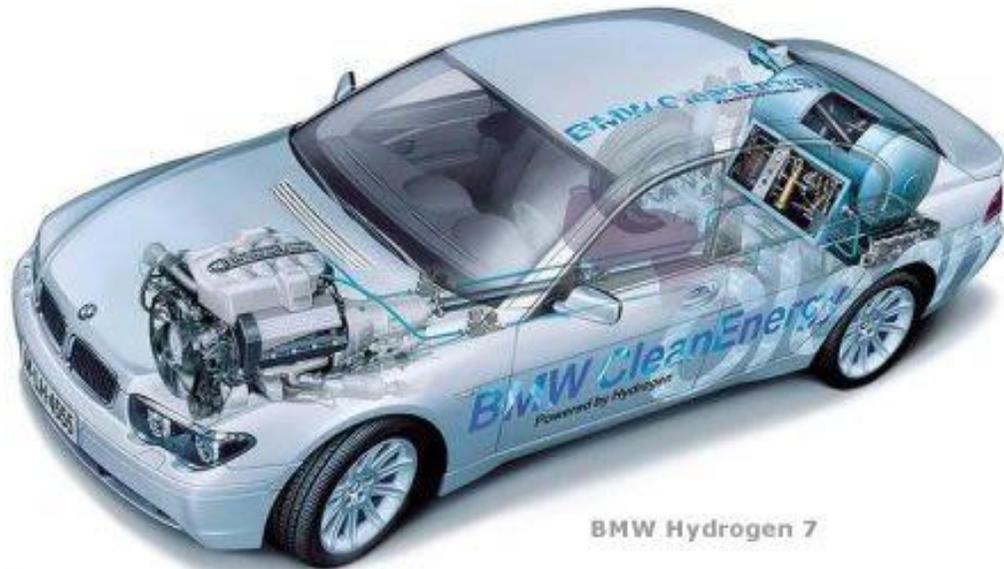
2. La elevada temperatura de auto-ignición impide el empleo de motores diésel, debiendo recurrir a los motores de encendido provocado.



# Hidrógeno en motores alternativos:

El hidrógeno posee tres características que determinan su comportamiento en un motor alternativo:

3. La elevada velocidad de la llama puede ser un inconveniente en los sistemas con baja presión de inyección debido a los problemas de detonación; por el contrario puede ser una ventaja en los sistemas de elevada presión de inyección.



BMW Hydrogen 7



# Construcción del reactor:

---

Para el diseño del reactor se tomó en consideración y de gran importancia que el hidrógeno es altamente inflamable a una chispa, por esta razón se buscó elementos herméticos y mangueras propiamente para gas que ayudarán a eliminar fugas, sabiendo que el  $H_2$  no tiene color ni olor, siendo indetectable a los sentidos humanos.

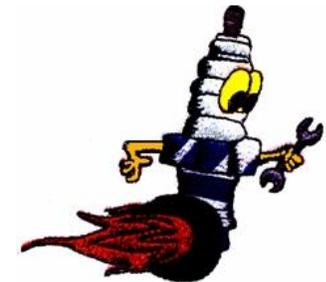


# Construcción del reactor:

## Ficha técnica del reactor de hidrógeno.

### ESPECIFICACIONES DEL REACTOR DE HIDRÓGENO

| Características                        | Reactor I            | Reactor II           |
|--|----------------------|----------------------|
| Número de placas                       | 17                   | 17                   |
| Número de placas negativas             | 5                    | 5                    |
| Número de placas positivas             | 4                    | 4                    |
| Número de placas neutras               | 8                    | 8                    |
| Número de separadores                  | 64                   | 64                   |
| Cámaras generadoras de hidrógeno       | 1                    | 1                    |
| Toma de abastecimiento del electrolito | 1                    | 1                    |
| Toma de salida de gas al burbujeador   | 1                    | 1                    |
| Voltaje                                | 12 V CC              | 12V CC               |
| Consumo eléctrico                      | 6 A                  | 6 A                  |
| Capacidad de electrolito               | 1500 cm <sup>3</sup> | 1500 cm <sup>3</sup> |



# Construcción del reactor:

---

## DIMENSIÓN DE LA PLACA

---

|      |      |
|------|------|
| Base | 6 cm |
|------|------|

|        |       |
|--------|-------|
| Altura | 14 cm |
|--------|-------|

|         |        |
|---------|--------|
| Espesor | 0.1 cm |
|---------|--------|

## DIMENSIÓN DE LOS SEPARADORES

---

|                |        |
|----------------|--------|
| Diámetro mayor | 2.5 cm |
|----------------|--------|

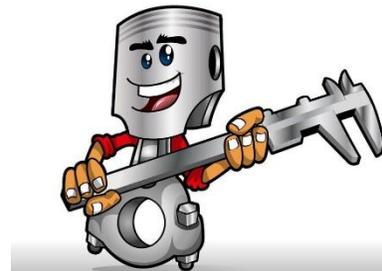
|                |        |
|----------------|--------|
| Diámetro menor | 1.2 cm |
|----------------|--------|

|         |        |
|---------|--------|
| Espesor | 0.2 cm |
|---------|--------|

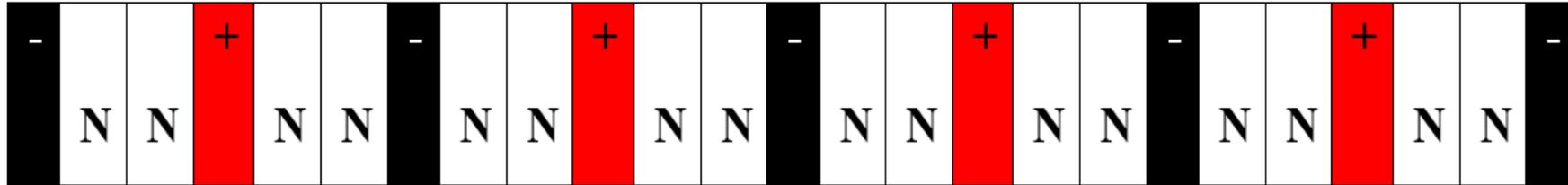
|                           |   |
|---------------------------|---|
| Número de separadores por | 4 |
|---------------------------|---|

|                  |  |
|------------------|--|
| placa de un lado |  |
|------------------|--|

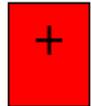
---



# Construcción del reactor:



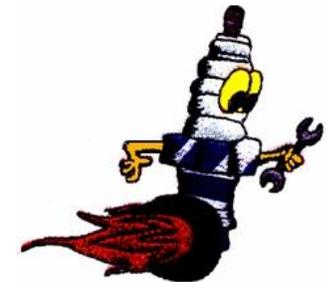
Placa negativa



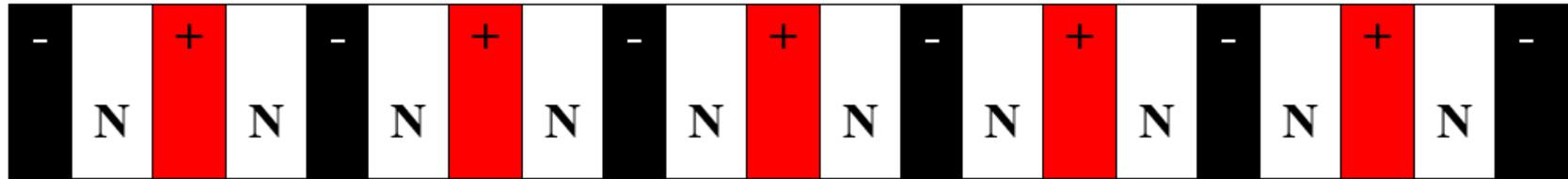
Placa Positiva



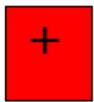
Placa neutra



# Construcción del reactor:



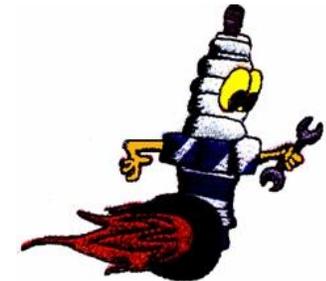
**Placas Negativas**



**Placas positivas**



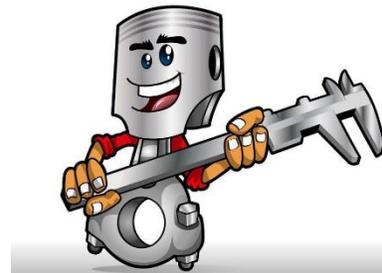
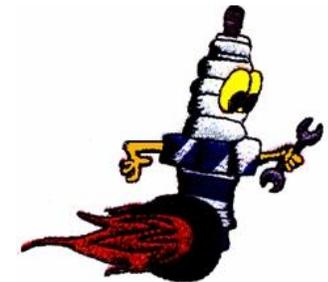
**Placas neutras**



# Construcción del reactor:

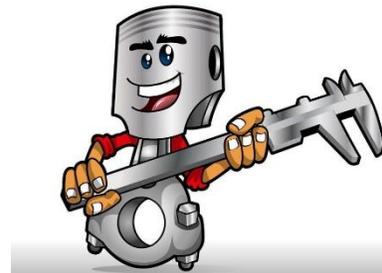


- Reactor principal



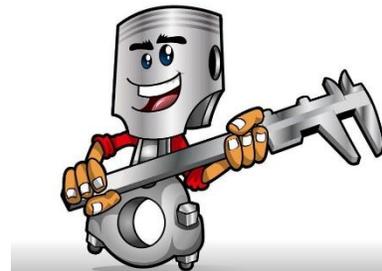
# Construcción del reactor:

- Filtro de retención de impurezas y arrestallamas



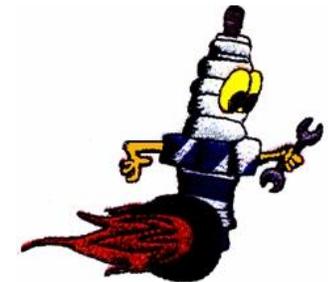
# Construcción del reactor:

- Mangueras para gas doméstico



# Construcción del reactor:

- Depósito principal del hidrógeno



# Construcción del reactor:

- Generador de hidrógeno EFTC-1724

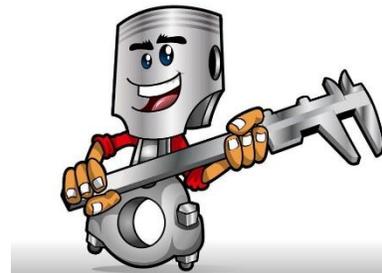
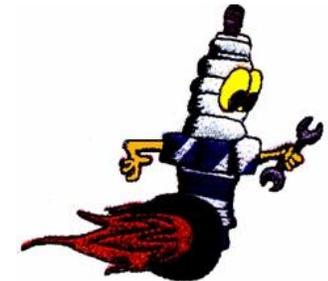
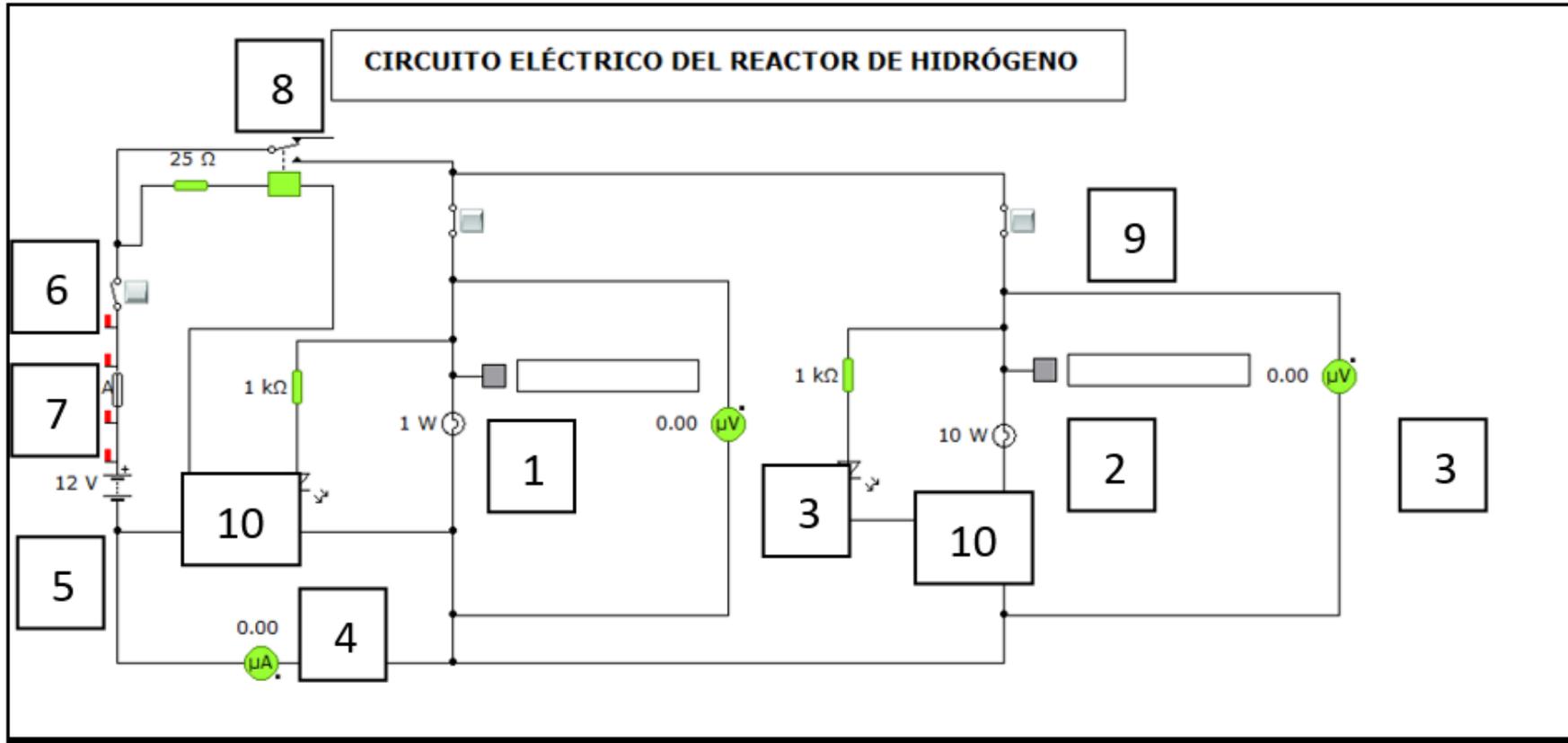


