



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

**TEMA: DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN GASOLINA – HHO EN EL MOTOR
DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO MONOPLAZA TIPO BUGGY
DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE PATIO DE LA ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**

**AUTORES: DIEGO ALONSO JUMA YAR
HOLGUER WLADIMIR MARTÍNEZ ANANGONÓ**

**DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO
CODIRECTOR: ING. JUAN CASTRO**

LATACUNGA, 2015

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e instalar un sistema de alimentación gasolina - HHO en el motor de combustión interna del vehículo monoplace tipo Buggy para reducir la contaminación ambiental a causa del uso de combustibles fósiles.

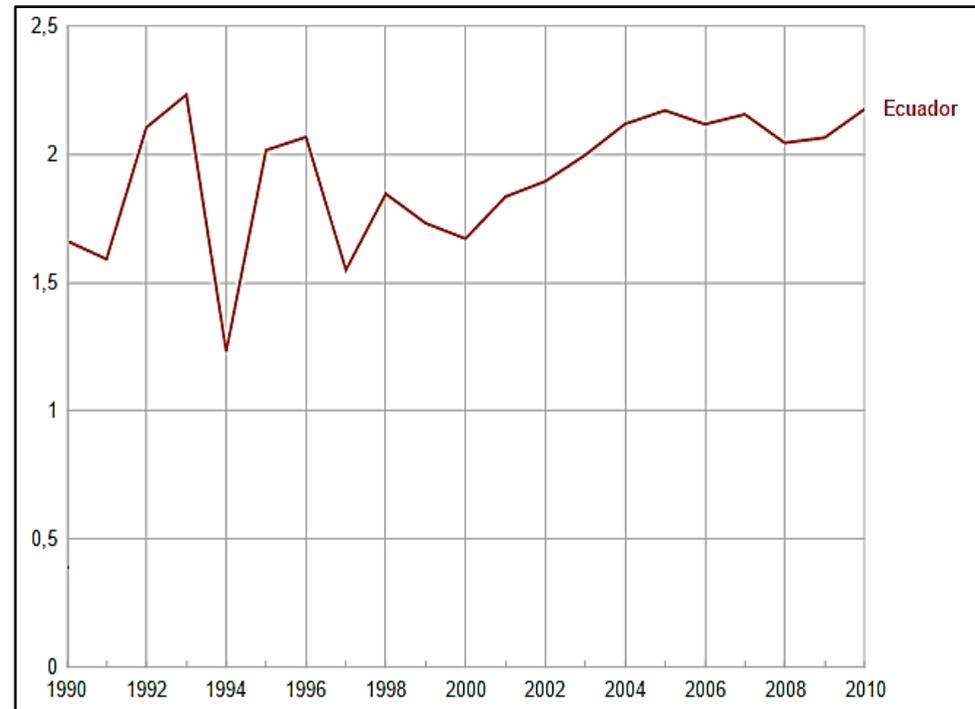
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los componentes necesarios para construir el generador HHO para la producción de hidrógeno.
- Adaptar al sistema de alimentación los elementos de control para el funcionamiento del motor Kawasaki ZX 750 del monoplaza Buggy con dos carburantes.
- Utilizar el gas HHO en el motor de combustión interna como combustible de uso automotriz.
- Realizar las pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y autonomía del vehículo monoplaza tipo Buggy.

ANTECEDENTES

El consumo de petróleo como fuente de energía en motores de combustión interna a gasolina y el agotamiento de los hidrocarburos debido a la creciente demanda en la industria han incidido directamente sobre el aumento de la contaminación global.

- En el año 2013 se matricularon en el país **1.717.886 vehículos** (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC, 2013)
- Al finalizar el año 2014 esta cifra superó los **1.8 millones de vehículos** a escala nacional (Agencia Nacional de Tránsito, 2014).



Emisiones de CO2 per cápita en Ecuador

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

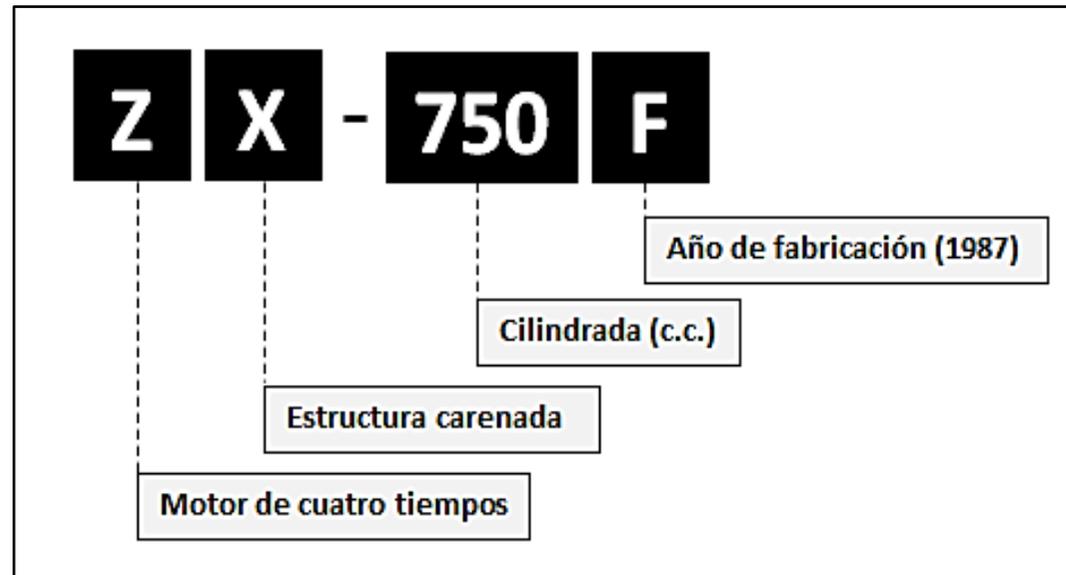
Las fuentes móviles, cuyo crecimiento anual es superior al 7%, originan la emisión principal que afecta la calidad del aire. El crecimiento del parque automotor en el Ecuador origina un aumento del tráfico vehicular dificultando el cumplimiento de las normas ambientales de calidad, que a su vez ocasiona una contaminación directa del medio ambiente, afectando por ende de la salud humana. (Secretaría de Ambiente, 2014)

DESCRIPCIÓN GENERAL

Motor tipo DOHC de cuatro tiempos con cuatro cilindros en línea (4 válvulas por cilindro), con un sistema de refrigeración por agua. Es ligero, pequeño y potente en comparación a los motores con 750 c.c. de potencia del resto de constructores. Es ideal para realizar recorridos largos y de baja velocidad.