# Construcción del reactor:

- Base del generador de hidrógeno EFTC-1724



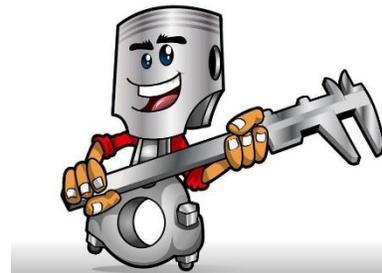
# Construcción del reactor:



# Construcción del reactor:



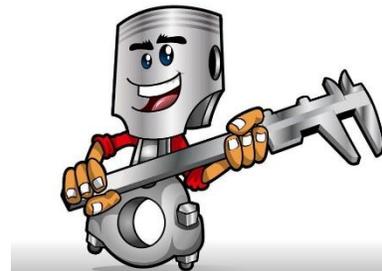
- Cableado eléctrico



# Construcción del reactor:



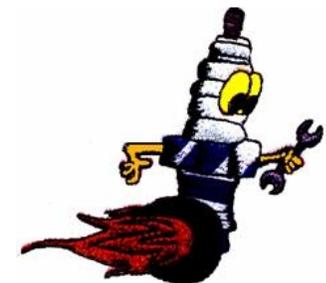
- Voltímetro
- Amperímetro



# Pruebas en el dinamómetro Villers F15:



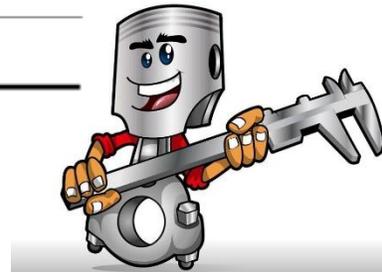
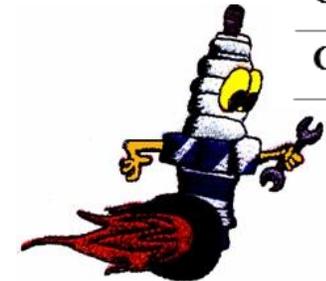
# Analizador de gases QGA-6000:



# Motocicleta de paseo serie Ranger de 110 cc:

## Características técnicas de la motocicleta

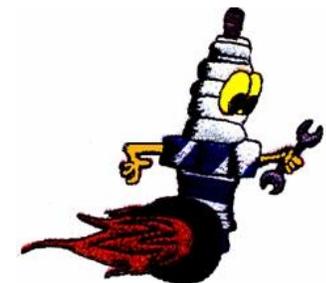
| Motocicleta de paseo serie Ranger 110 cc. |                     | Tipo               | Paseo           |
|---|---------------------|--------------------|-----------------|
| Placa                                     | HE 422R             | Tonelaje           | 0.25 T          |
| Origen del vehículo                       | Producción Nacional | Pasajeros          | 1               |
| Combustible                               | Gasolina            | Servicio           | Particular      |
| Marca                                     | Ranger              | No de motor        | 1P52FMHAA031772 |
| País de origen                            | Ecuador             | Año de fabricación | 2010            |
| Color Primario                            | Negro               | Modelo             | 110 GM          |
| Color secundario                          | Negro               | Carrocería         | Metálica        |
| Clase                                     | Motocicleta         | DUI                | M00005716       |



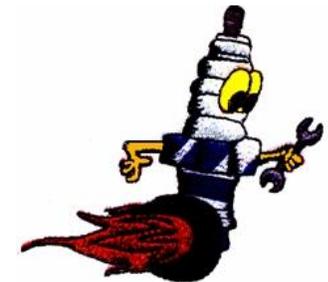
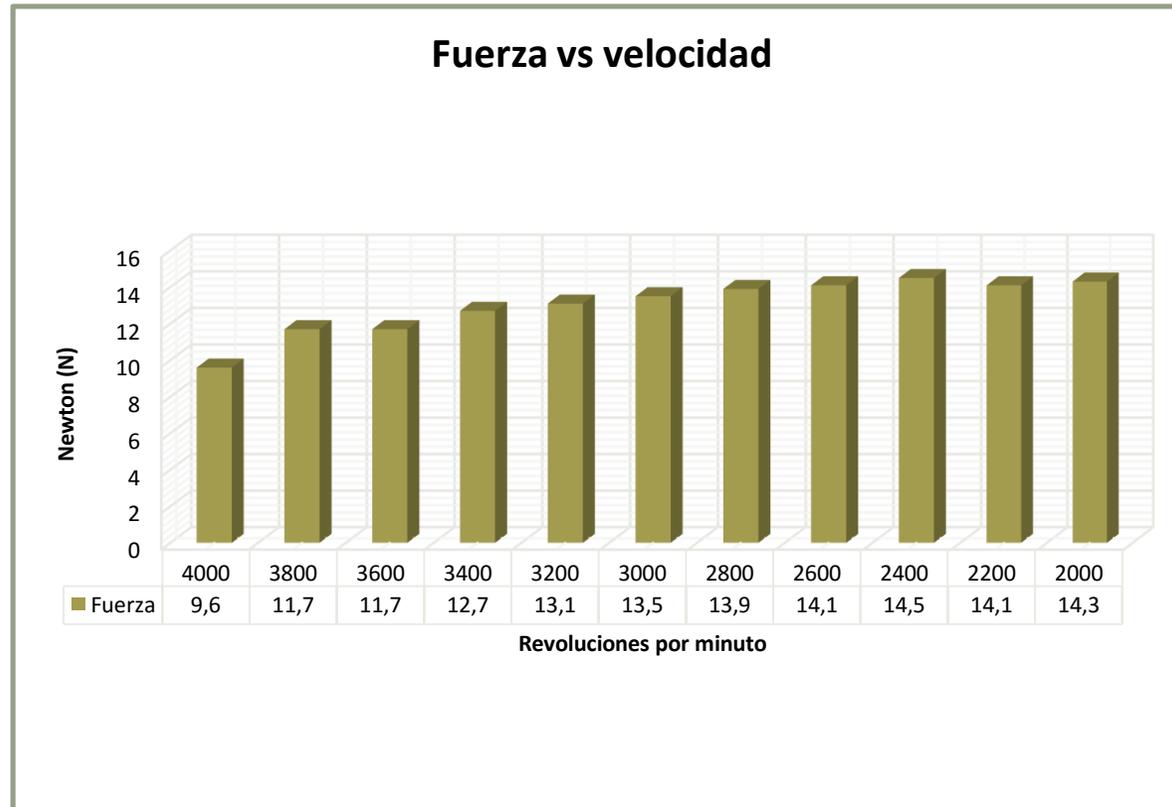
# Pruebas del motor con gasolina

Datos obtenidos del dinamómetro utilizando gasolina convencional.

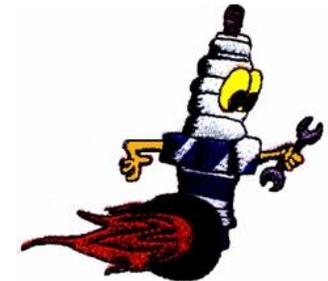
| Velocidad<br>(V)           | Fuerza (F) | Tiempo de<br>consumo de<br>combustible<br>(t) | Consumo<br>másico de<br>aire<br>(h <sub>0</sub> ) | Temperatura<br>de gases de<br>escape<br>(T <sub>E</sub> ) | Número de<br>revoluciones<br>(#) |
|----------------------------|------------|---|---|---|----------------------------------|
| Revoluciones<br>por minuto | Newton     | Segundos                                      | Kg/Hrs  | Grados Celsius  | Revoluciones<br>por segundo      |
| 4000                       | 12         | 91  | 6.72  | 400   | 6062                             |
| 3800                       | 14.1       | 83.8  | 6.71  | 407   | 5311                             |
| 3600                       | 14.1       | 87.7  | 6.14  | 410   | 5263                             |
| 3400                       | 15.1       | 91.1  | 8.31  | 406   | 5164                             |
| 3200                       | 15.5       | 96.6  | 7.53  | 401   | 5157                             |
| 3000                       | 15.9       | 104.2   | 5.95  | 394   | 5213                             |
| 2800                       | 16.3       | 110.4   | 5.40  | 385   | 5161                             |
| 2600                       | 16.5       | 121.3   | 4.55  | 373   | 5263                             |
| 2400                       | 16.9       | 129.8   | 4.39  | 358   | 5198                             |
| 2200                       | 16.5       | 140.9   | 3.47  | 347   | 5178                             |
| 2000                       | 16.7       | 161.4   | 3.06  | 332   | 5393                             |
| <b>Promedios</b>           | 15.42      | 110.75  | 5.66  | 383   | 5305.72                          |



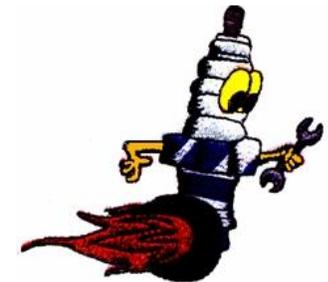
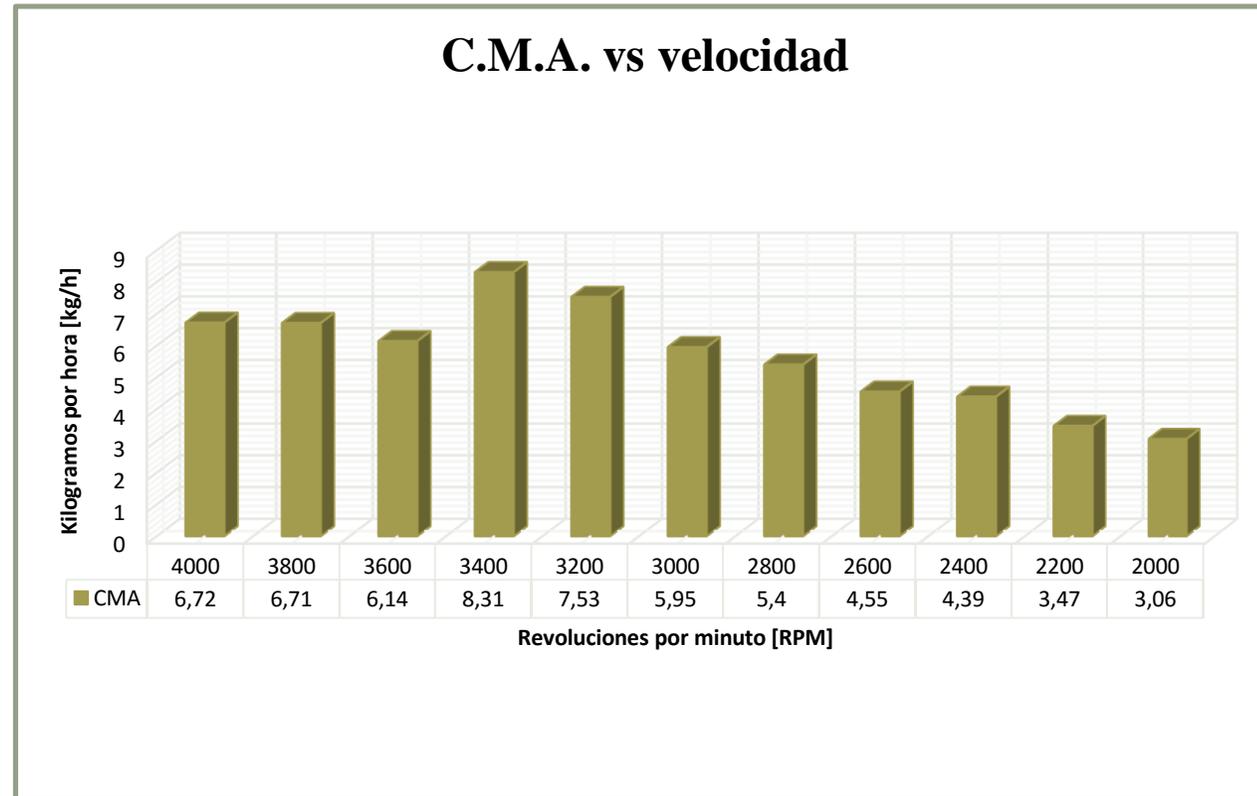
# Pruebas del motor con gasolina