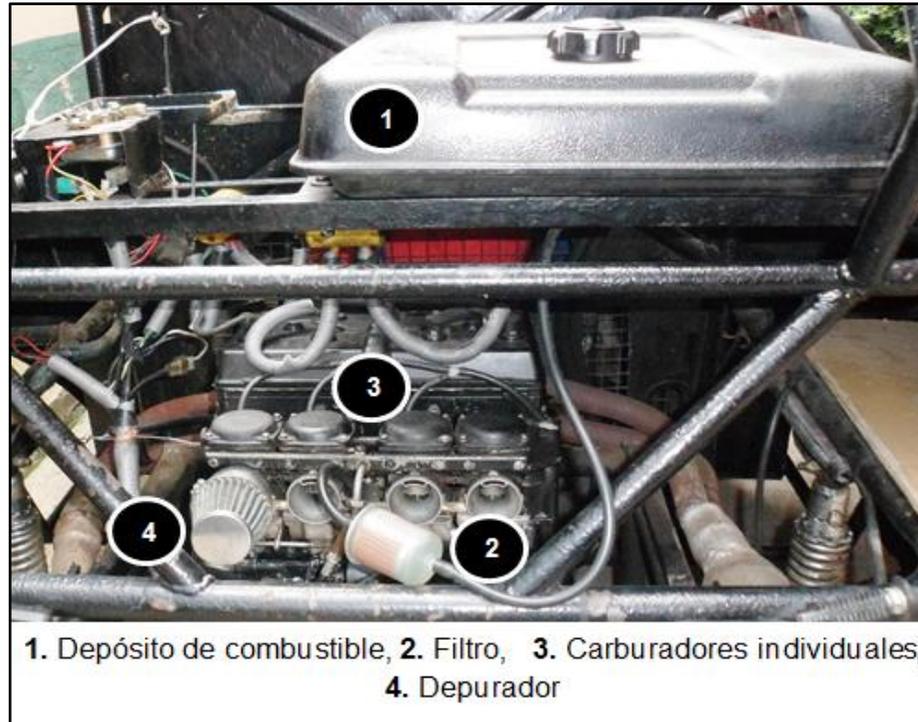


Motor Kawasaki ZX7 50F



Nomenclatura Kawasaki

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE

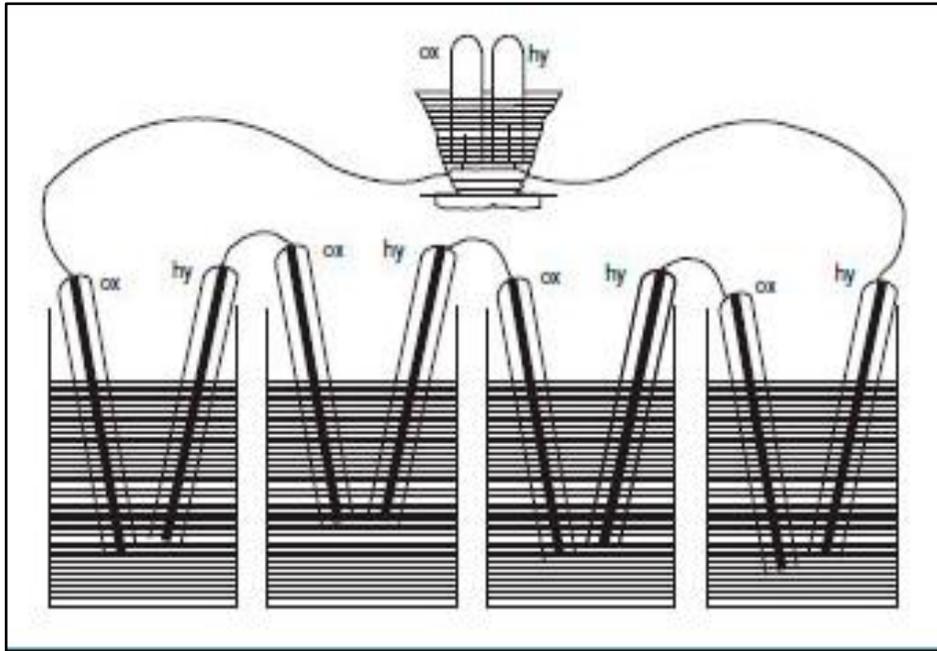


Elementos del sistema de alimentación

El sistema de alimentación de combustible correspondiente al motor del prototipo en el que implementó el sistema de generación de gas Brown funciona por el principio de gravedad

ANTECEDENTES DEL USO DEL HIDRÓGENO

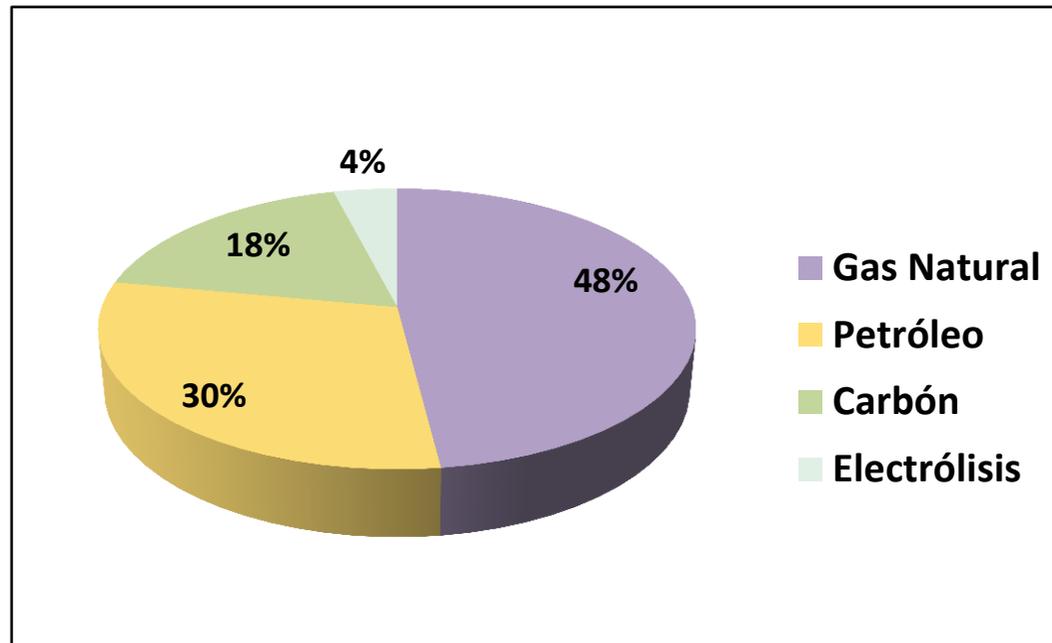
Las propiedades energéticas del hidrógeno fueron descubiertas por William Robert Grove. Entre los años 1893 y 1842 creó la llamada “batería a gas”. Esta batería se basaba en el principio de la electrólisis, que consiste en pasar corriente a través del agua con la finalidad de separarla en sus componentes constitutivos, es decir, en hidrógeno y oxígeno.



Pila de combustible de Grove

EL HIDRÓGENO Y LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

Se producen alrededor de ciento treinta mil toneladas de hidrógeno a partir de los combustibles fósiles. Es sin duda en la actualidad la forma más económica de obtener hidrógeno (95% de la producción mundial) dejando de lado a la obtención de hidrógeno por electrólisis del agua (4% de la producción mundial de hidrógeno) a pesar de la simplicidad de su proceso.



Producción de hidrógeno por combustibles fósiles

ALMACENAMIENTO DEL HIDRÓGENO

En la actualidad existen distintas formas de almacenar hidrógeno, tanto para aplicaciones estacionarias como para el sector del transporte.



En el caso del empleo de hidrógeno como combustible para el transporte, uno de los principales problemas a resolver es la falta de los medios adecuados para su almacenamiento en el propio vehículo, cumpliendo los requisitos de seguridad, costos, y las características de suministro requeridas

USOS DEL HIDRÓGENO EN AUTOMOCIÓN

Ventajas



- Es tres veces más ligero que la gasolina
- Combustión es muy limpia
- Disminuye el impacto medioambiental
- Permite aprovechar la energía cinética del vehículo

Desventajas



- Requiere grandes recipientes de almacenamiento
- Su transporte y almacenamiento son complejos y costosos
- Es un combustible secundario
- Se dificulta su comercialización

GAS BROWN (GAS HHO)

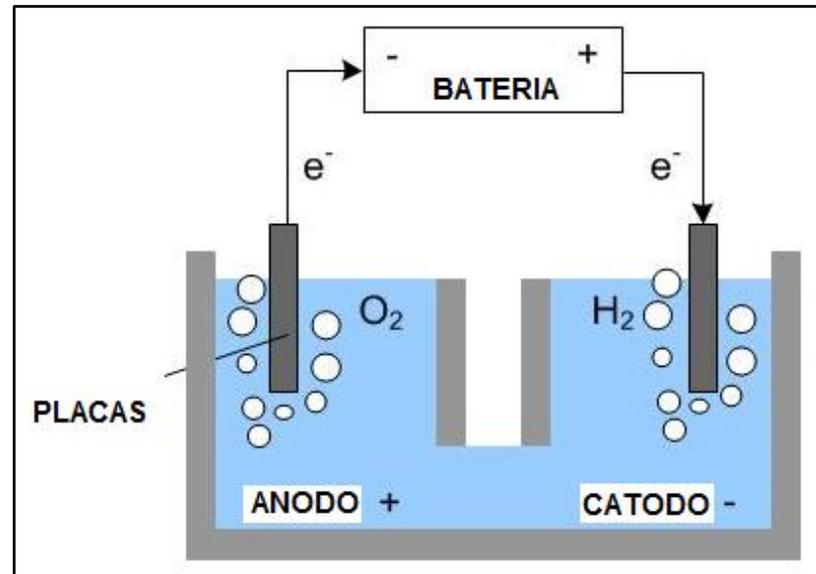
El gas HHO es conocido también como gas Brown, en honor a Yull Brown, a quien se le acredita la patente de producción del gas HHO en el año 1974. Yull desarrolló un método para electrolizar el agua en una mezcla estequiométrica exacta obteniendo como resultado una sustancia utilizada en procesos de soldadura, la cual es altamente inflamable pero no es combustible, cuando se utiliza correctamente.



Antorcha de soldadura con gas Brown

CELDA ELECTROLIZADORAS

La celda de combustible utilizada en este proyecto funciona bajo el principio de la electrólisis.