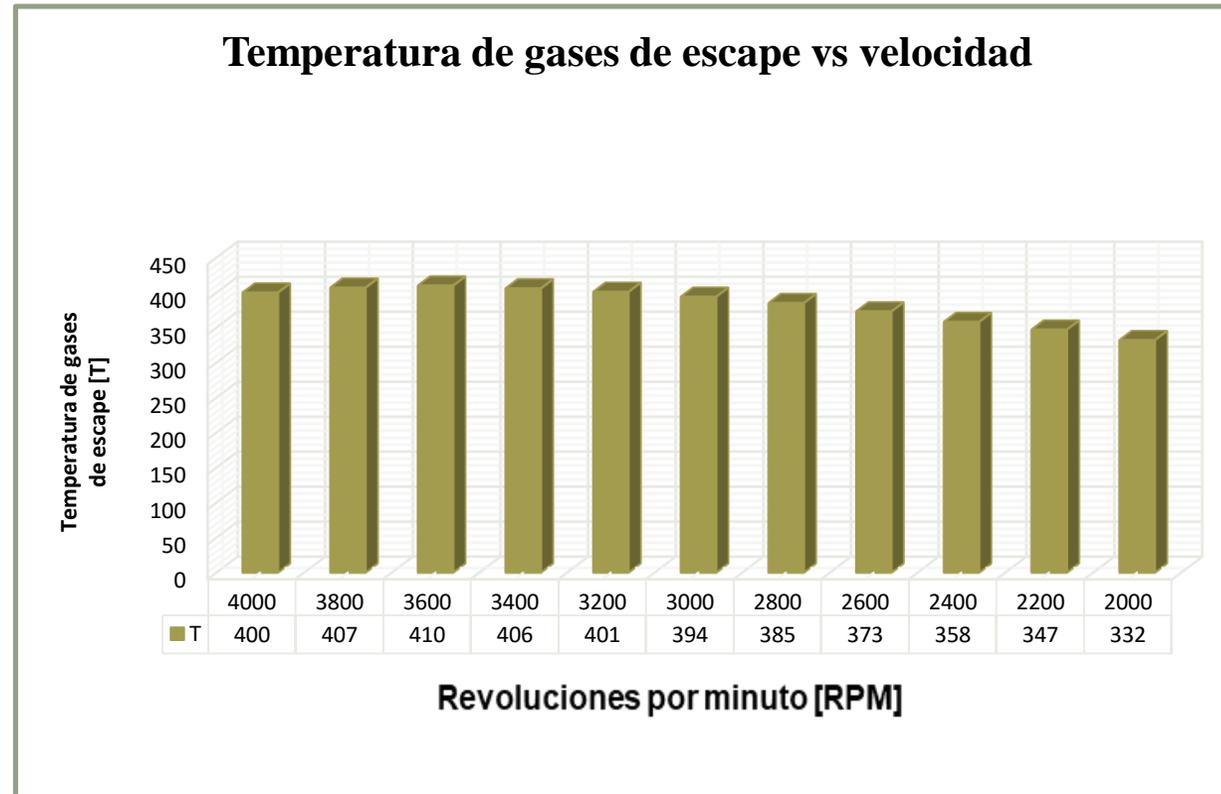
# Pruebas del motor con gasolina



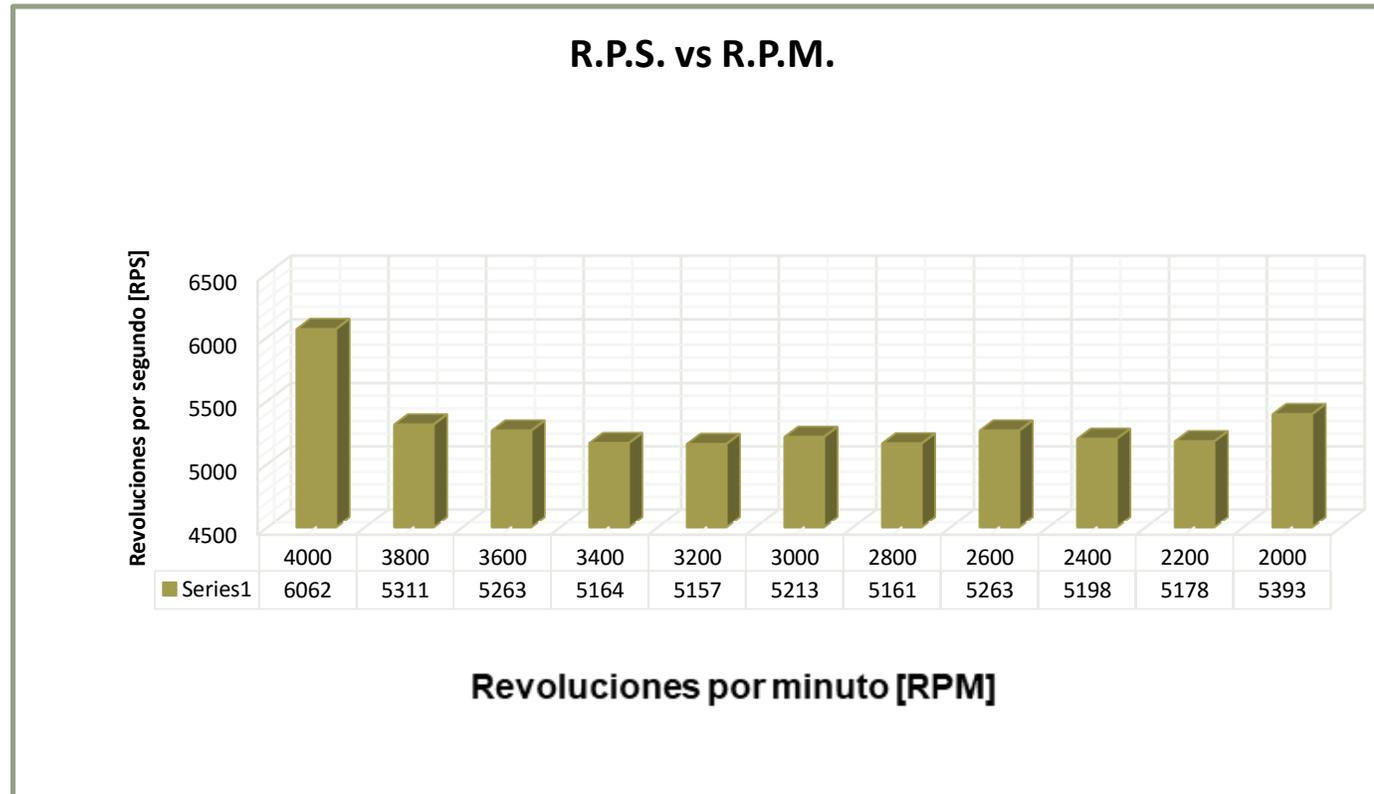
# Pruebas del motor con gasolina



# Pruebas del motor con gasolina



# Pruebas del motor con gasolina



# Cálculo del torque con gasolina

En el caso del cálculo del torque promedio total se multiplica la fuerza generada del motor para vencer una carga torsional aplicada por el brazo de palanca (radio de manivela de 265 mm).

Con el promedio de la fuerza torsional generado por el motor de combustión interna se calculó el torque promedio generado.

$$T = F \times d$$

$$T = \frac{(F - 2,4) \times (265\text{mm}) \times (1\text{m})}{1000\text{mm}}$$

$$T = \frac{(15,42 - 2,4) \times (265\text{mm}) \times (1\text{m})}{1000\text{mm}}$$

$$T = 3,4503\text{Nm}$$

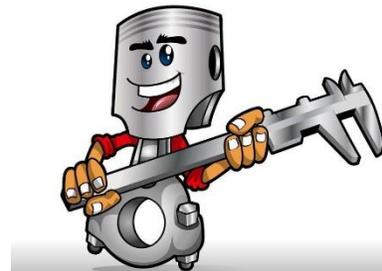
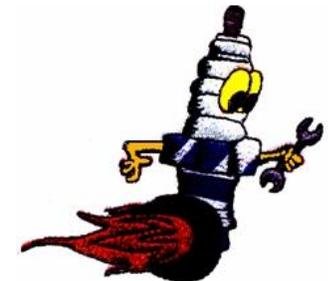
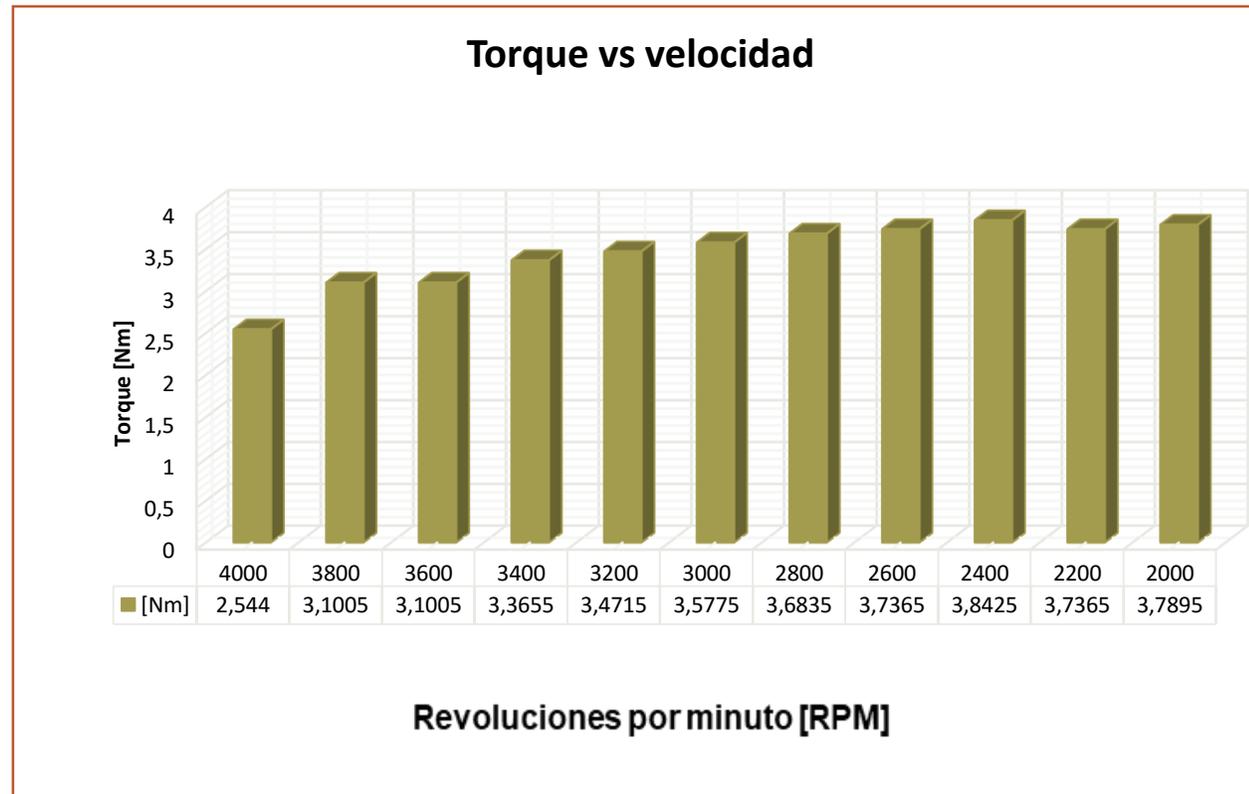


# Cálculo del torque con gasolina

| Velocidad<br>(v)           | Fuerza<br>Real<br>(F) | Torque<br>(T) |
|----------------------------|-----------------------|---------------|
| Revoluciones por<br>minuto | Newton                | Nm            |
| 4000                       | 9,6                   | 2,544         |
| 3800                       | 11,7                  | 3,1005        |
| 3600                       | 11,7                  | 3,1005        |
| 3400                       | 12,7                  | 3,3655        |
| 3200                       | 13,1                  | 3,4715        |
| 3000                       | 13,5                  | 3,5775        |
| 2800                       | 13,9                  | 3,6835        |
| 2600                       | 14,1                  | 3,7365        |
| 2400                       | 14,5                  | 3,8425        |
| 2200                       | 14,1                  | 3,7365        |
| 2000                       | 14,3                  | 3,7895        |
| <b>Promedio</b>            | 13,02                 | 3,4503        |



# Cálculo del torque con gasolina



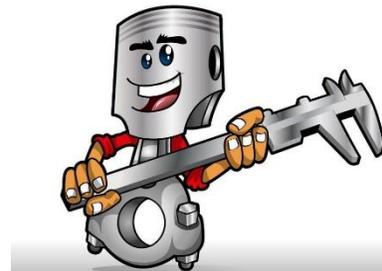
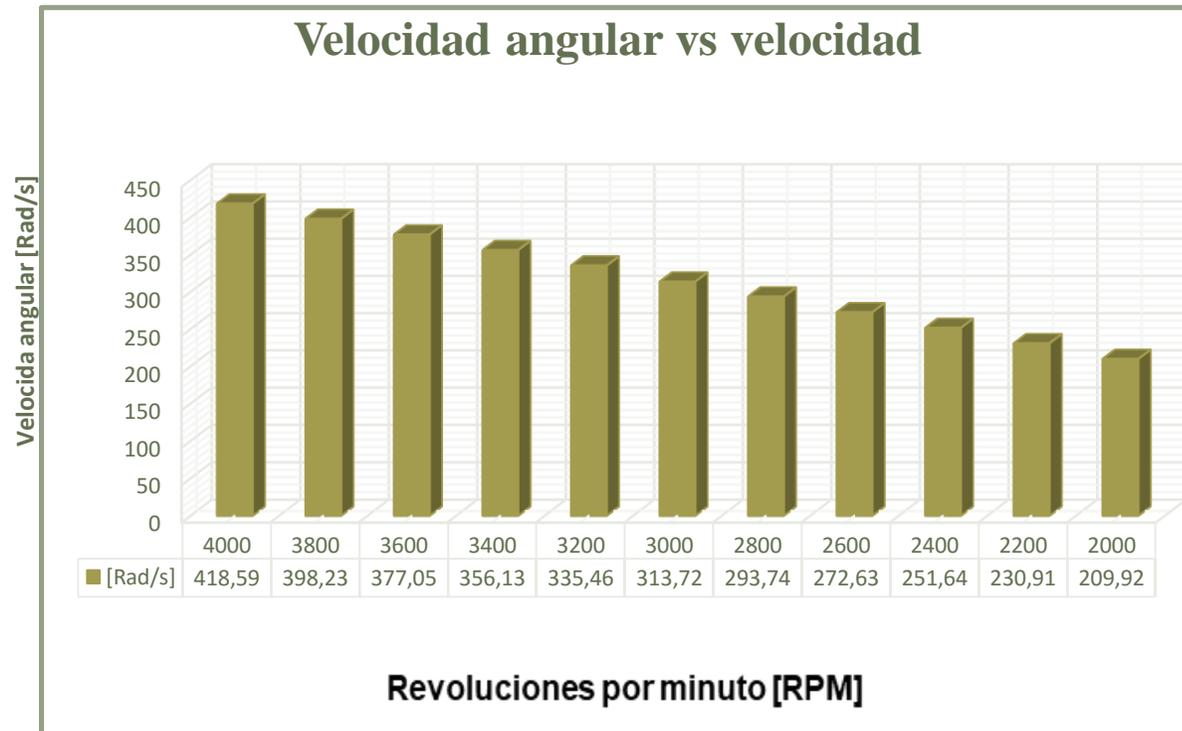
# Cálculo de la velocidad angular con gasolina

Se calculó la revolución por segundo promedio del motor en radianes sobre segundo (rad/seg).

$$w = 2\pi \frac{N}{t}$$
$$w = 2\pi \frac{5305.72}{110.75}$$
$$w = 301.03$$

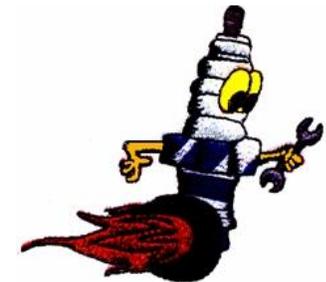


# Cálculo de la velocidad angular con gasolina



# Cálculo de la potencia con gasolina

| Velocidad               | Torque | Velocidad angular | Potencia  |
|-------------------------|--------|-------------------|-----------|
| (V)                     | (T)    | (w)               | (P)       |
| Revoluciones por minuto | Nm     | Rad/seg           | Watts     |
| 4000                    | 2,544  | 418,59            | 1064,893  |
| 3800                    | 3,2005 | 398,23            | 1234,7121 |
| 3600                    | 3,1005 | 377,05            | 1169,0435 |
| 3400                    | 3,3655 | 356,13            | 1198,5555 |
| 3200                    | 3,4715 | 335,46            | 1164,5494 |
| 3000                    | 3,5775 | 313,72            | 1122,3333 |
| 2800                    | 3,6835 | 293,74            | 1081,9913 |
| 2600                    | 3,7365 | 272,63            | 1018,682  |
| 2400                    | 3,8425 | 251,64            | 966,9267  |
| 2200                    | 3,7365 | 230,91            | 862,79522 |
| 2000                    | 3,7895 | 209,92            | 795,49184 |
| <b>Promedios</b>        | 3,4503 | 301,03            | 1038,6438 |



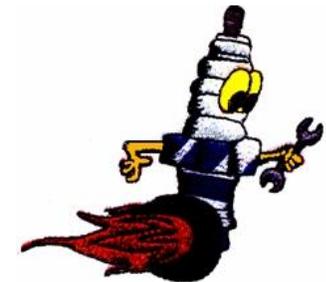
# Cálculo de la potencia con gasolina

Para el cálculo de la potencia utilizando esta ecuación cabe recalcar que se necesita el dato del torque en la unidad de Newton por metro (Nm) y la velocidad angular calculada en radianes sobre segundo (rad/seg) para que la potencia nos dé en la unidad de watts (w).

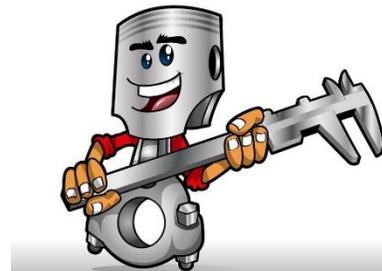
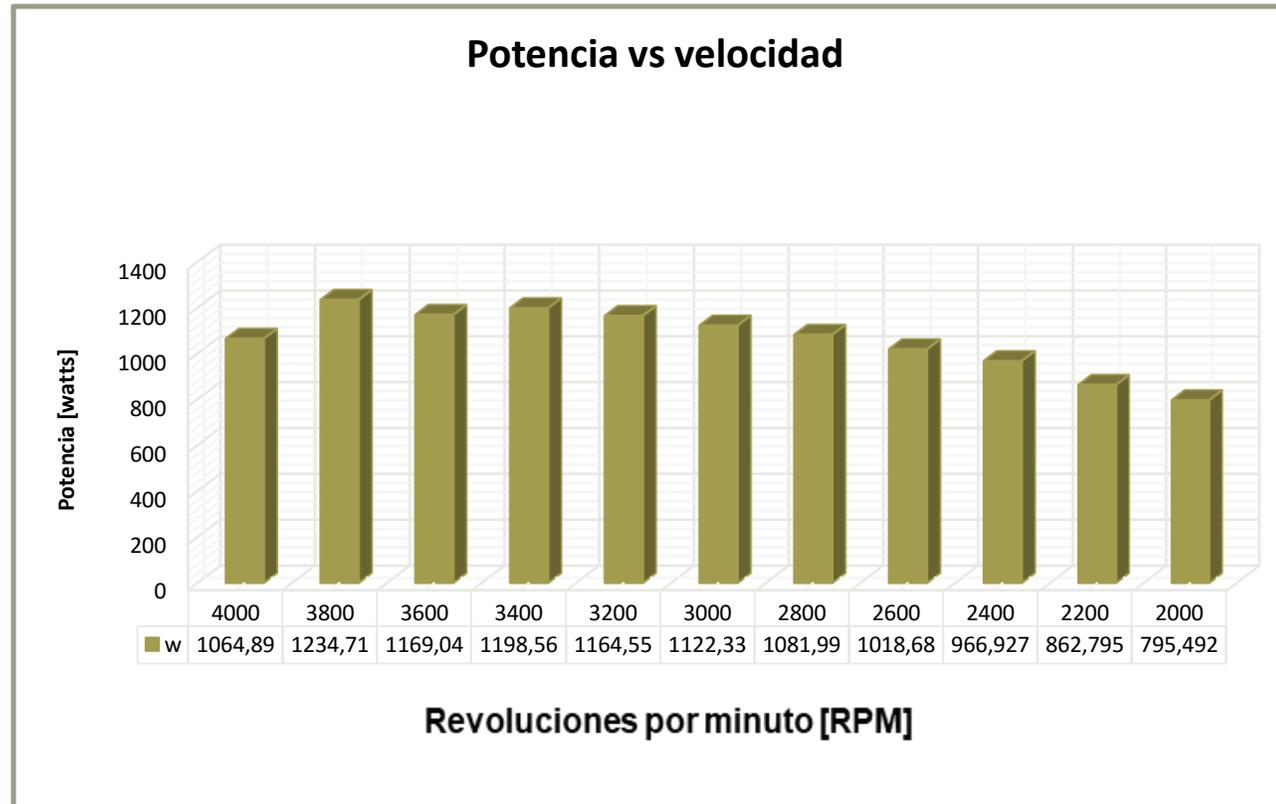
$$P = Tq.w$$

$$P = 3.4503 \times 301.03 \frac{Nm}{seg}$$

$$P = 1038.644w$$

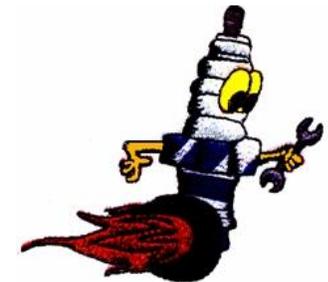


# Cálculo de la potencia con gasolina

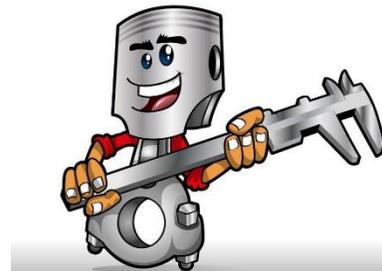
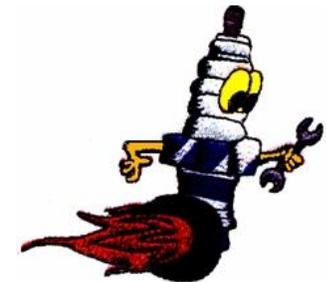
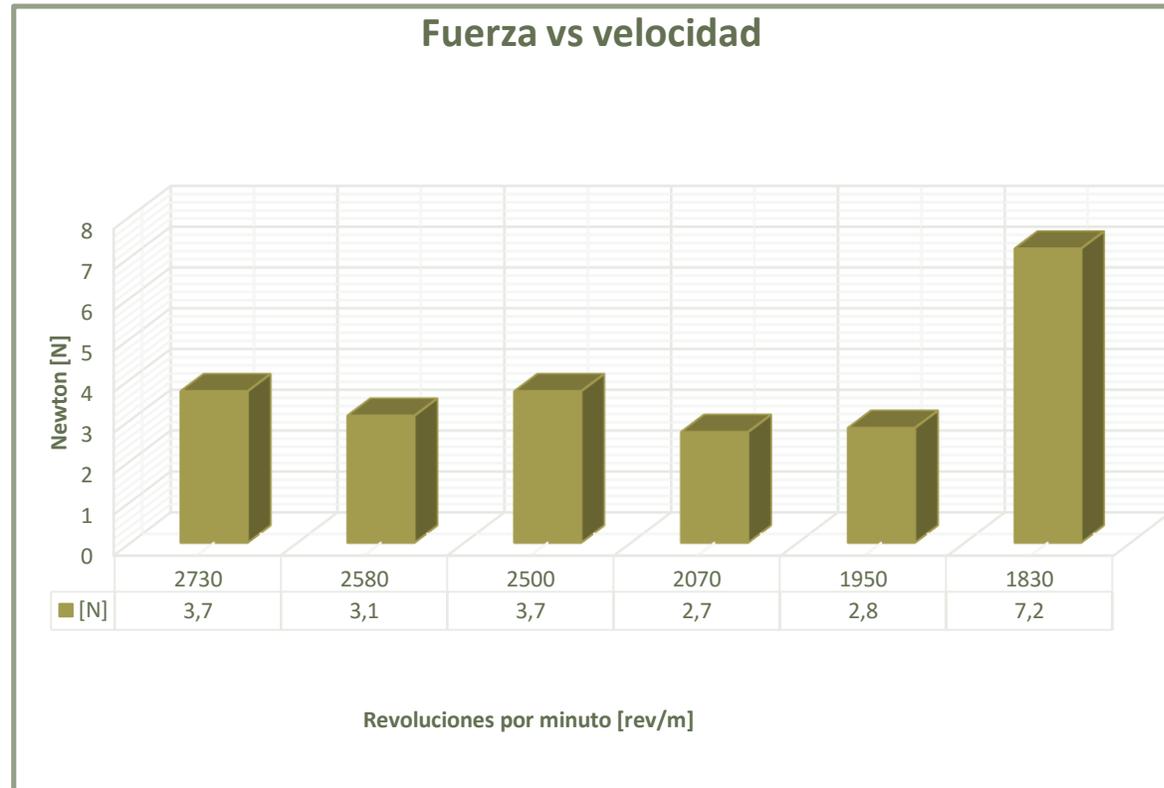