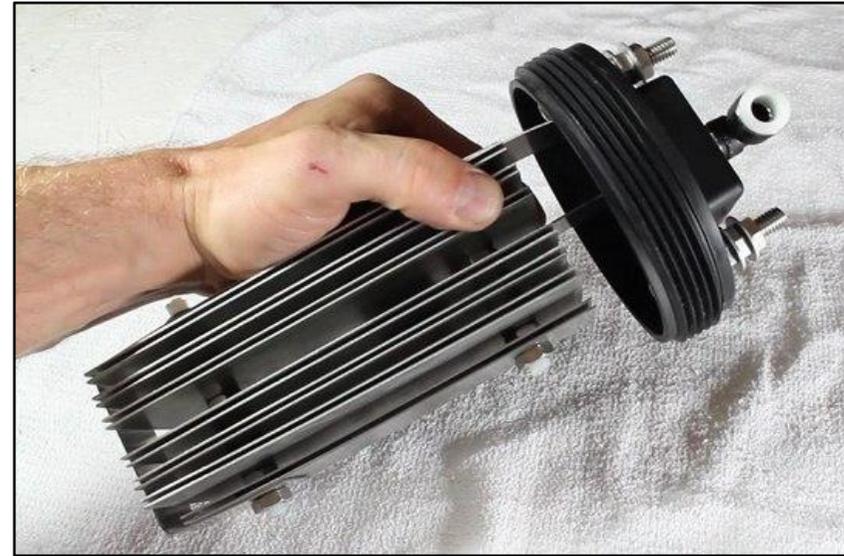
Principio de electrólisis del agua

El principal problema inconveniente de la electrólisis convencional para la producción de hidrógeno a gran escala es la cantidad de electricidad necesaria para realizar el proceso.

TIPOS DE CELDAS ELECTROLIZADORAS



Celda seca



Celdas húmeda

Existen dos tipos de celdas electrolizadoras que se utilizan en el campo automotriz. Ambos diseños por lo general se fabrican en acero inoxidable.

MATERIALES Y REACTIVOS



Agua destilada



Plancha de acero inoxidable 316L

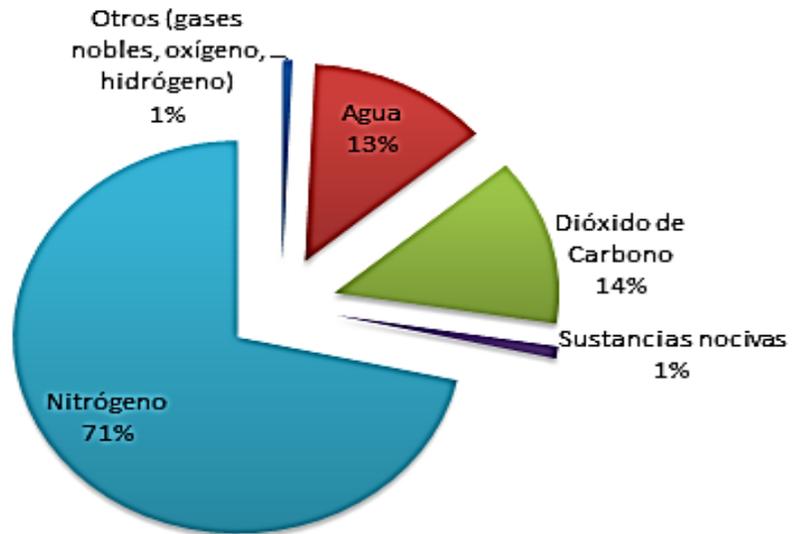


Hidróxido de potasio



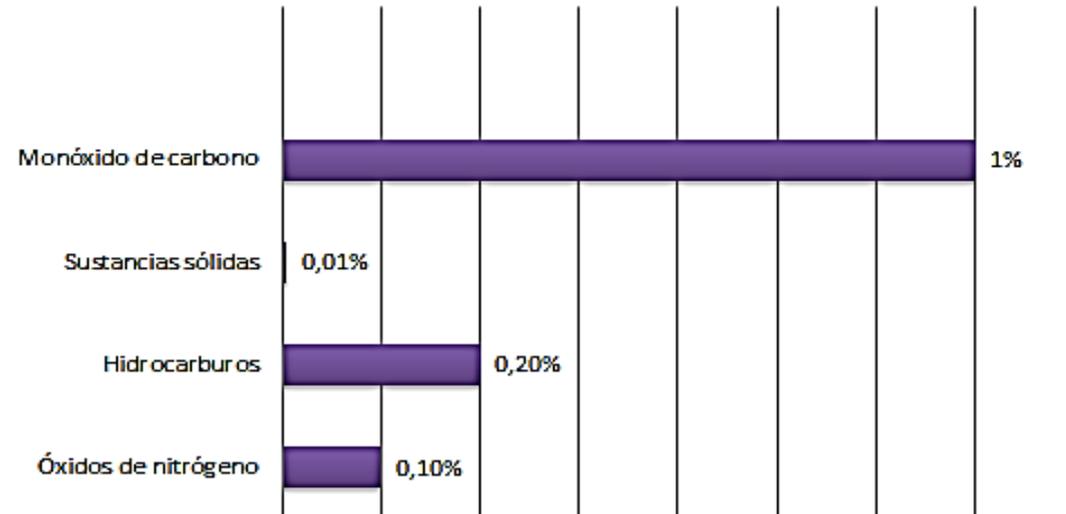
Poliuretano

GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN



GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN

SUSTANCIAS NOCIVAS



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR HHO

| ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR DE GAS HHO | |
|--|----------|
| Número de placas | 19 |
| Número de placas negativas | 4 |
| Número de placas positivas | 3 |
| Número de placas neutras | 12 |
| Número de separadores | 20 |
| Cámaras generadoras | 6 |
| Toma de abastecimiento | 1 |
| Toma de salida de gas al burbujeador | 2 |
| Voltaje | 12 V DC |
| Consumo eléctrico | 12 A |
| Caudal | (800 cc) |
| Capacidad de agua | (600 cc) |

DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES Y RESULTADOS

| DIMENSIÓN DE LA PLACA |
|------------------------------|
| Base |
| Altura |
| Espesor |
| Chaflán |
| DIMENSIÓN DE LOS SEPARADORES |
| Base externa |
| Base interna |
| Altura externa |
| Altura interna |
| Espesor |
| Chaflán |

| NOMBRE | RESULTADO |
|------------------------|-----------|
| Área interna | |
| Área del chaflán | |
| Área de la placa | |
| Volumen de cada cámara | |
| Volumen de agua | |
| Volumen de HHO | |

FLUJO DE GAS HHO

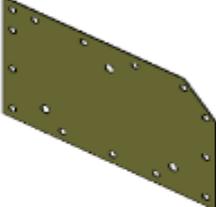
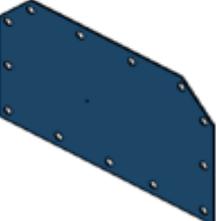
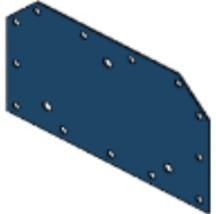
Para realizar los cálculos de producción de gas HHO, se calcula cuánto gas genera en 1 minuto (60s), con una intensidad de 12 A y en condiciones de presión y temperatura normales, es decir a 1 atm y 25°C (298°K) respectivamente .

| NOMBRE | FÓRMULA | VARIABLE | RESULTADO |
|--------------------------|---|----------|--|
| Intensidad de corriente | $I = \frac{Q}{t}$ | Q | Q = 720 C |
| Peso equivalente | $E = \frac{Pa}{V}$ | E | E = 0,5 mol |
| Ley de Faraday | $m = \frac{E \times I \times t}{F}$ | m | m = $3,73 \times 10^{-3}$ (mol) |
| Ley de los gases ideales | $P \times V = n \times R \times T$ $m = n$ | V | $V_H = 9,1 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ |

VALORES OBTENIDOS DE HIDRÓGENO Y OXÍGENO

| ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR DE GAS HHO |
|--|
| Volumen de hidrógeno en cada celda |
| Volumen total de hidrógeno |
| Volumen de oxígeno en cada celda |
| Volumen total de oxígeno |
| Volumen de HHO producido |

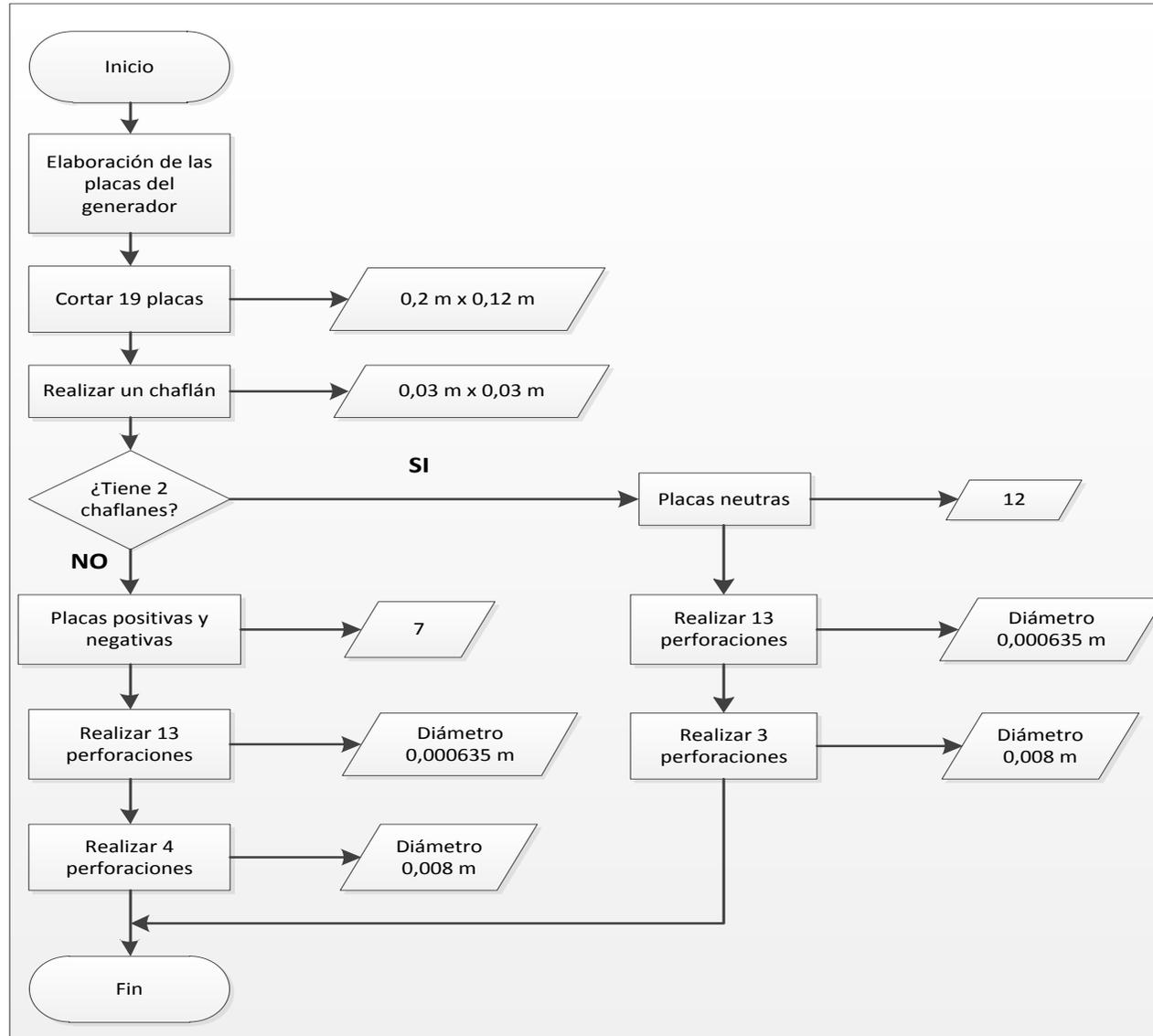
CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR HHO

| NOMBRE | CARACTERÍSTICAS | CANTIDAD | IMAGEN |
|------------------------------|--|----------|---|
| Placas neutras | Acero inoxidable 316L Dimensión: 0,2 m × 0,12 m Espesor: 1×10^{-3} m | 12 |  |
| Placas positivas y negativas | Acero inoxidable 316L Dimensión: 0,2 m × 0,12 m Espesor: 1×10^{-3} m | 7 |  |
| Tope posterior | Acero inoxidable 316L Dimensión: 0,2 m × 0,12 m Espesor: 1×10^{-3} m | 1 |  |
| Placa frontal | Acero inoxidable 316L Dimensión: 0,2 m × 0,12 m Espesor: 1×10^{-3} m | 1 |  |

CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR HHO

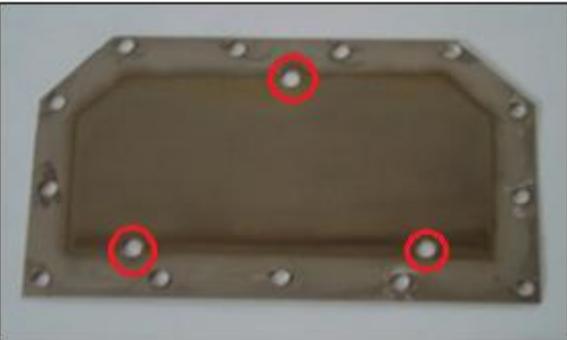
| | | | |
|------------------------------|---|----|---|
| Separadores | Poliuretano Dimensión: 0,2 m × 0,12 m Espesor: 3×10^{-3} m | 20 |  |
| Pernos de sujeción | Acero inoxidable Largo: 0,12 m Diámetro: 5×10^{-3} m | 13 |  |
| Pernos de conexión | Acero inoxidable Largo: 0,12 m Diámetro: 8×10^{-3} m | 2 |  |
| Tuercas de conexión | Acero inoxidable Diámetro ex: 0,01 m Diámetro in: 8×10^{-3} m | 16 |  |
| Tuercas de sujeción | Acero inoxidable Diámetro ex: 7×10^{-3} m Diámetro in: 5×10^{-3} m | 26 |  |
| Arandelas de conexión | Acero inoxidable Diámetro in: 8×10^{-3} m | 4 |  |
| Arandelas de sujeción | Acero inoxidable Diámetro in: 5×10^{-3} m | 26 |  |
| Manguera aislante | PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro ex: 6×10^{-3} m Diámetro in: 5×10^{-3} m Altura: 0,09 m | 13 |  |