# Pruebas del motor con hidrógeno

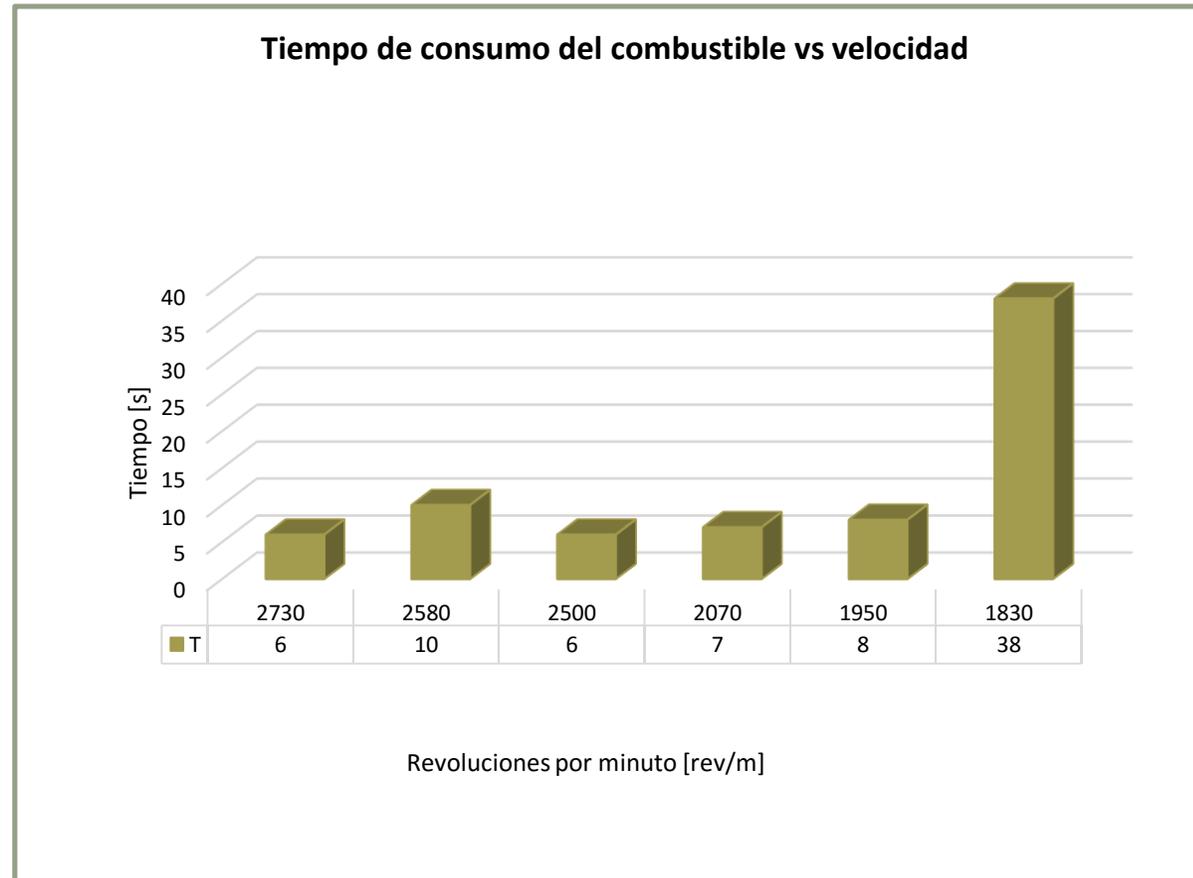
| Velocidad<br>(V)           | Fuerza<br>(F) | Tiempo de<br>consumo de<br>combustible<br>(t) | Consumo<br>másico de<br>aire<br>(h <sub>0</sub> ) | Temperatura<br>de gases de<br>escape<br>(T <sub>E</sub> ) | Número de<br>revoluciones<br>(#) |
|----------------------------|---------------|---|---|---|----------------------------------|
| Revoluciones<br>por minuto | Newton        | Segundos                                      | Kg/Hrs  | Grados<br>Celsius   | Número<br>Revoluciones           |
| 2730                       | 6,1           | 6   | 5,23  | 103   | 45,5                             |
| 2580                       | 5,5           | 10  | 3,33  | 125   | 43                               |
| 2500                       | 6,1           | 6   | 5,40  | 141   | 41,67                            |
| 2070                       | 5,1           | 7   | 1,74  | 131   | 34,5                             |
| 1950                       | 5,2           | 8   | 4,88  | 117   | 32,5                             |
| 1830                       | 9,6           | 38  | 3,77  | 166   | 30,5                             |
| <b>Promedios</b>           | 6,27          | 12,5  | 4,06  | 130,5   | 37,95                            |



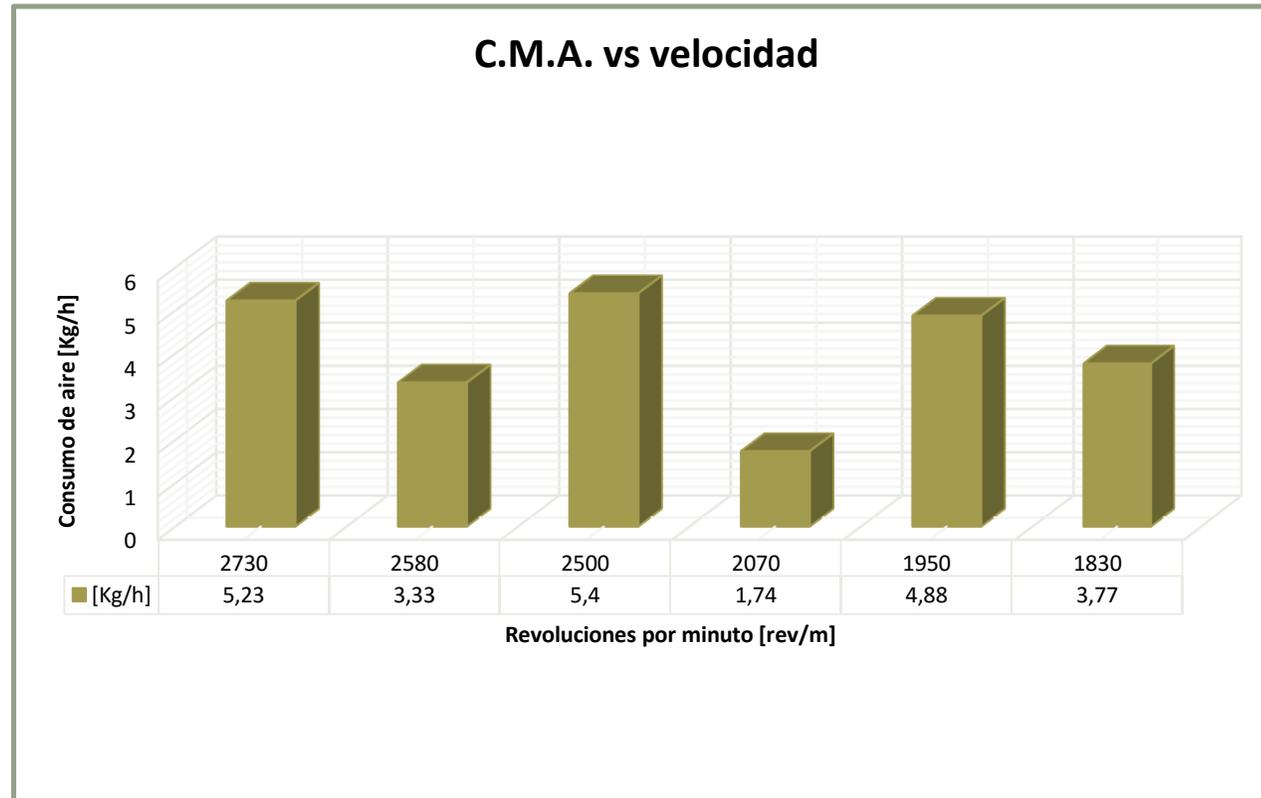
# Pruebas del motor con hidrógeno



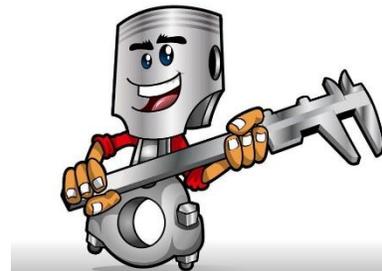
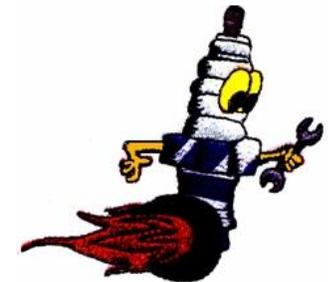
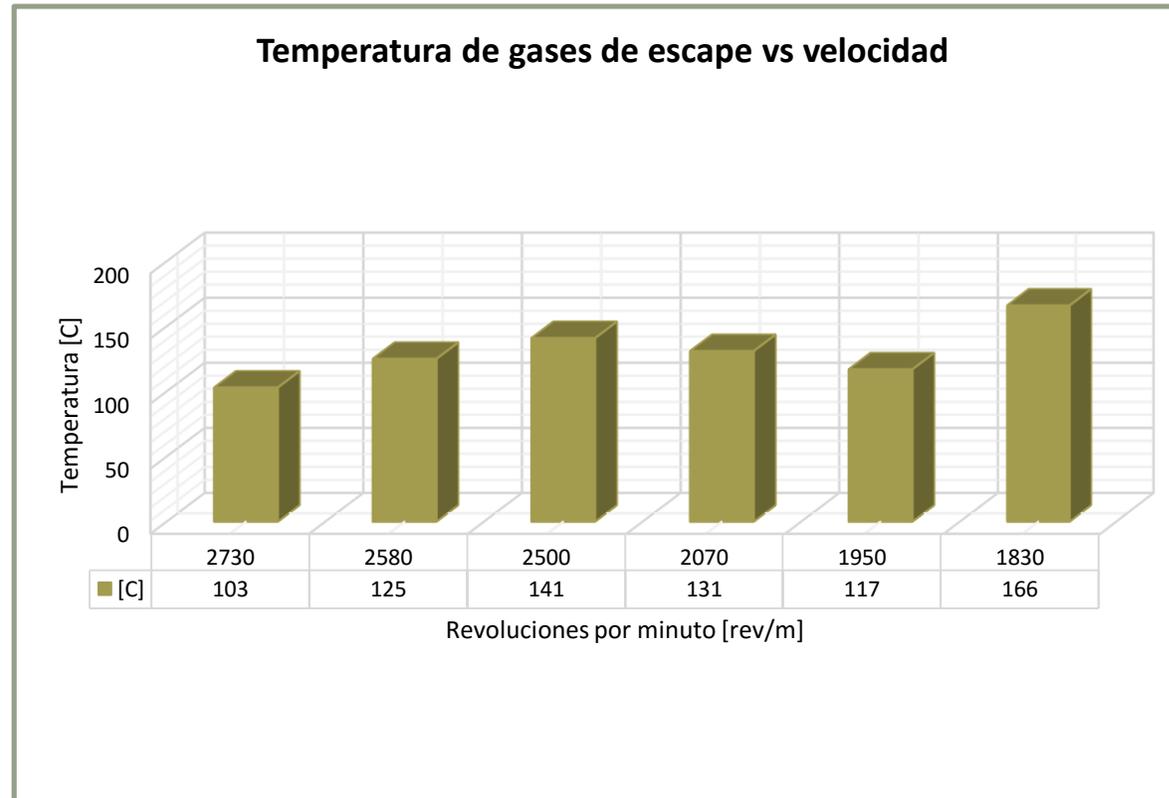
# Pruebas del motor con hidrógeno



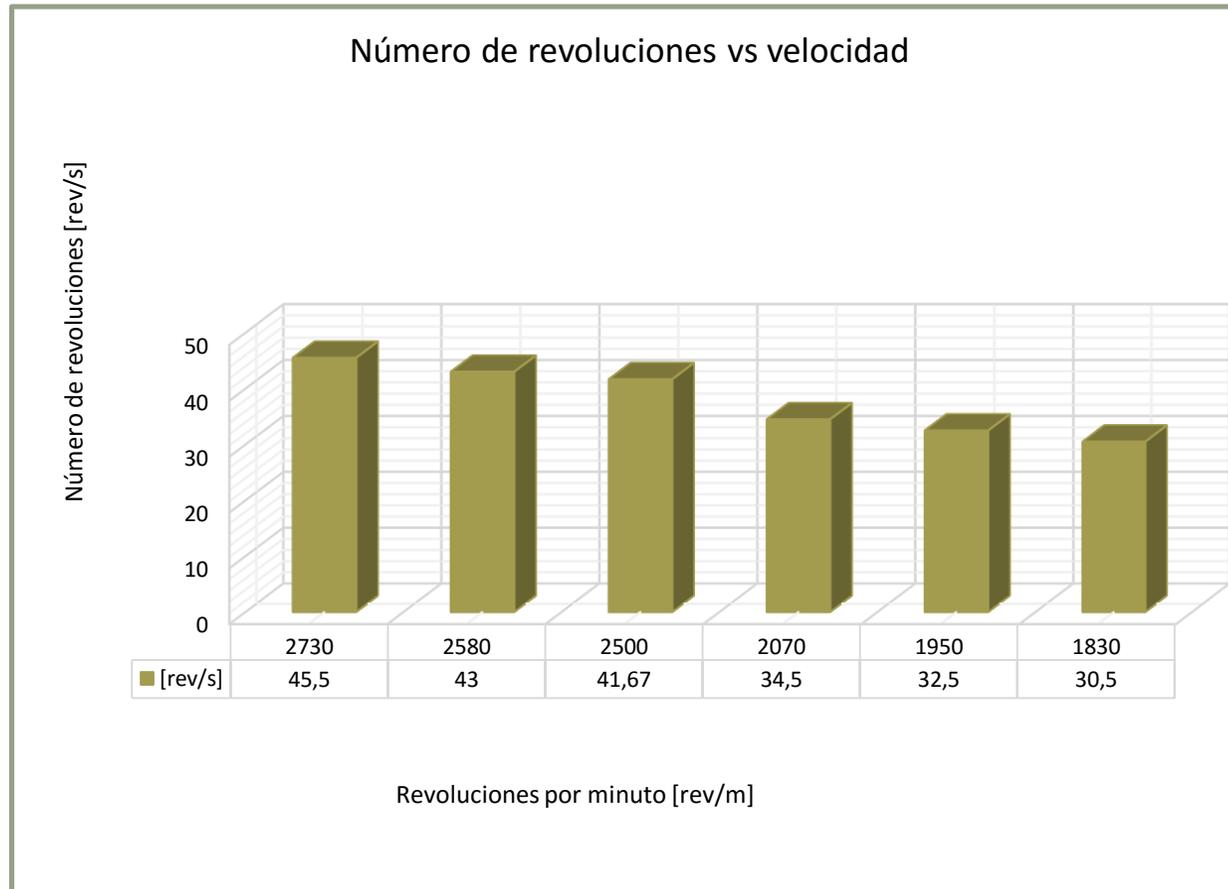
# Pruebas del motor con hidrógeno



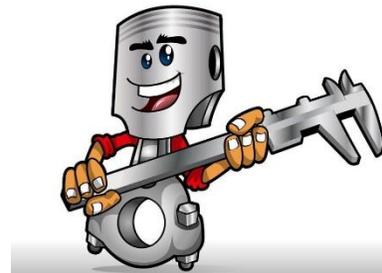
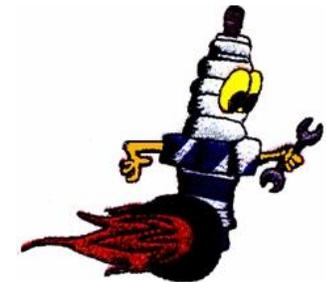
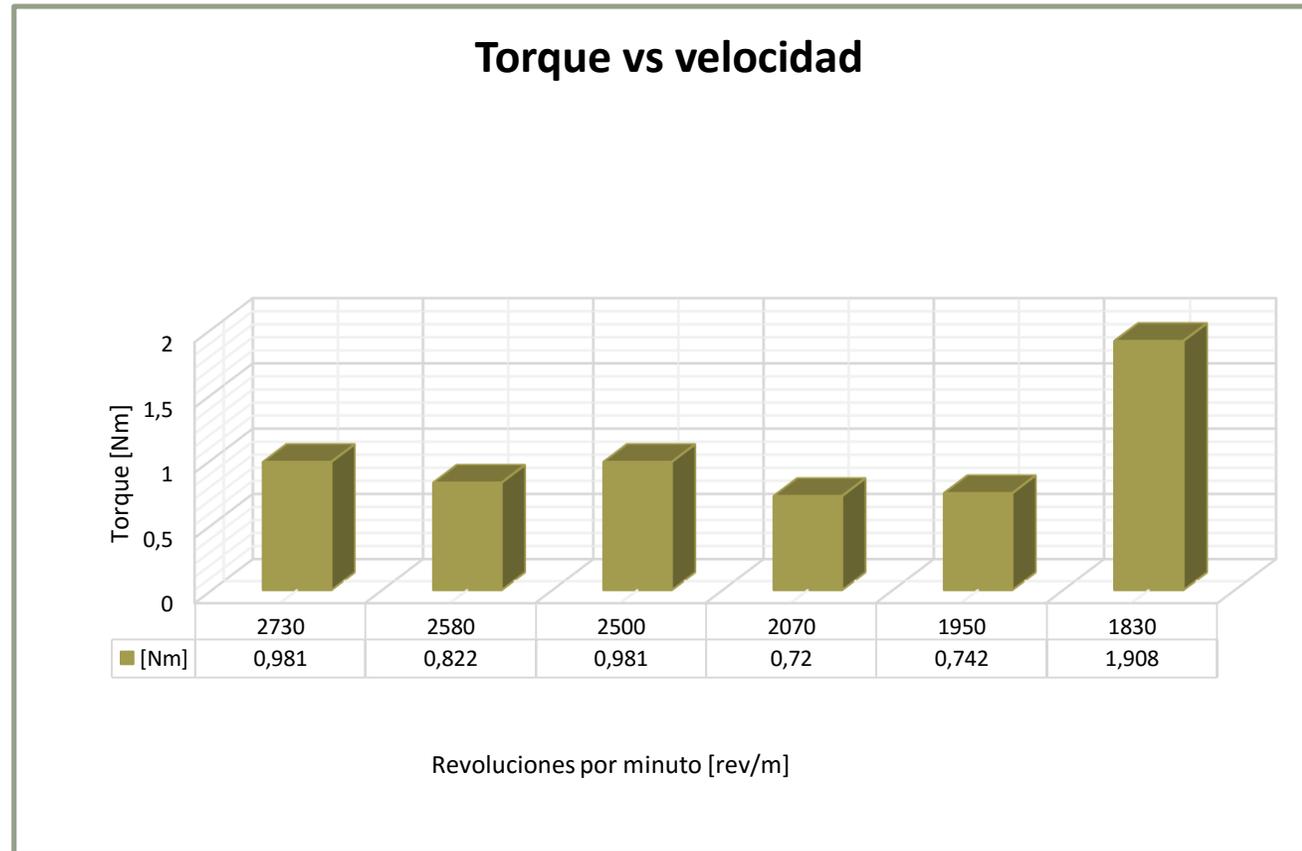
# Pruebas del motor con hidrógeno



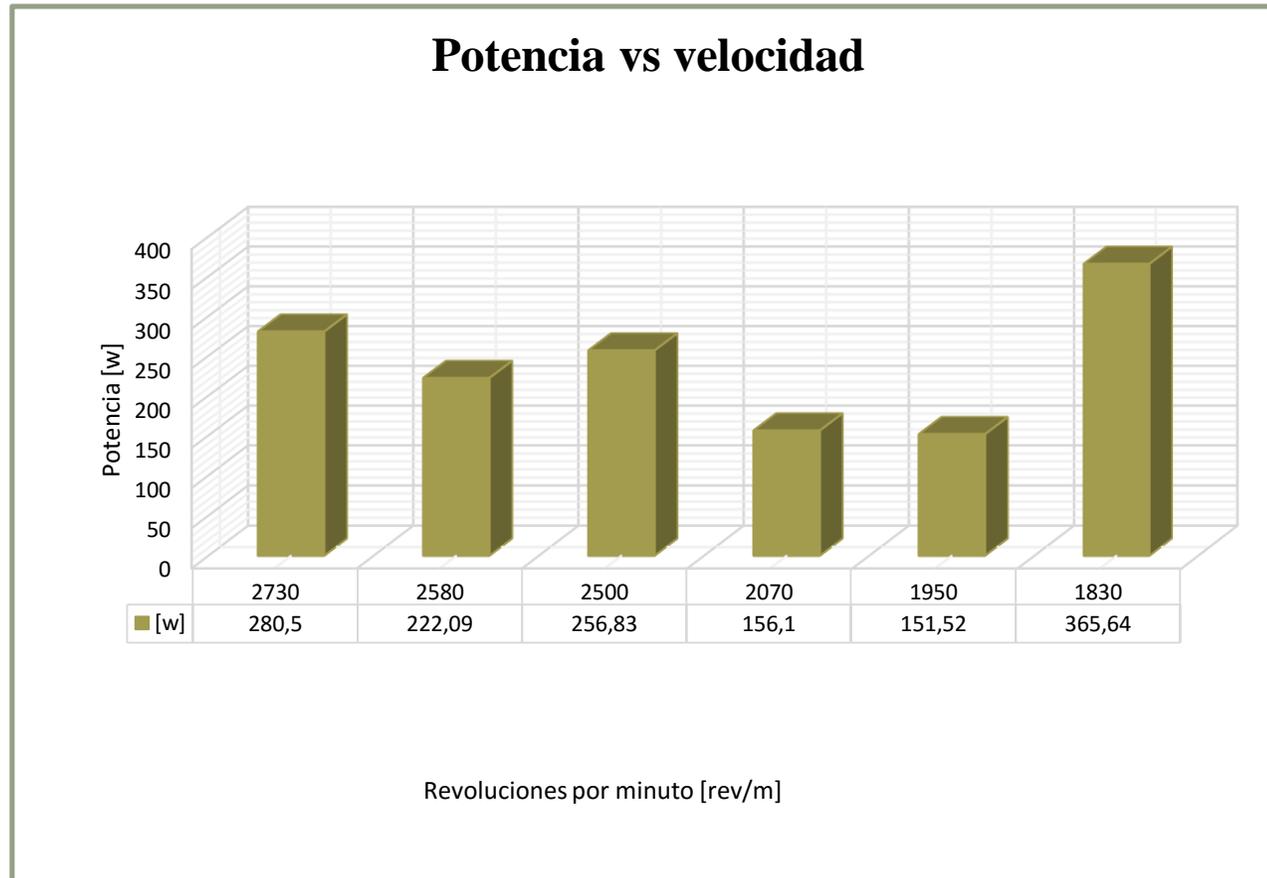
# Pruebas del motor con hidrógeno



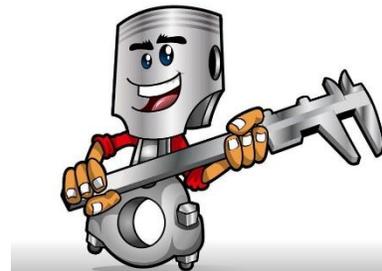
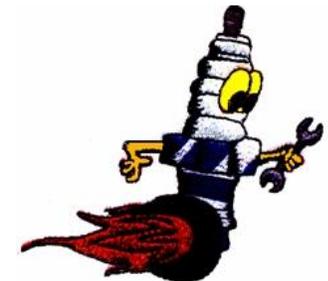
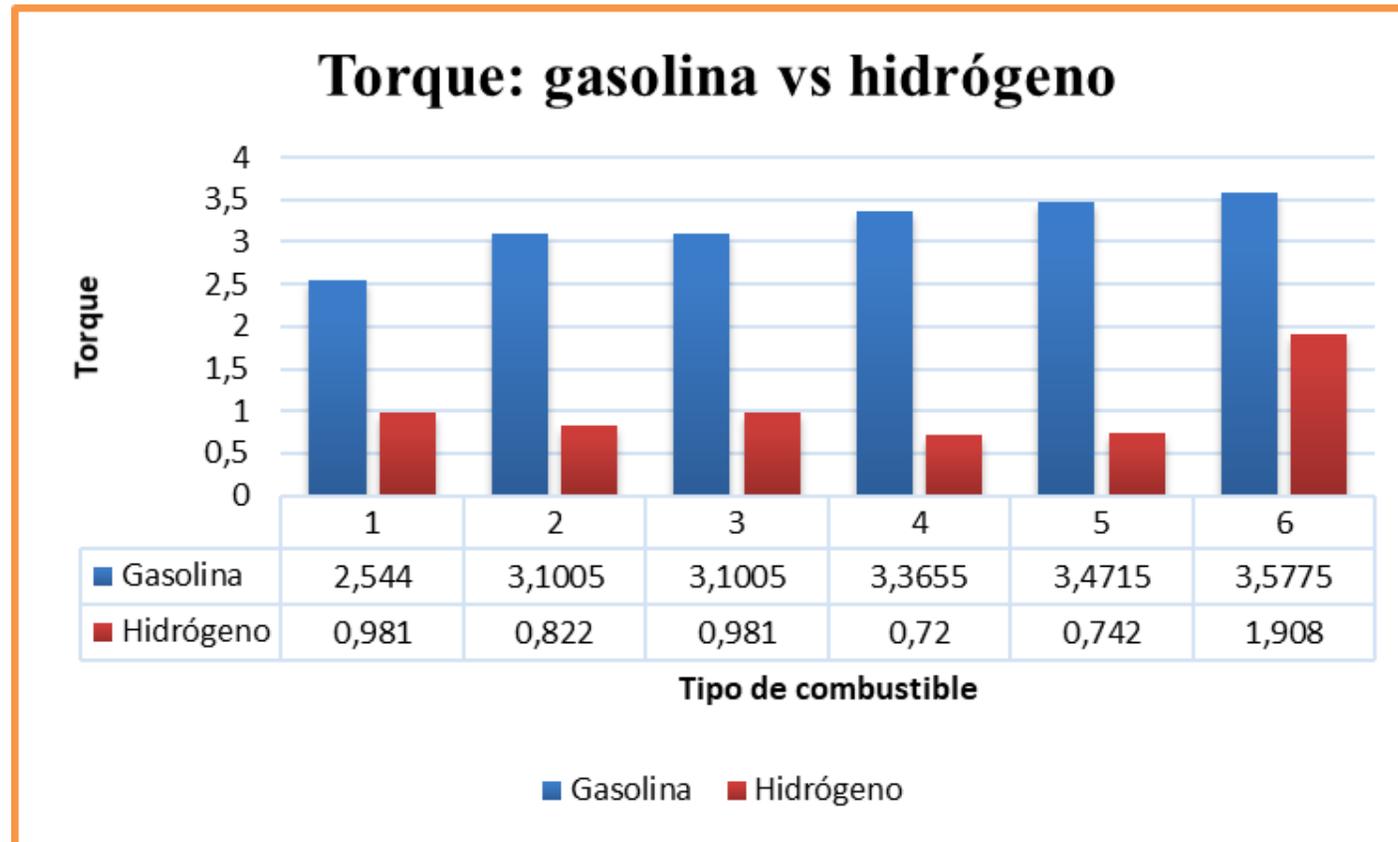
# Cálculo del torque con hidrógeno