ELABORACIÓN DE PLACAS

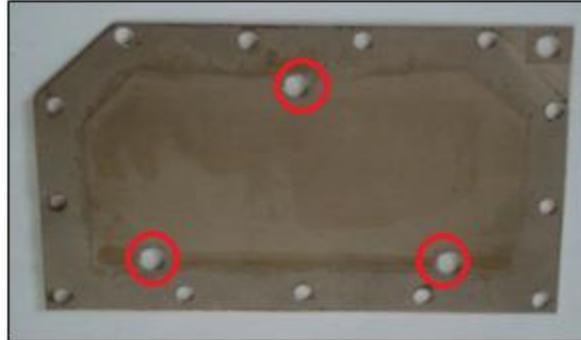


ELABORACIÓN DE PLACAS

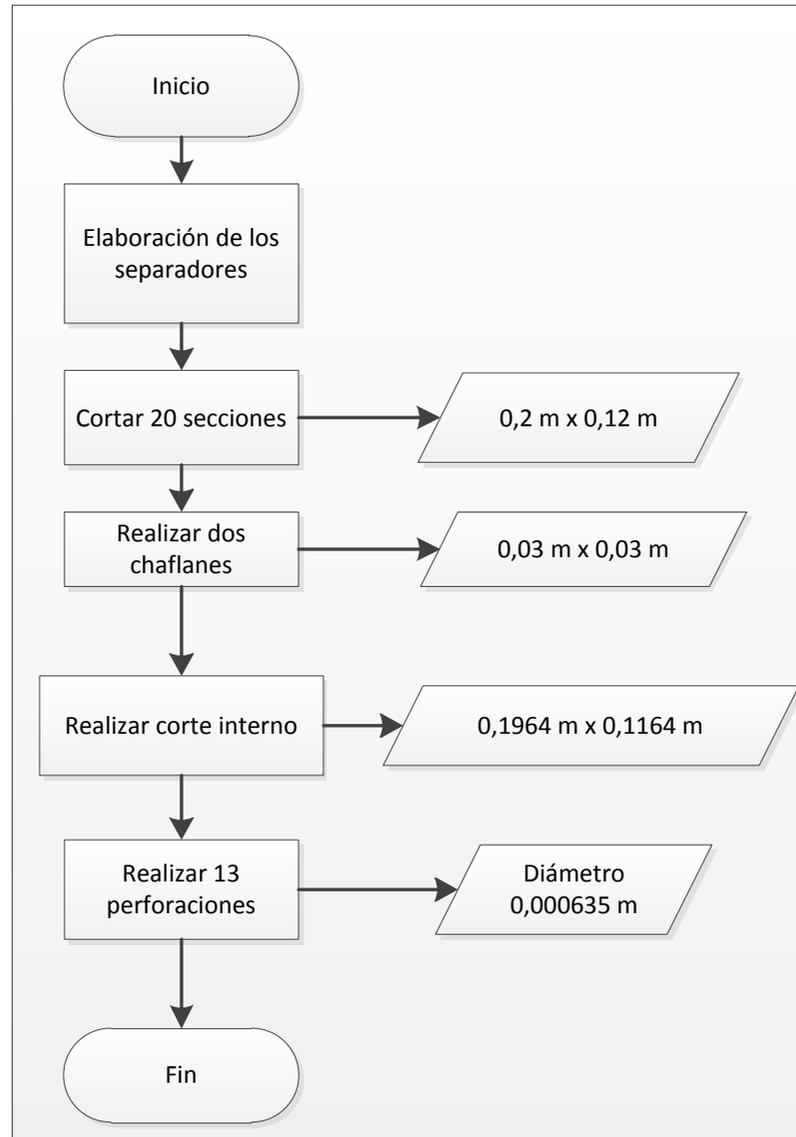
PLACAS NEUTRAS



PLACAS POSITIVAS Y NEGATIVAS



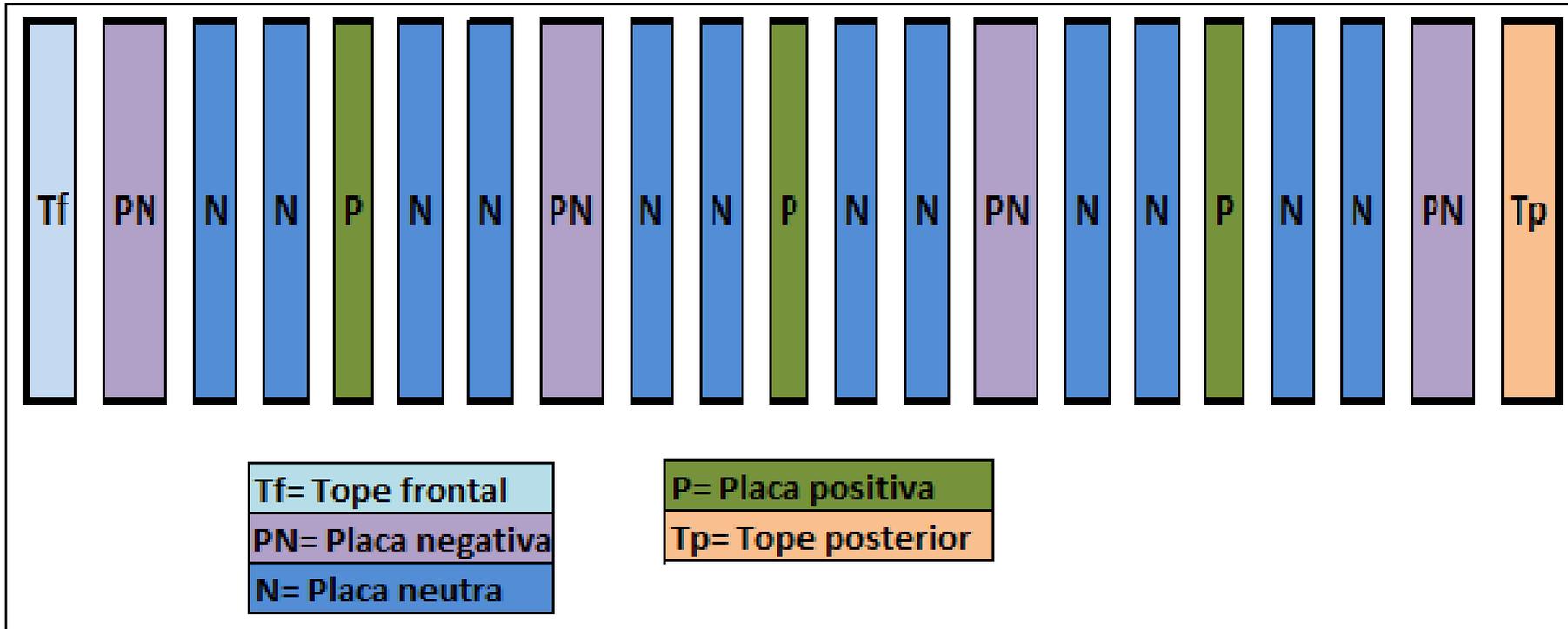
ELABORACIÓN DE SEPARADORES



ELABORACIÓN DE SEPARADORES



DISTRIBUCIÓN DE PLACAS



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL DEPÓSITO (BURBUJEADOR)

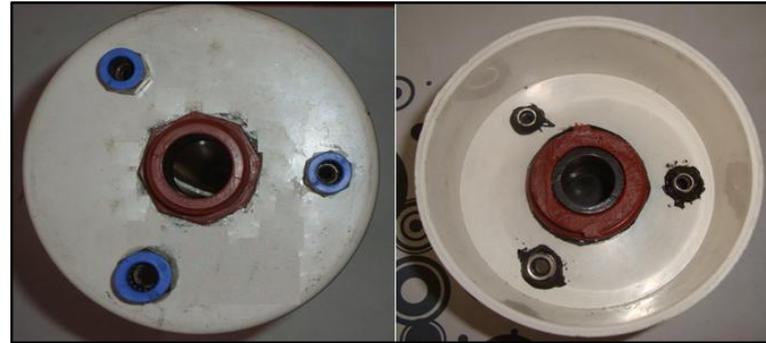
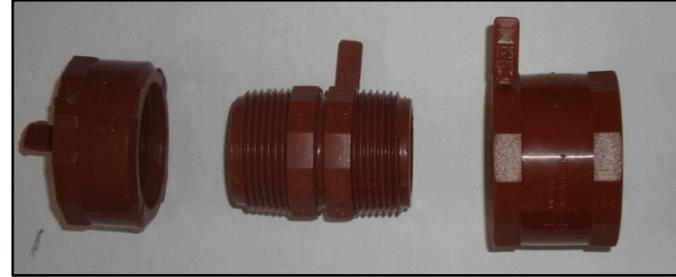
El depósito está diseñado para albergar (2 litros) de agua destilada con electrolito (KOH) y los (0,5 litros) donde se aloja el gas HHO

| ESPECIFICACIONES DEL DEPÓSITO Y BURBUJEADOR |
|---|
| Capacidad |
| Altura |
| Diámetro |
| Toma del burbujeador |
| Toma de abastecimiento al generador |
| Toma de salida de gas a la admisión |
| Tapa de suministro al deposito |

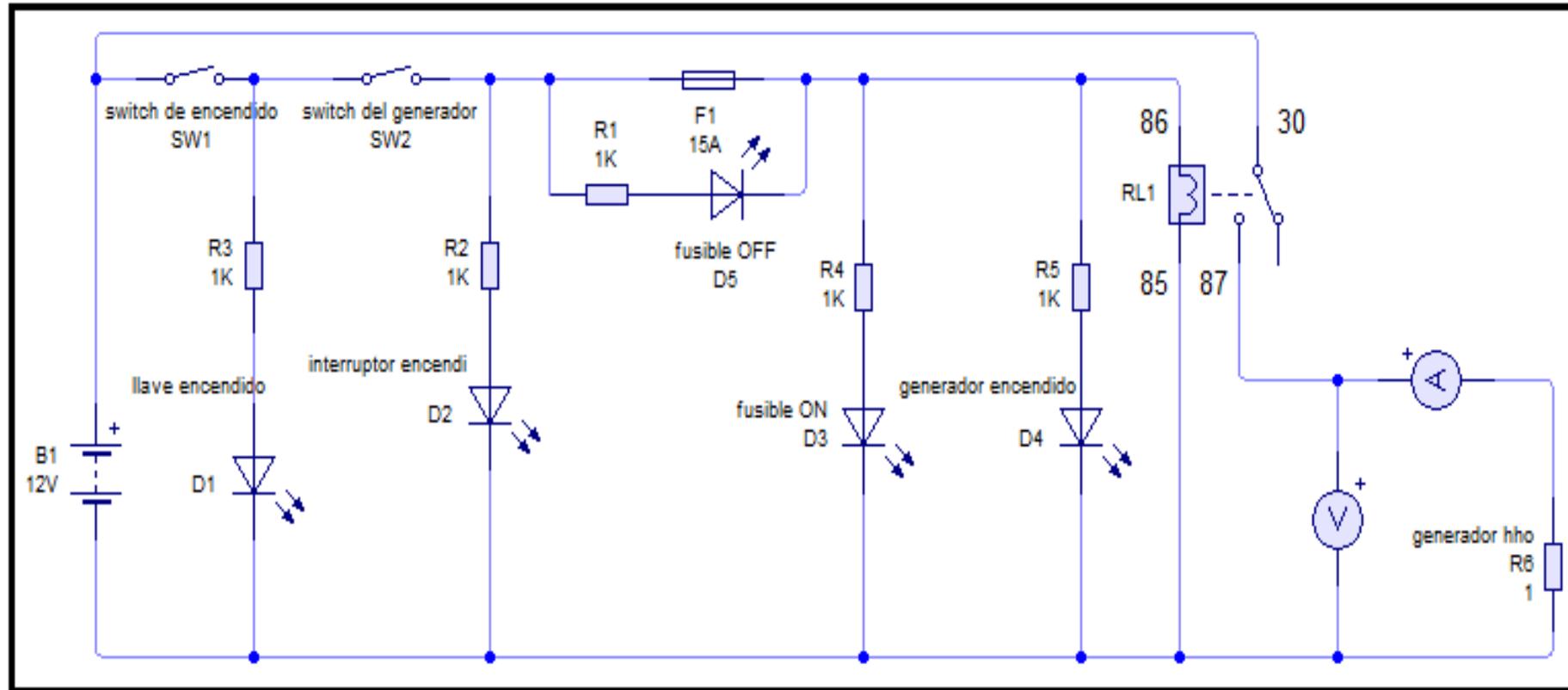
COMPONENTES DEL DEPÓSITO (BURBUJEADOR)