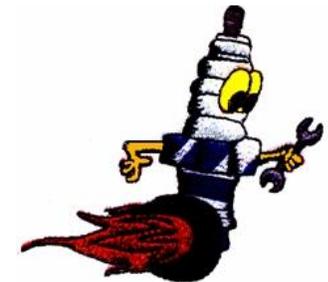
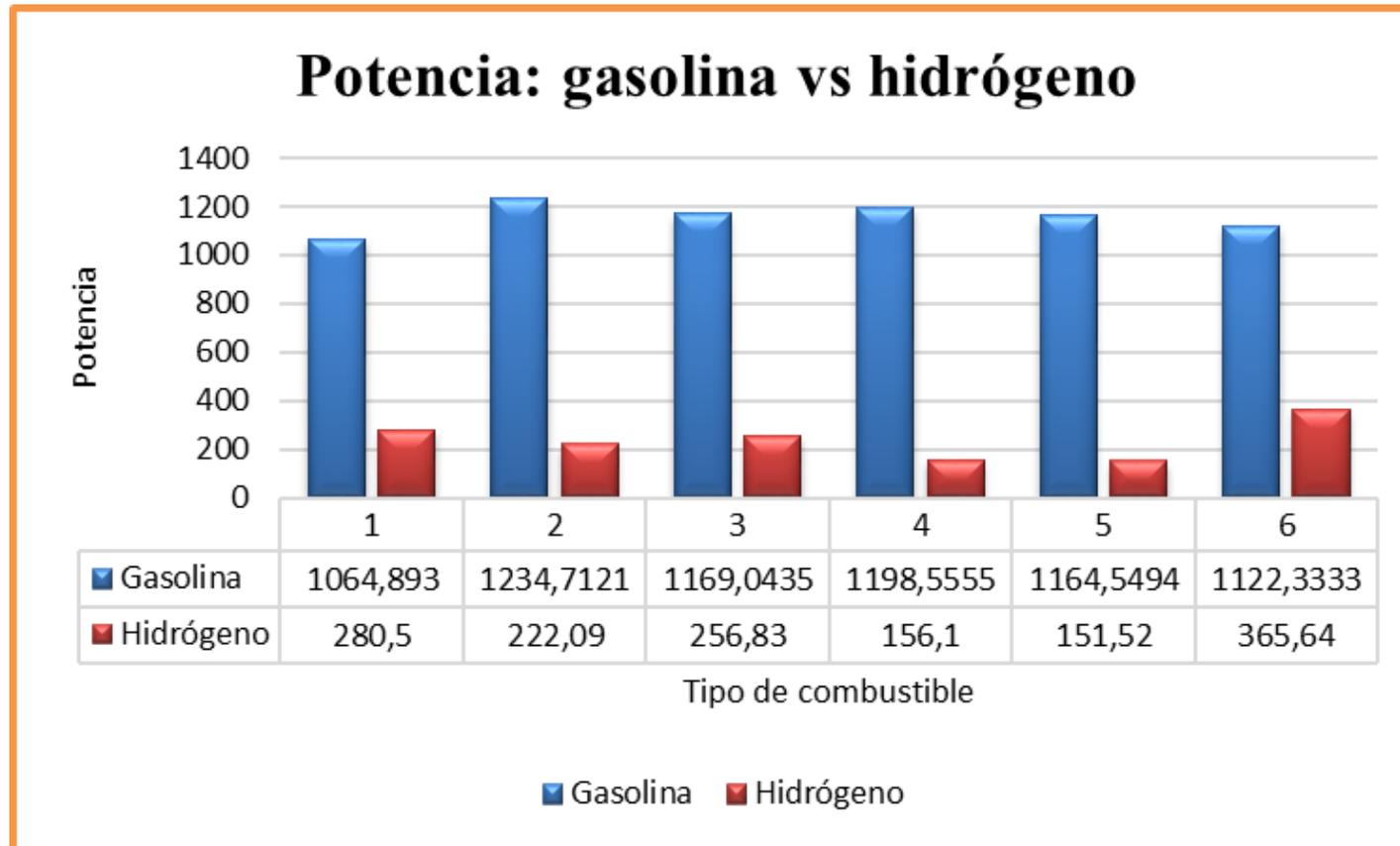
# Cálculo de la potencia con hidrógeno



# Comparación: gasolina vs hidrógeno

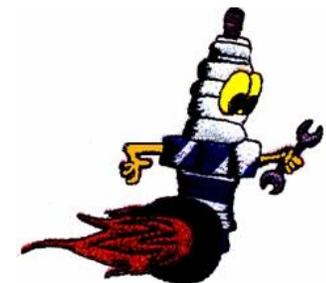


# Comparación: gasolina vs hidrógeno



# Analizador de gases: gasolina vs hidrógeno

| 4 Gas Emission Analyzer | 4 Gas Emission Analyzer |
|-------------------------|-------------------------|
| 2018/02/20              | 2018/02/20              |
| PM 2:35                 | PM 3:35                 |
| CAR NUMBER: 0000        | CAR NUMBER: 0000        |
| CO : 0.15 %             | CO : 0.12 %             |
| HC : 888 ppm            | HC : 1084 ppm           |
| CO2 : 6.8 %             | CO2 : 7.3 %             |
| O2 : 8.82 %             | O2 : 5.84 %             |
| LAMBDA: 1.726           | LAMBDA: 1.407           |
| AFR : 25.3              | AFR : 20.6              |
| FUEL : GASOLINE         | FUEL : GASOLINE         |
| H/C : 1.8500            | H/C : 1.8500            |
| O/C : 0.0000            | O/C : 0.0000            |

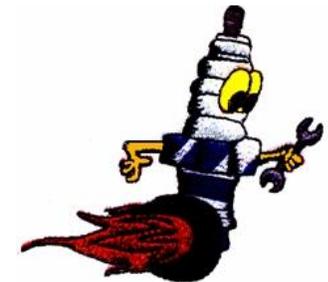
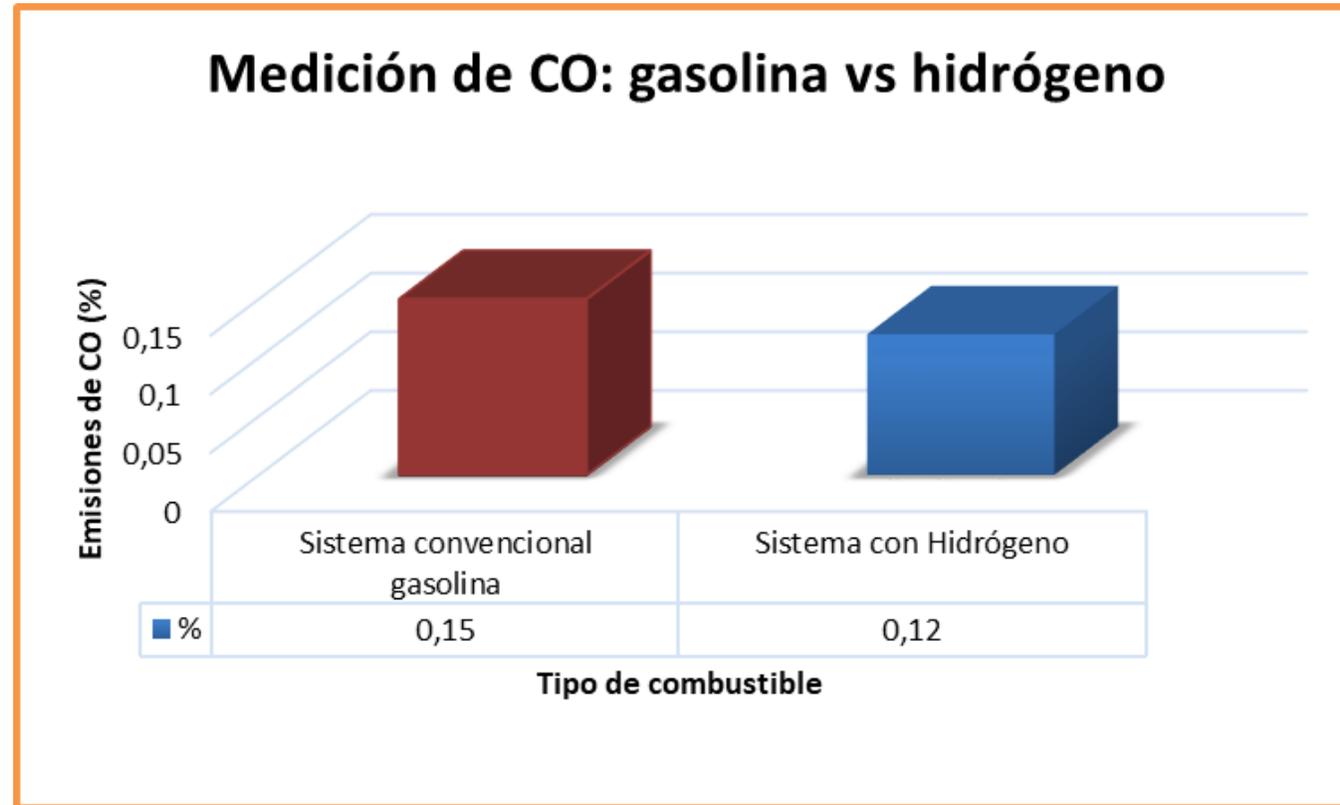


# Analizador de gases: gasolina vs hidrógeno

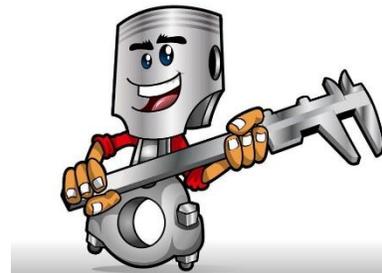
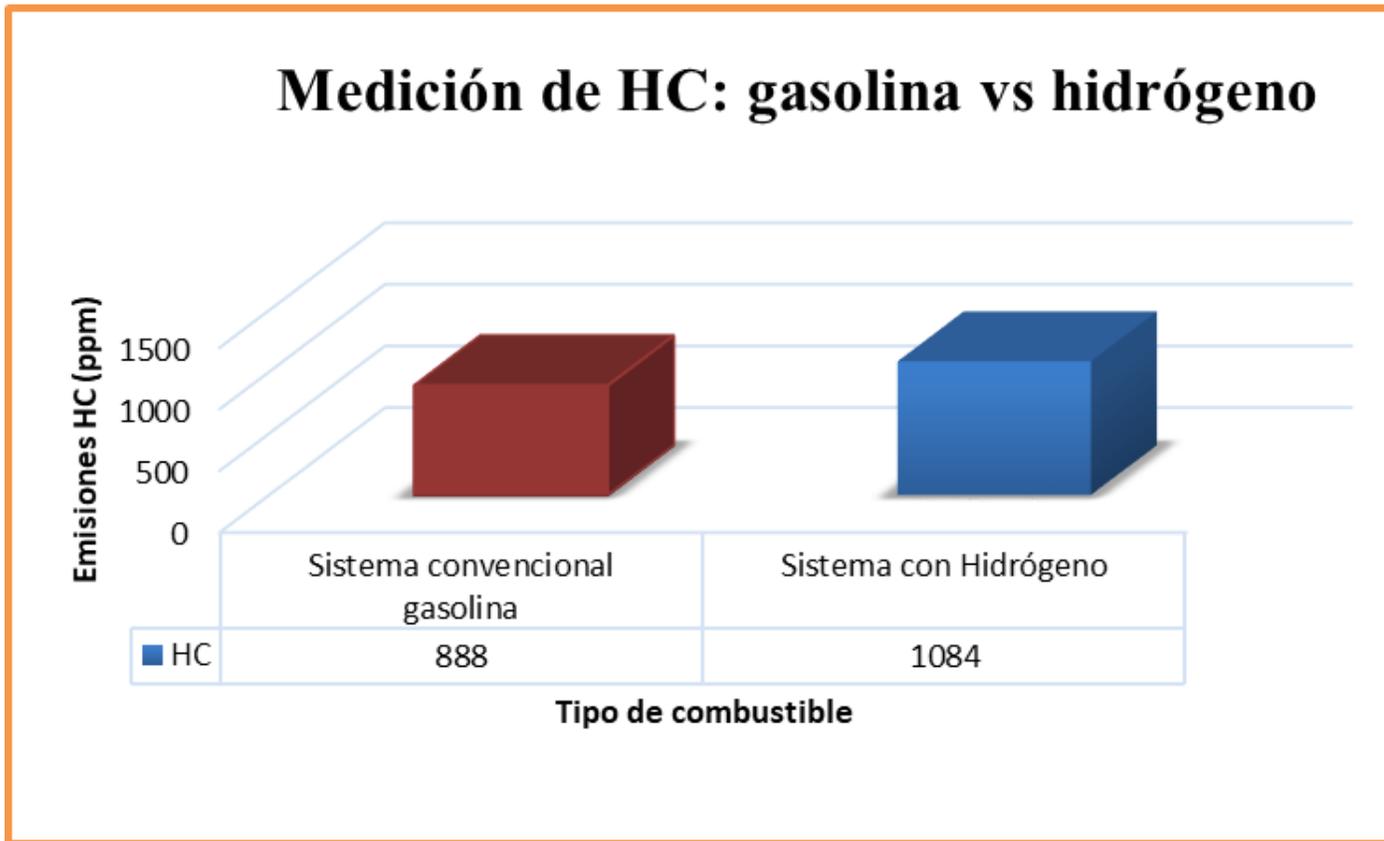
| GAS             | Unidad    | Sistema convencional gasolina | Sistema con Hidrógeno | Porcentaje de variación | Característica |
|-----------------|-----------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|
| CO              | %         | 0,15                          | 0,12                  | 20,51%                  | Disminuye      |
| HC              | Ppm       | 888                           | 1084                  | 22,07%                  | Aumenta        |
| CO <sub>2</sub> | %         | 6,8                           | 7,3                   | 7,35%                   | Aumenta        |
| O <sub>2</sub>  | %         | 8,82                          | 5,84                  | 33,79%                  | Disminuye      |
| Lambda          | $\lambda$ | 1,726                         | 1,407                 | 18,48                   | Disminuye      |



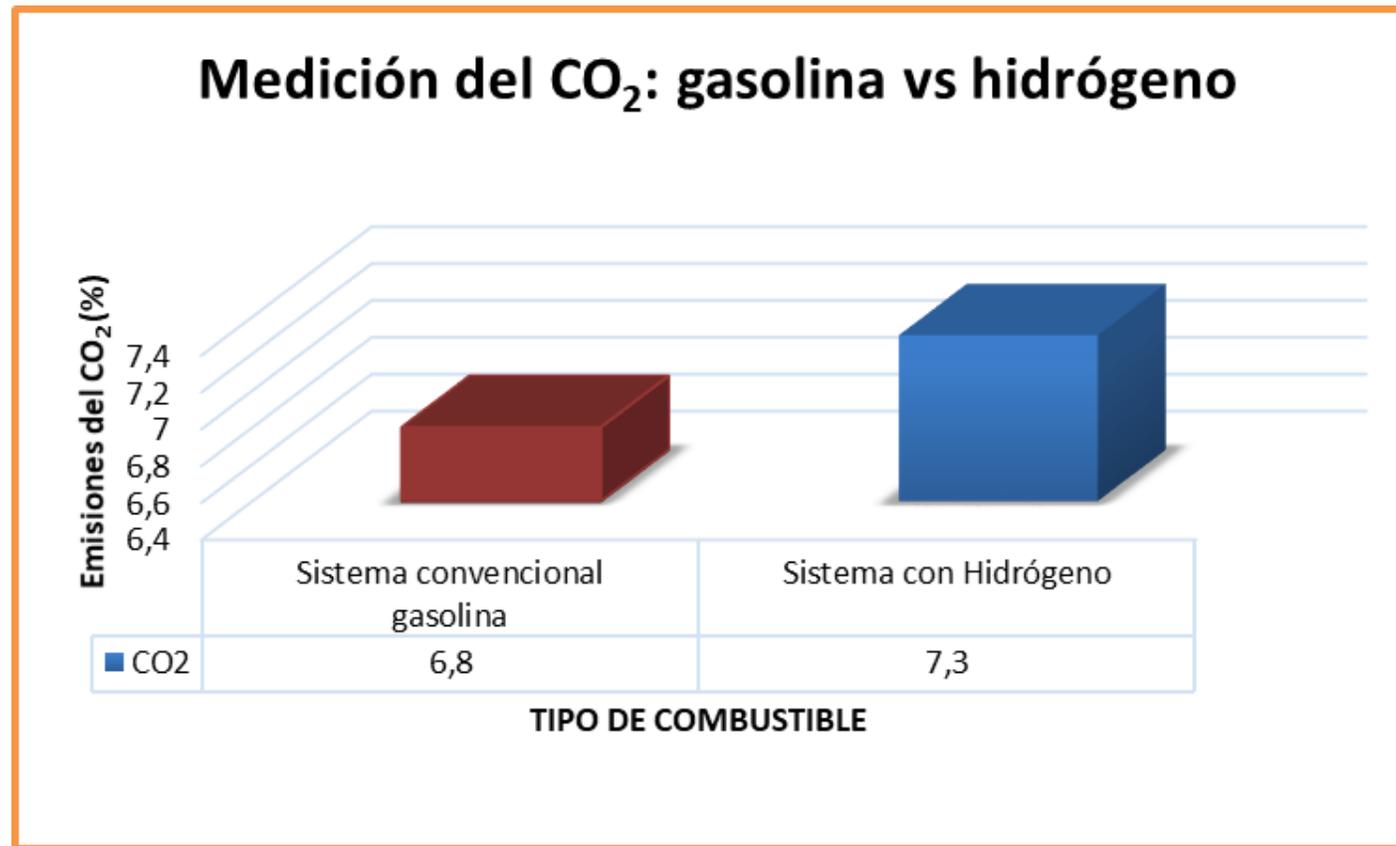
# Analizador de gases: gasolina vs hidrógeno



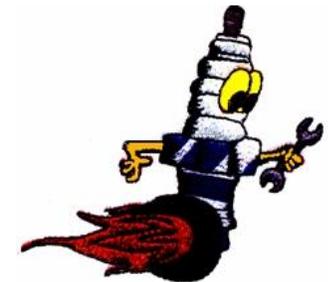
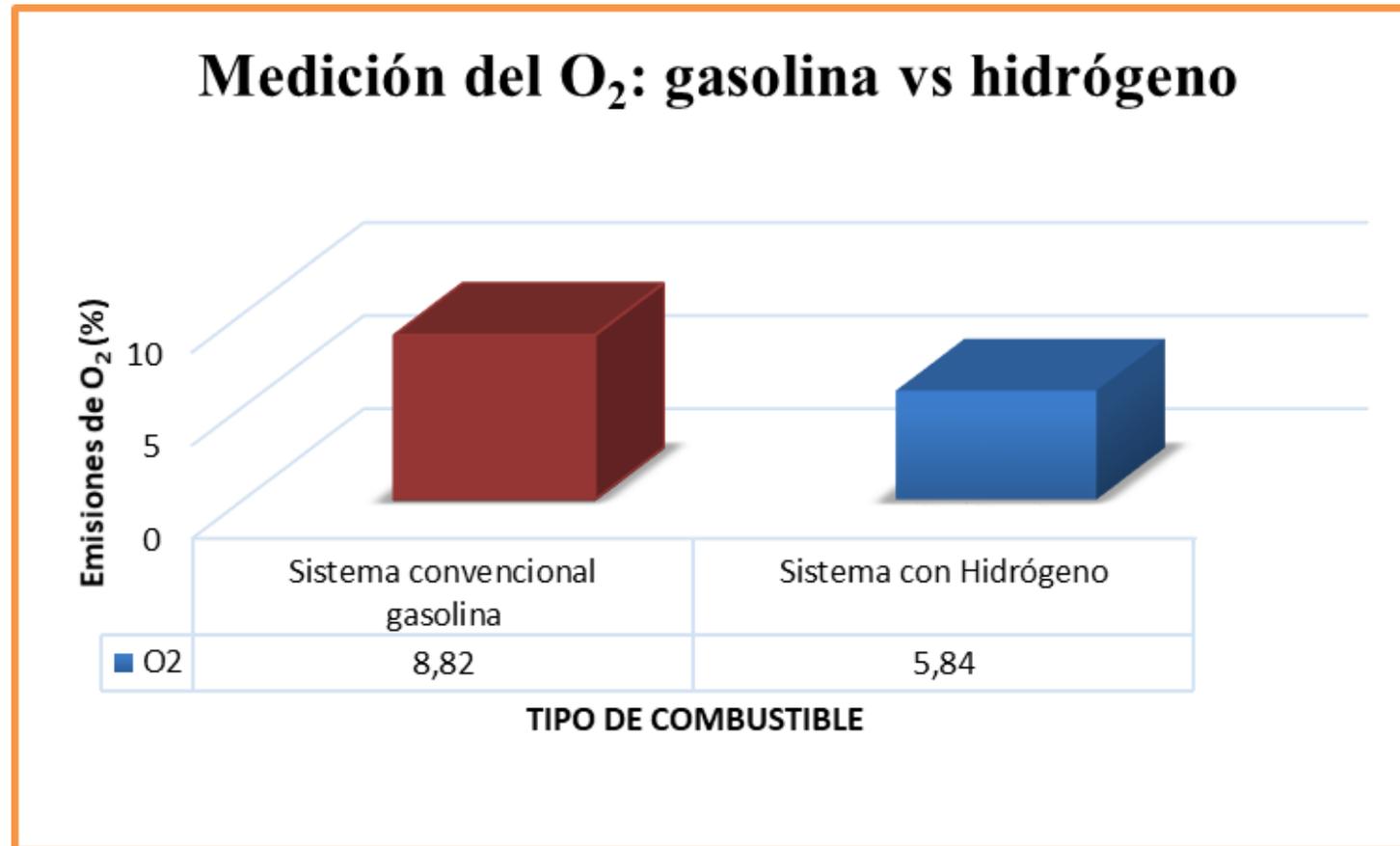
# Analizador de gases: gasolina vs hidrógeno



# Analizador de gases: gasolina vs hidrógeno

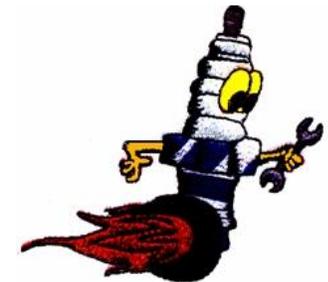


# Analizador de gases: gasolina vs hidrógeno



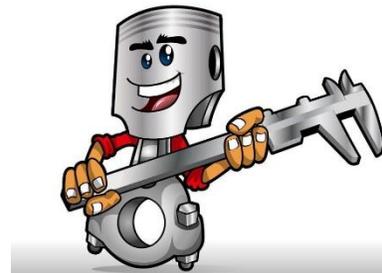
# Conclusiones

- Se construye y se diseña un reactor de hidrógeno – oxígeno utilizando el mismo gas para hacer funcionar el motor de combustión interna en reemplazo de gasolina extra de 87 octanos comercial.
- Se investigó en fuentes bibliográficas confiables, con respecto al material de las placas a utilizar y el mejor electrolito que permita el intercambio eficiente de electrones y se obtenga mayor hidrógeno.
- Se selecciona placas de acero inoxidable quirúrgicas para los electrodos, mismos que generan hidrógeno en un medio líquido compuesto por sosa cáustica diluida en agua destilada, con una corriente continua de 12 voltios.



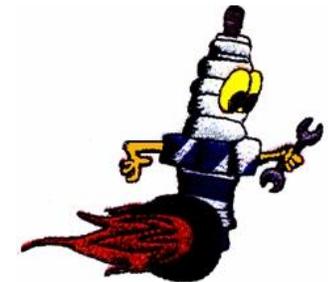
# Conclusiones

- El gas hidrógeno – oxígeno producido hace funcionar al motor de combustión interna en reemplazo de la gasolina y de la misma manera en un sistema híbrido gas HHO – gasolina se verifica que para el correcto funcionamiento se debe trabajar con dos placas neutras generando un gas no explosivo.
- Se determinó el número de placas que permitan descomponer el agua destilada en proporciones exactas para hacer funcionar el motor de combustión interna a gasolina.
- Se comparó el torque y potencia generado por el motor de combustión interna con gasolina y solamente a hidrógeno obtenido de la descomposición del agua.



# Conclusiones

- Se adaptó el ingreso de hidrógeno producido en la entrada de aire del motor de combustión interna, entre el filtro de aire y el carburador, determinando el potencial energético del hidrógeno, parámetros mecánicos y térmicos en el motor de combustión interna a gasolina.
- Se verificó un aumento del  $\text{CO}_2$  en un 0,5%, aumento de hidrocarburos (HC) de 196 ppm, una disminución de  $\text{O}_2$  en un 2,98% y finalmente una reducción del CO de 0,03%.



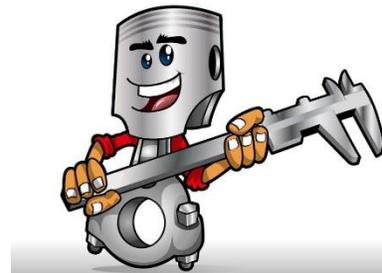
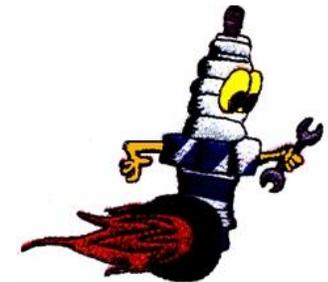
# Recomendaciones

- Se debe indagar información actualizada y verificar su veracidad pertinente para empezar la investigación.
- Calibrar los equipos antes de iniciar la medición para obtener valores confiables en cada una de las pruebas a realizar.
- Utilizar equipos de seguridad industrial para las prácticas en el banco de pruebas como: gafas plásticas, orejeras, guantes de electricista y el mandil, ya que el hidrógeno es muy volátil y se comprobó explosiones de magnitud media que pueden causar lesiones al cuerpo humano.



# Recomendaciones

- Dar mantenimiento a los electrodos luego de ser utilizado el reactor.
- Utilizar un sistema de refrigeración a los cables y bornes de los electrodos, ya que se recalientan demasiado por el flujo de electrones en el interior de los reactores.
- No utilizar material que contenga hierro (Fe) o recubrimiento galvanizado ya que dañan las placas y acortan la vida útil de los electrodos.
- Utilizar pernos, tuercas y placas totalmente compuestos de acero inoxidable para que la descomposición sea eficiente y efectiva.



# Recomendaciones

---

- Desarrollar proyectos de investigación que promuevan el cuidado del medio ambiente, basándose en la utilización de energías renovables de fácil producción.
- Fabricar obligatoriamente un filtro de hidrógeno-arresta llamas que no permita el paso de alguna chispa al sistema y proteja la explosión de los reactores.



---

# GRACIAS