| NOMBRE | CARACTERÍSTICAS | CANTIDAD |
|---------------------------|--|----------|
| Tapón tipo hembra | PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: | 2 |
| Tubo | PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: Largo: | 1 |
| Tapón | PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: | 1 |
| Neplo | PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: | 1 |
| Tuerca | PVC (Policloruro de Vinilo) Diámetro: | 1 |
| Racores neumáticos | Acero inoxidable Diámetro: | 3 |
| Racor neumático | Acero inoxidable Diámetro: | 1 |

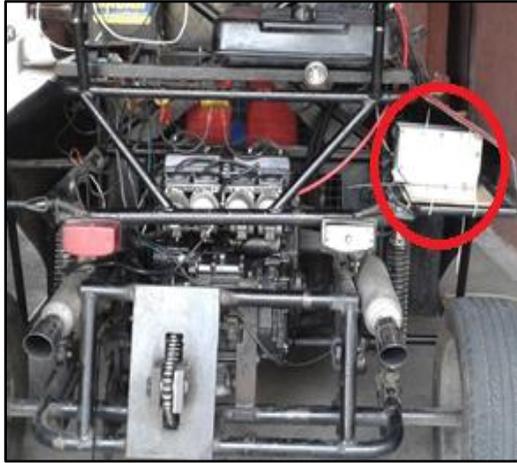
COMPONENTES DEL DEPÓSITO (BURBUJEADOR)



DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO



INSTALACIÓN DEL SISTEMA



El generador se instala en un lugar alejado de las fuentes de calor, donde no existan cables de conexiones eléctricas que obstaculicen su operación y tampoco deben existir fugas de algún líquido.

Para colocar el depósito y burbujeador debe tener en cuenta que debe estar a mayor altura que el generador de gas HHO debido a que este se alimenta mediante la gravedad.



MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

1

- El nivel del agua debe controlarse con regularidad cada 150 km

2

- También se revisará las mangueras y acoples que se encuentren en buen

3

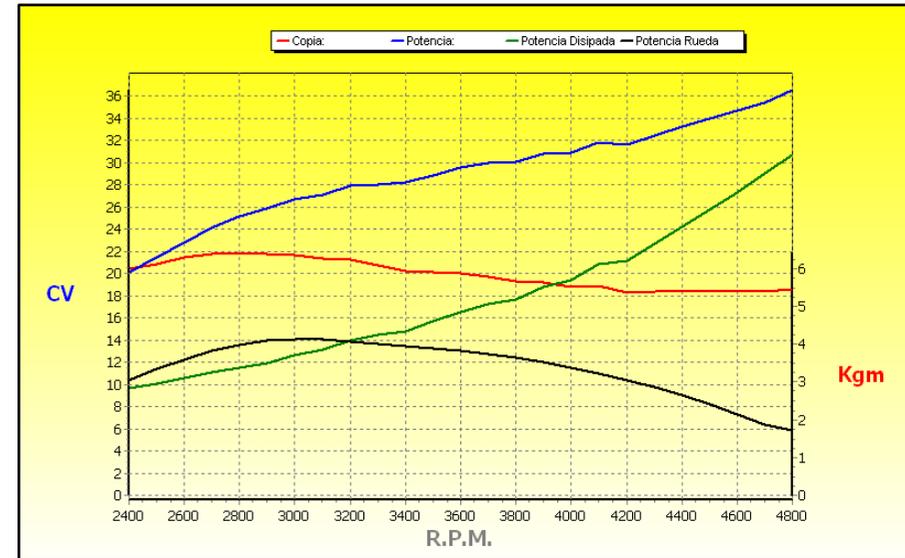
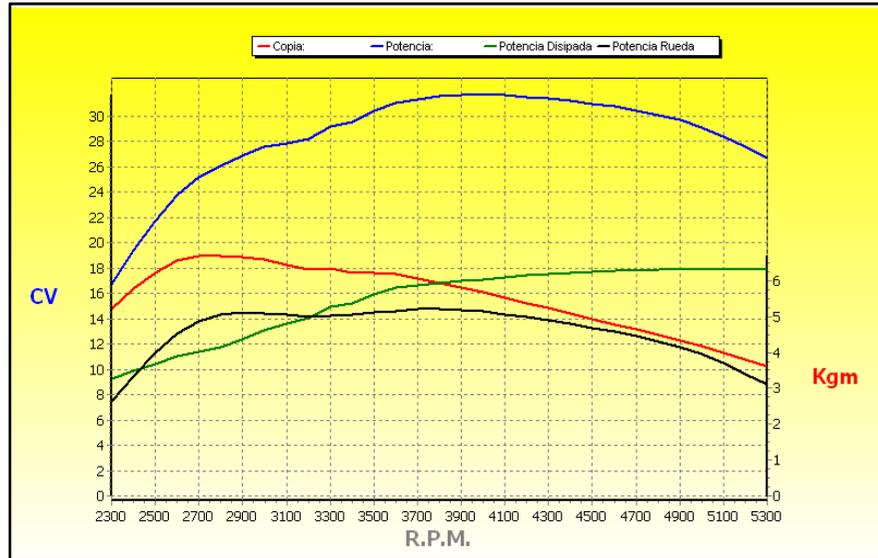
- El generador debe ser limpiado cada 20000 km

4

- Cuando el nivel de agua sea el adecuado y el amperaje se encuentre por debajo del que trabaja el generador de gas HHO, se deberá controlar agregando hidróxido de potasio (KOH) hasta alcanzar el amperaje adecuado

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

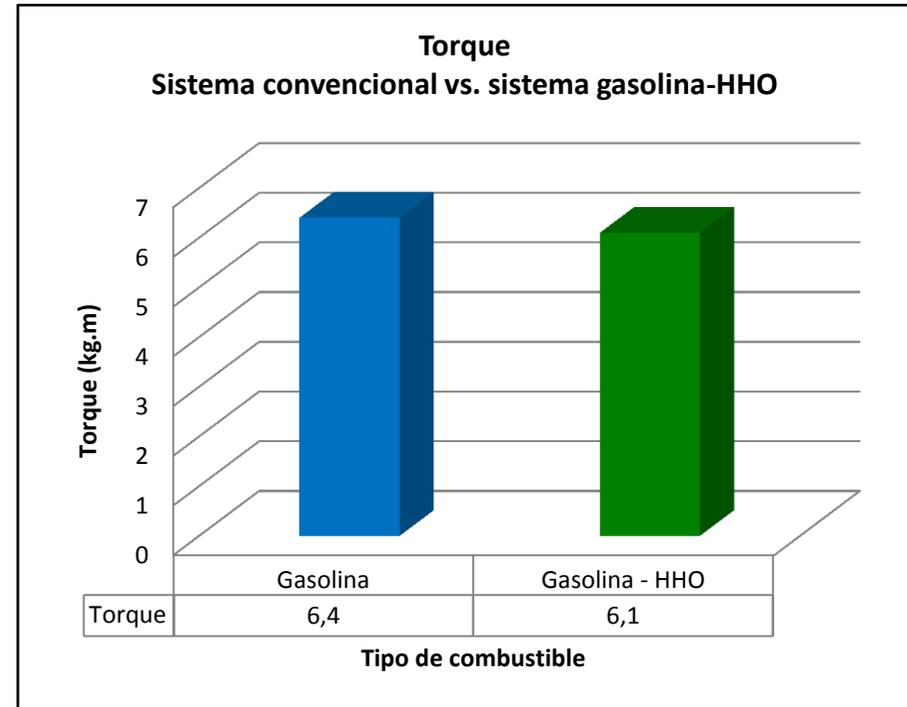
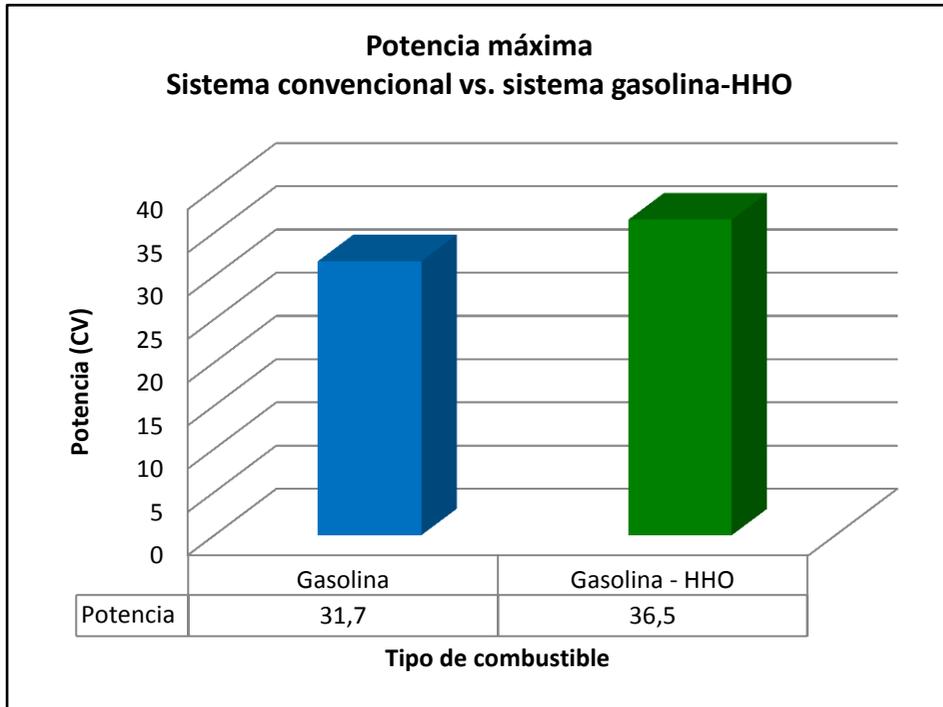
POTENCIA Y TORQUE



| PARÁMETRO | SISTEMA | VALOR | VARIACIÓN |
|-----------------------------|-----------------------|-------|-----------|
| Potencia máxima (CV) | Convencional gasolina | 31,7 | 15,14% ↑ |
| | Gasolina - HHO | 36,5 | |
| Torque máximo (Kgm) | Convencional gasolina | 6,4 | 4,91% ↓ |
| | Gasolina - HHO | 6,1 | |

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

POTENCIA Y TORQUE



PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONSUMO DE COMBUSTIBLE

| SISTEMA | PRUEBA | GASOLINA CONSUMIDA (l) | DIST. RECORRIDA (km) | CONSUMO (l/km) | VALOR PROM. | VARIAC |
|-------------------|--------|---------------------------|----------------------------|-------------------|----------------|--------|
| Gasolina | 1 | 3,30 | 35 | 0,094 | 0,093 | 7,53% |
| | 2 | 3,40 | 35 | 0,097 | | |
| | 3 | 3,10 | 35 | 0,088 | | |
| Gasolina - HHO | 1 | 2,90 | 35 | 0,083 | 0,086 | |
| | 2 | 3,10 | 35 | 0,088 | | |
| | 3 | 3,00 | 35 | 0,086 | | |

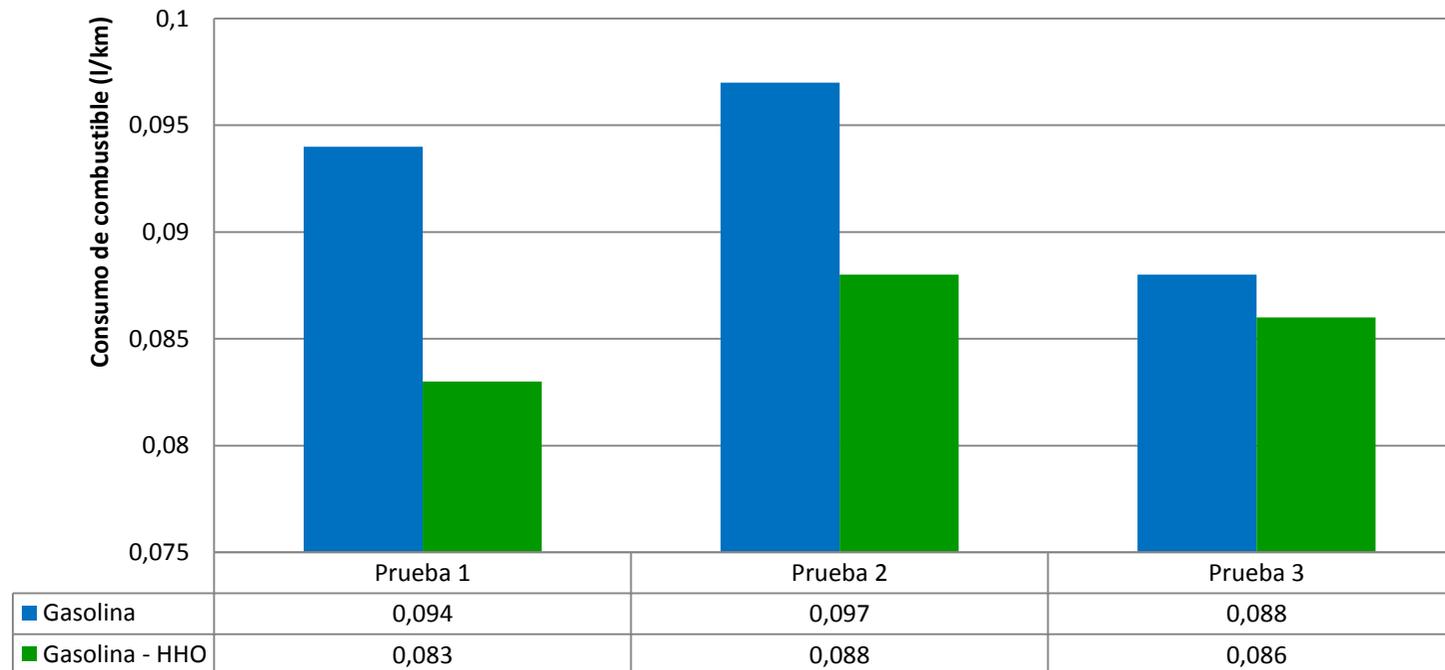
AUTONOMÍA

| SISTEMA | PROM. CONSUMO DE COMBUSTIBLE (l/km) | RECORRIDO (km) | AUTONOMÍA (l) |
|-----------------------|--|----------------|------------------|
| Convencional gasolina | 0,093 | 35 | 3.255 |
| Gasolina - HHO | 0,086 | 35 | 3.01 |

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Consumo de combustible
Sistema convencional vs. sistema gasolina -HHO



PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

AUTONOMÍA

| SISTEMA | PROM. CONSUMO DE COMBUSTIBLE (l/km) | RECORRIDO (km) | AUTONOMÍA (l) |
|-----------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| Convencional gasolina | 0,093 | 35 | 3.255 |
| Gasolina - HHO | 0,086 | 35 | 3.01 |

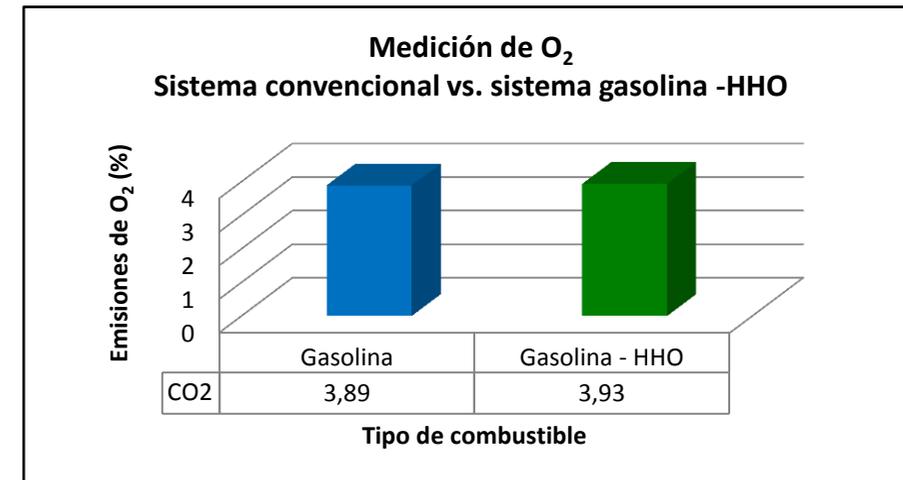
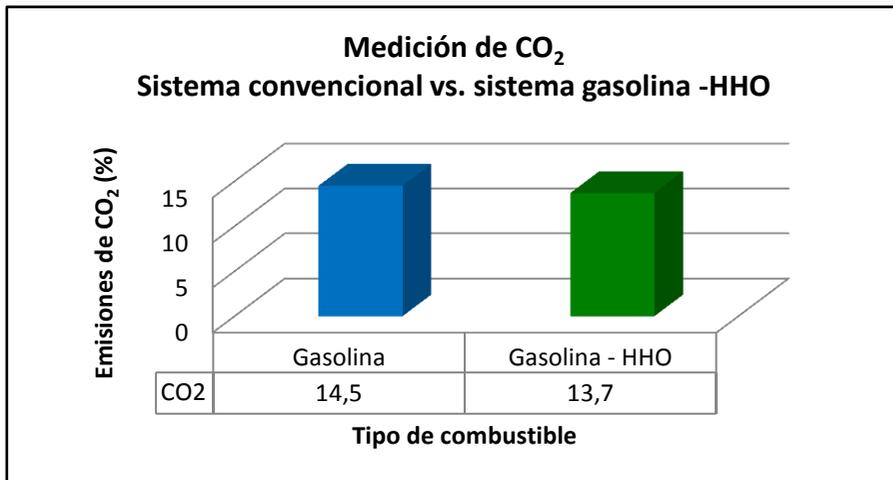
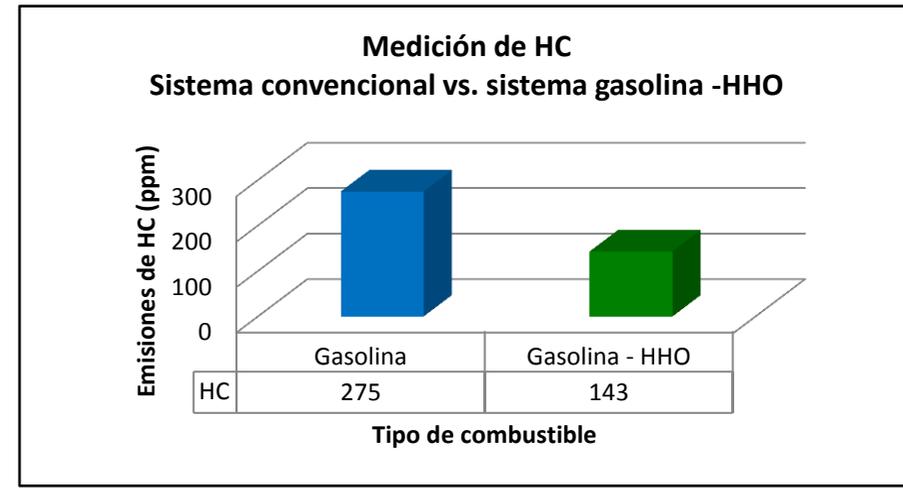
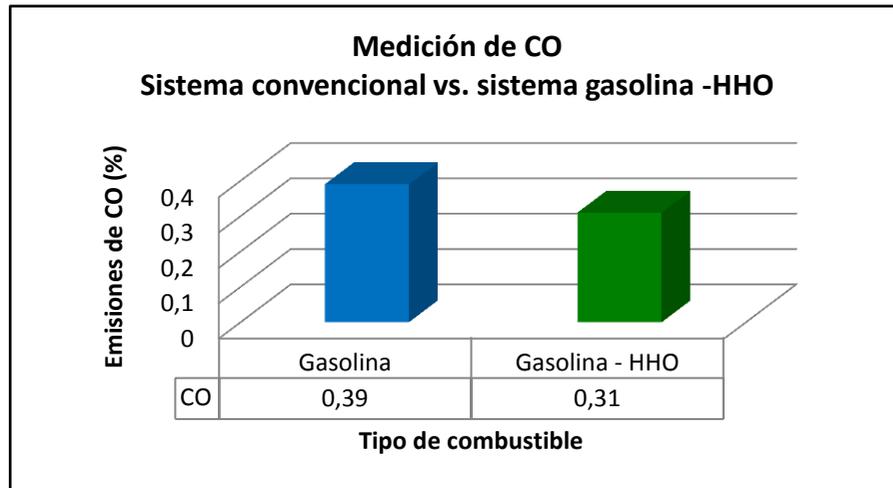
PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

GASES CONTAMINANTES

| GAS | SISTEMA CONVENCIONAL GASOLINA | SISTEMA DUAL GASOLINA - HHO | PORCENTAJE DE VARIACIÓN |
|---------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| CO (%) | 0,39 | 0,31 | 20,51% ↓ |
| HC (ppm) | 275 | 143 | 48,00% ↓ |
| CO ₂ (%) | 14,5 | 13,7 | 5,52% ↓ |
| O ₂ (%) | 3,89 | 3,93 | 1,02% ↑ |
| Lambda | 1,154 | 1,175 | 1,79% ↑ |

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

GASES CONTAMINANTES



CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un generador de gas HHO para el vehículo monoplaza tipo Buggy con una capacidad de generación de .
- Se utilizó un material altamente resistente a la corrosión como es el acero inoxidable 316L.
- Se comprobó que con el electrolito hidróxido de potasio (KOH) se puede aumentar o disminuir el amperaje del generador del gas HHO y así se puede generar mayor o menor cantidad de gas HHO.
- Se obtuvo un mejor resultado con la distribución expuesta en el proyecto de las placas positivas, negativas y neutras.
- Se instaló el sistema dual (HHO/gasolina) en el vehículo monoplaza tipo Buggy.
- La proporción de la mezcla agua-electrolito es de 20 gr de hidróxido de potasio (KOH) por cada litro de agua destilada.
- Se realizó y analizó las pruebas de emisión de gases, potencia-torque y consumo de combustible con el sistema HHO y sin el sistema.

CONCLUSIONES

- La potencia máxima aumentó en un porcentaje de 15,14% con el sistema de alimentación implementado, mientras que el torque máximo tuvo una reducción de 4,91%.
- Al realizar la prueba de consumo de combustible, el sistema dual gasolina HHO permitió obtener un ahorro de combustible de 7,53%.
- Con el sistema de alimentación dual implementado en el vehículo existe un ahorro de combustible de 0,245 litros por cada 35 kilómetros de recorrido.
- El sistema de generación de gas HHO produce un carburante que resulta ser amigable con el medio ambiente ya que reduce considerablemente las emisiones de gases contaminante producto de la combustión. Las emisiones de CO presentaron una disminución de 20,51%, los hidrocarburos no combustionados disminuyeron en un 48%, las emisiones de CO₂ se redujeron en un 5,52% y un mínimo aumento de 1,02% de O₂.
- Todas las pruebas realizadas (potencia, torque, consumo de combustible y emisión de gases) fueron realizadas con gasolina de 87 octanos (tipo extra).

RECOMENDACIONES

- Usar guantes quirúrgicos en el momento de manipular las `placas de acero inoxidable para evitar que las huellas dactilares queden impregnadas y el generador no trabaje adecuadamente.
- Utilizar siempre agua destilada en el generador de gas HHO, el agua potable no es recomendable debido a que posee minerales y estos dañan las placas internamente y acorta la vida útil del generador.
- Evitar que el generador permanezca encendido en el momento que el vehículo se encuentra apagado.
- En el momento de realizar las pruebas con el dinamómetro mantener las medidas de seguridad al máximo ya que este se encuentra en movimiento y puede causar daños severos con nuestra integridad.
- Realizar periódicamente el mantenimiento del generador de gas HHO. Evitar que el depósito no se encuentre a un nivel menor a $\frac{1}{4}$ de agua-electrolito debido a que el burbujeador dejaría de trabajar como elemento de seguridad.
- Continuar con la investigación dentro de este campo, ya que no existe la suficiente información técnica y académica en lo que respecta al tema de los combustibles alternativos, en especial del uso del hidrógeno como combustible.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN