

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DE UN GENERADOR DE HIDROGENO PARA MEJORAR EL  
RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA DE 1468 cc  
- PROMAE VES - LIMA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**ACOSTA MIRES SEGUNDO FELIZANDRO**

**Villa El Salvador**

**2019**

## **Dedicatoria**

A mi alma máter, UNTELS.

A mis maestros por sembrar en mí la sabiduría.

A mis hijas Diana, Lilia e Isabel, por su comprensión.

A mi Madre y esposa, por su apoyo incondicional

A mis compañeros por inspirar en mí el crecimiento profesional

## **Agradecimiento**

Quiero dedicar este trabajo a mi familia, que siempre me ha apoyado para continuar mis estudios universitarios. En especial dedico este trabajo a mi esposa Isela, que ha sido un pilar fundamental durante todos estos años en el trabajo que he estado desarrollando.

Quiero agradecer el gran apoyo recibido por parte de mi asesor, Mcc. Ing. Carlos Vidal Dávila Ignacio, por tener paciencia y tiempo para orientarme magníficamente en el desarrollo de este proyecto.

Y gracias en general a todos los que de una u otra forma habéis compartido conmigo todos estos años de estudio.

## Índice

Dedicatoria.....	iii
agradecimiento .....	iv
Índice .....	v
Listado de figuras.....	vii
Listado de tablas.....	ix
Introducción .....	x
Capítulo I: Planteamiento del problema.....	11
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	11
1.2. Justificación del problema.....	12
1.3. Delimitación del Proyecto .....	13
1.3.1. Teórica.....	13
1.3.2. Temporal.....	13
1.3.3. Espacial .....	13
1.4. Problema general.....	13
1.4.1. Problemas específicos.....	13
1.5. Objetivos del Trabajo de Suficiencia Profesional.....	14
1.5.1. Objetivo general.....	14
1.5.2. Objetivo específicos.....	14
Capítulo II: Marco teórico.....	20
2.1. Antecedentes.....	20
2.2. Bases teóricas .....	23
2.2.1. Diseño de un generador de hidrogeno.....	23
2.2.2. Generación teórica de gas.....	24
2.2.3. Tipos de celdas de hidrogeno .....	26
2.2.4 Diseño de las celdas HHO .....	28

2.2.5 Hidrogeno .....	31
2.2.6 Normas de producción almacenaje, transporte, medida y uso del hidrógeno....	37
2.3. Rendimiento de un motor de combustión interna.....	39
2.3.1. Estructura de un motor de combustión interna .....	40
2.3.2 Funcionamiento del Motor de combustión interna .....	45
2.3.3. Contenido en energía .....	48
2.3.4. Relación de aire /gasolina.....	49
2.4 Definición de términos básicos .....	54
Capítulo III: Desarrollo del trabajo de suficiencia profesional .....	55
3.1.- Diseño del sistema de generador de Hidrogeno.....	55
3.1.1. Hallando la densidad del hidrogeno.....	65
3.1.2. Volumen específico del hidrogeno .....	66
3.1.3. Hallando el área del electrodo .....	67
3.1.4. Consumo de hho.....	69
3.2.-Resultados.....	74
Conclusiones .....	81
Recomendaciones .....	82
Bibliografía.....	83
Anexos.....	85

## Listado de figuras

Figura 1. Diagrama de funcionamiento actual del motor Mitsubishi código 4G15	15
Figura 2. Diagrama de funcionamiento con relación a la presión y al volumen ....	16
Figura 3. Diagrama de funcionamiento actual del motor Mitsubishi código 4G15 con el sistema propuesto gasolina en 80% y 20% de hidrogeno .....	17
Figura 4. Diagrama de funcionamiento con relación a la presión y al volumen ....	18
Figura 5. (Oliveros Fortich, y otros, 2012, p.1053) .....	26
Figura 6. Celda de tipo seca, Fuentes: Fuertes, 2012, citado por: (Paredes Acurio, 2016, p.44).....	27
Figura 7. Diferencia de volúmenes en estado sólido (Gamez F, P. 41).....	37
Figura 8. Origen del hidrogeno producido en la actualidad, (Linares, Moratilla, 2006, pág. 30).....	37
Figura 9. Partes del motor gasolinero (Benavides) .....	40
Figura 10. Monoblock .....	41
Figura 11. Culata.....	41
Figura 12. Bomba de aceite .....	42
Figura 13. Cigüeñal .....	42
Figura 14. Engranaje de sincronización .....	43
Figura 15. Cilindros .....	43
Figura 16. Múltiple de admisión.....	44
Figura 17. Múltiple de escape .....	44
Figura 18. Filtro de aceite.....	44
Figura 19. Diagrama de trabajo de un motor Otto de cuatro tiempos. (GTZ, pág. 2012).....	46
Figura 20. Diagrama de manado de un motor Otto de cuatro tiempos. (GTZ, p. 2012).....	47
Figura 21. Manual Mitsubishi.....	52
Figura 22. Generador de hidrogeno .....	65
Figura 23. Esquema electrico.....	71
Figura 24. Elementos del generador de hidrogeno.....	73
Figura 25. Generador de hidrogeno .....	74
Figura 26. Instalación en el vehículo .....	76

Figura 27. Pruebas realizadas con el vehículo funcionando con gasolina e hidrogeno.....	76
Figura 28. Aceite marca Willians .....	77
Figura 29. Comparación de costos de ahorro de combustible.....	78
Figura 30. Diferencia de consumo.....	79
Figura 31. Cambio del aceite y filtro .....	80
Figura 32. Cambio de aceite y filtro en KM.....	80

## Listado de tablas

Tabla 1. Densidad de los combustibles.....	33
Tabla 2. Punto de inflamación de los combustibles.....	33
Tabla 3. Propiedades del hidrogeno.....	34
Tabla 4. Emisiones de CO2 de acuerdo al combustible.....	35
Tabla 5. Numero de octanaje de acuerdo al combustible.....	36
Tabla 6. Comité Técnico ISO TC 197.....	39
Tabla 7. Datos característicos de los combustibles líquidos.....	48
Tabla 8. Características del motor a emplear.....	51
Tabla 9. Temperatura.....	52
Tabla 10. Lubricantes y capacidades.....	53

## Introducción

Fabricar un dispositivo generador de hidrógeno que envíe al sistema de admisión del motor gasolinero un eficiente aditivo gaseoso que convierte un motor de combustión estándar en un híbrido de hidrógeno. El principio de funcionamiento consiste en producir un flujo continuo de hidrógeno, obtenido mediante electrolisis extrayéndolo de un depósito de agua y hacerlo ingresar al motor gasolinero. Entre sus beneficios se encuentran los siguientes:

- Reducción de consumo de combustible (10%-50%) e incremento de la autonomía

- Reducción de emisiones de gases contaminantes (80%-95%)

- Incremento de potencia y par motor

- Mayor duración del aceite del motor

- Aumento de la vida y durabilidad del motor (limpia la carbonilla y residuos)

Válido para todo tipo de motores de combustión interna: pero para nuestro experimento trabajaremos con un motor gasolinero de 1468 cc

## **Capítulo I.**

### **Planteamiento del problema**

#### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

En el transcurso de los años la Humanidad ha descubierto la energía proveniente de diferentes fuentes, en la busca de poder satisfacer sus necesidades, es así como el desarrollo de los pueblos ha estado directamente relacionada con su capacidad de disponer de recursos energéticos.

La principal fuente de energía actual, el petróleo y sus derivados, tienden a acabarse. Para muchos especialistas en producción de hidrocarburos, el petróleo dejará de existir en aproximadamente 53 años lo cual significa que para el año 2072 no habrá producción y sólo las reservas que algunos tengan serán sumamente valiosas o totalmente obsoletas y entonces se tendría que estar completamente preparados e inmersos en las fuentes de energía renovables.

Los contaminantes generados en la combustión de los hidrocarburos son responsables de numerosas enfermedades pulmonares, infartos, etc. Estos contaminantes no sólo afectan directamente al ser humano, sino también al medio ambiente, empezando a notar sus efectos en el clima global con los Huracanes, sequías, Huaycos, inundaciones a este fenómeno se llama el efecto invernadero.

Además, nos encontramos con el problema actual que el precio de la gasolina se ha incrementado considerablemente y no se mantiene estable.

Por todo ello en el Perú el transporte es movido por la gasolina, petróleo y gas, tenemos un parque automotor muy extenso desde motos autos, camionetas, camiones, que son los que mueven la economía, el comercio y la industria. Todos estos vehículos utilizan motores de combustión interna lo que nos hace muy conveniente instalar un generador de Hidrogeno para utilizar como aditivo en cualquier vehículo sea a gasolina, petróleo o a gas. El principio de funcionamiento consiste en hacer ingresar el hidrogeno por el carburador de un motor gasolinero; el hidrogeno es obtenido mediante electrolisis extrayéndolo de un depósito de agua, es proceso sumamente sencillo.

En motores diésel se tiene que inyectar dentro del cilindro ya que su temperatura en el momento de compresión es mucho mayor que el gasolinero por lo tanto se necesitaría un deposito con una cierta presión para poder inyectar hidrogeno dentro de la cámara de combustión del motor mediante un flujo continuo de hidrógeno por eso el costo es más elevado ya que tendríamos que tener un tanque de hidrogeno.

## **1.2. Justificación del problema**

En vista a la dependencia de los combustibles como: la Gasolina y Petróleo que son recursos que tienen la tendencia de agotarse, es necesario buscar nuevas alternativas que sirvan como combustibles sustitutos en el tiempo, para lo cual quiero desarrollar un prototipo de generador de hidrogeno que sirva como aditivo al combustible para un motor a gasolina, de esa forma podemos reducir el consumo de combustible derivado del petróleo, adicionalmente se pretende reducir las emisiones de gases contaminantes como el monóxido de carbono y prolongar el cambio de aceite. Para lo cual se realizará el presente trabajo y las pruebas a desarrollare en el Centro de Formación Técnica PROMAE VES.

### **1.3. Delimitación del Proyecto**

#### **1.3.1. Teórica**

Este proyecto se enmarca en el área de mecánica automotriz, específicamente en el sistema de alimentación de combustible de los motores de combustión interna a gasolina por donde ingresara la combustible gasolina conjuntamente con el hidrogeno y el aire, aplicando conceptos para el cálculo y diseño de funcionamiento

Falta de libros que hablen sobre este tema

#### **1.3.2. Temporal**

El desarrollo del presente proyecto está comprendido en el departamento de Lima, villa el salvador av. bolívar

#### **1.3.3. Espacial**

El periodo que comprende el estudio, fue llevado a cabo durante los meses comprendidos entre febrero y marzo del 2019

### **1.4. Problema general**

¿Cómo será el diseño de un generador de hidrogeno para mejorar el rendimiento de un motor de combustión interna de 1468 cc - PROMAE VES – LIMA?

#### **1.4.1. Problemas específicos**

¿Cómo será el diseño de un generador de hidrogeno para reducir el consumo de combustible de un motor de combustión interna de 1468 cc - PROMAE VES - LIMA”?

¿Cómo será el diseño de un generador de hidrogeno para reducir las emisiones de gases contaminantes de un motor de combustión interna de 1468 cc - PROMAE VES - LIMA”?

¿Cómo será el diseño de un generador de hidrogeno para prolongar la vida útil del aceite de un motor de combustión interna de 1468 cc - PROMAE VES - LIMA”?

## **1.5. Objetivos del Trabajo de Suficiencia Profesional**

### **1.5.1. Objetivo general**

Diseñar un generador de hidrogeno para mejorar el rendimiento de un motor de combustión interna de 1468 cc - PROMAE VES - LIMA

### **1.5.2. Objetivo específicos**

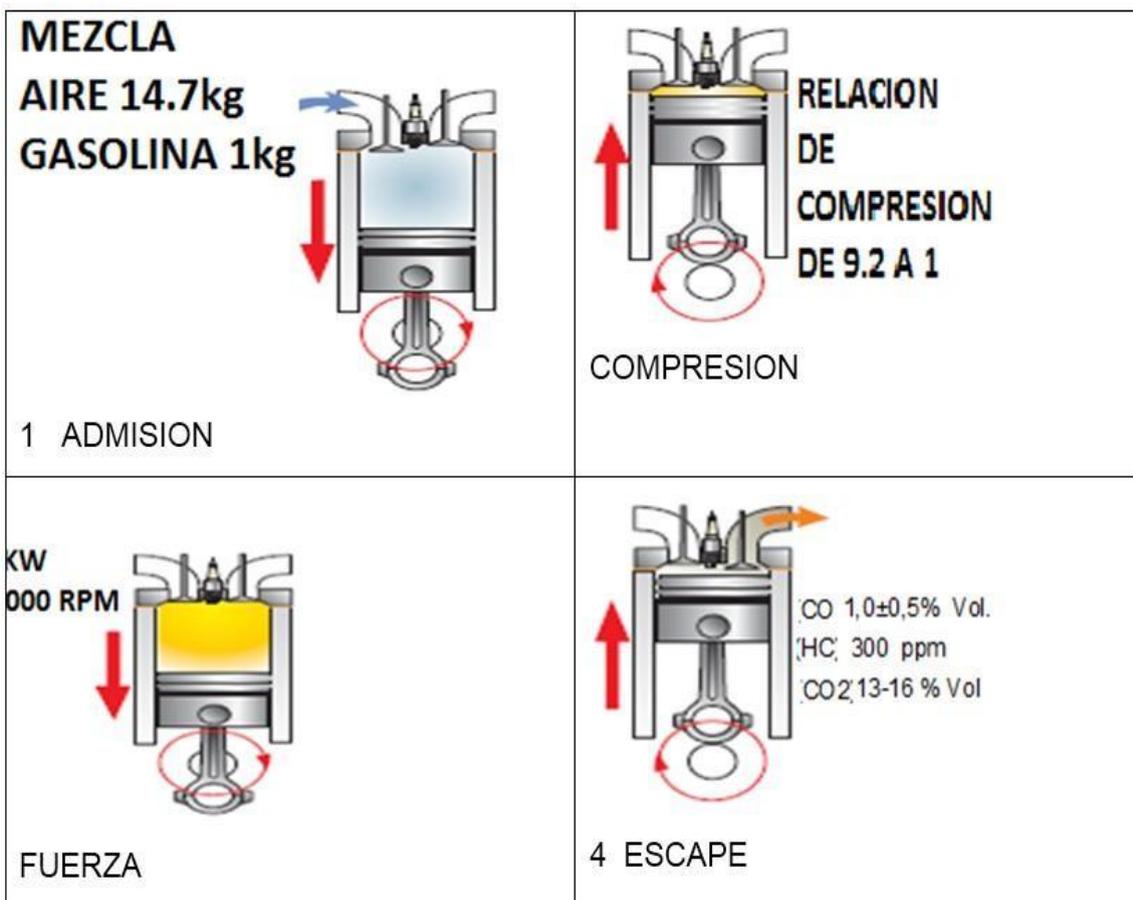
Evaluar como un generador de hidrogeno reduce el consumo de combustible de un motor de combustión interna de 1468 cc - PROMAE VES - LIMA

Analizar como un generador de hidrogeno reduce las emisiones de gases contaminantes de un motor de combustión interna de 1468 cc - PROMAE VES – LIMA

Comparar como un generador de hidrogeno prolonga la vida útil del aceite de un motor de combustión interna de 1468 cc - PROMAE VES – LIMA

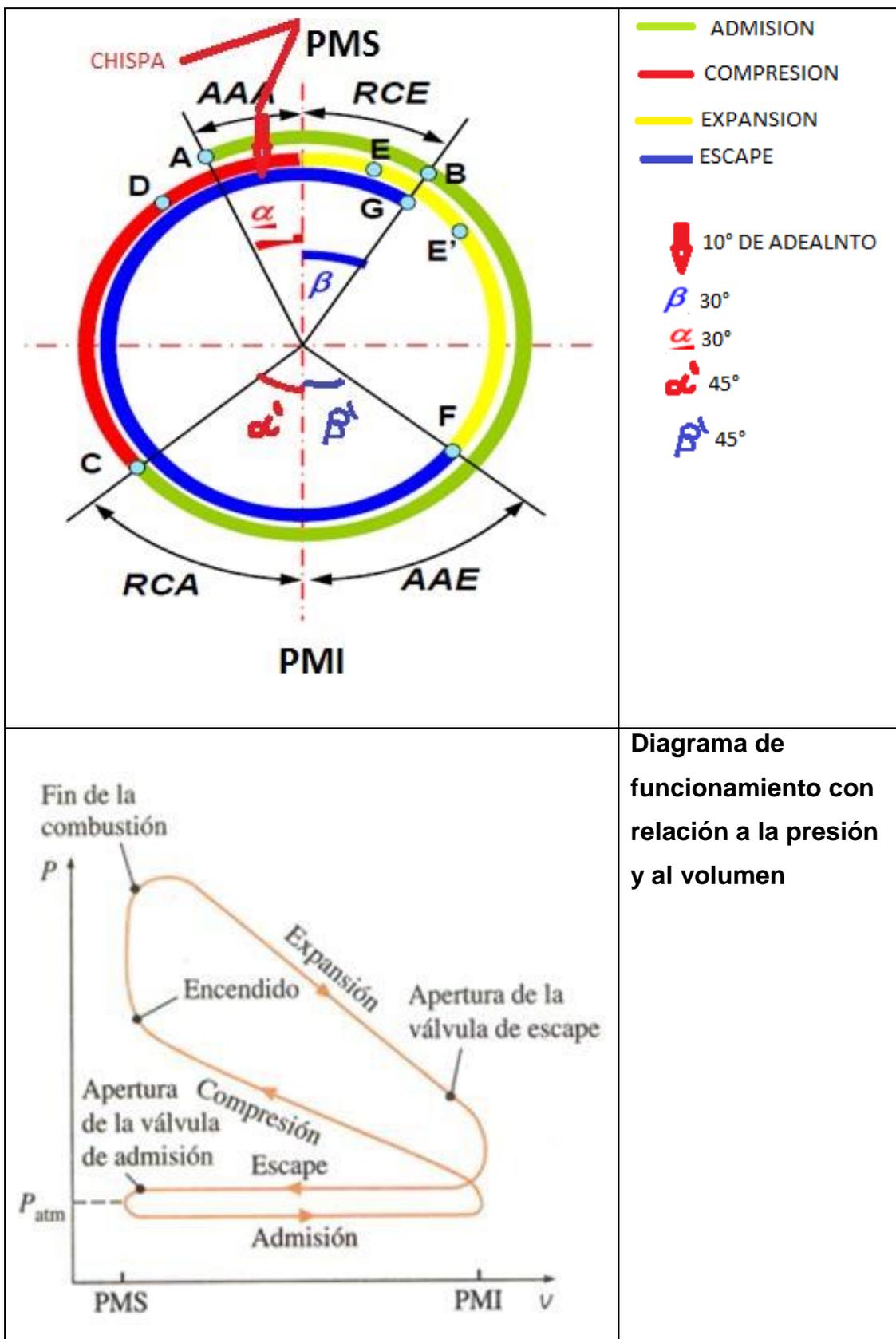
## **Diagrama de funcionamiento actual del motor Mitsubishi código 4G15**

**Cuatro tiempos del motor Mitsubishi código 4G15 – Funcionamiento a gasolina**



**Figura 1.** Diagrama de funcionamiento actual del motor Mitsubishi código 4G15

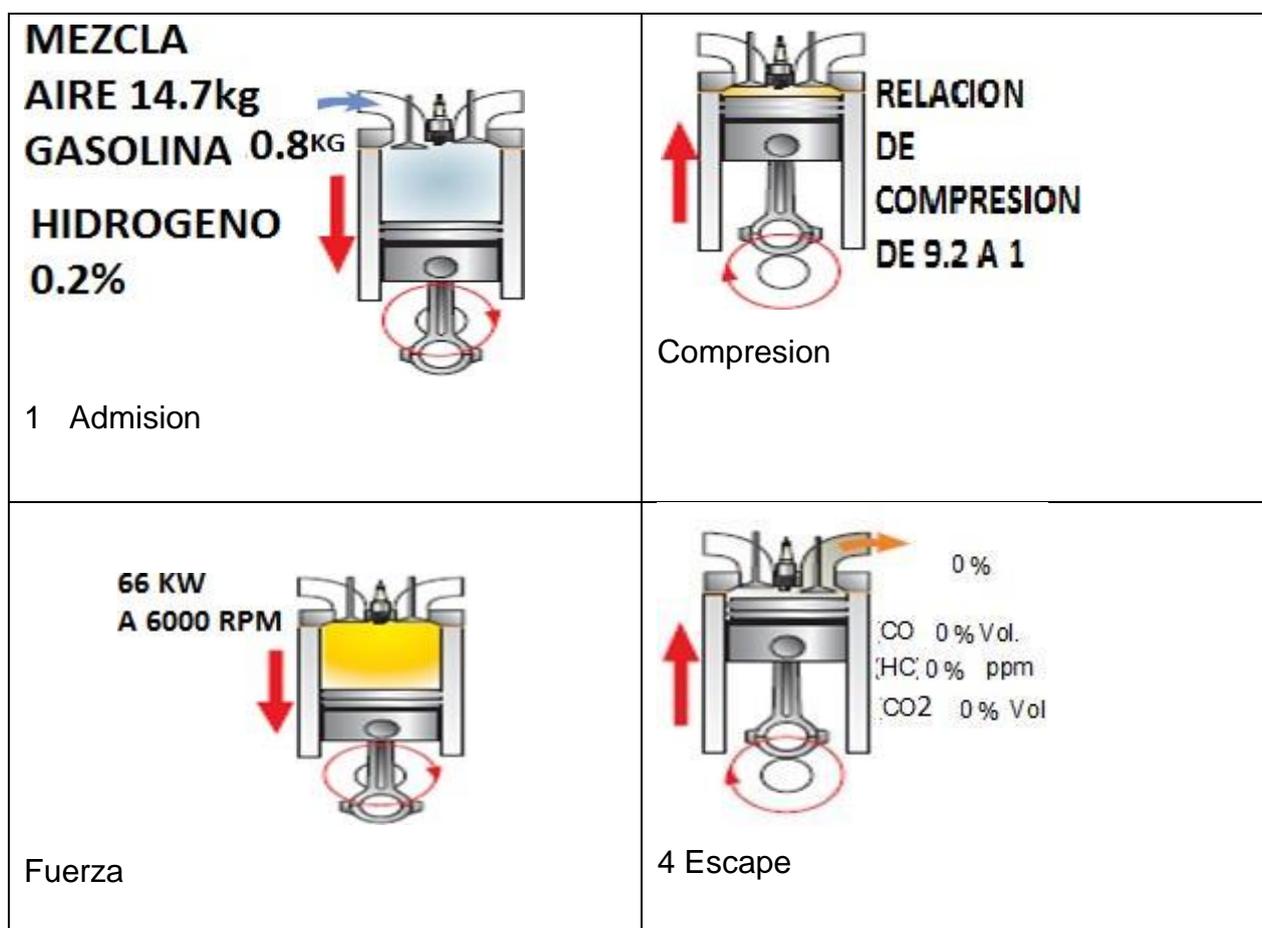
**Diagrama de la distribución,** es una representación gráfica de la apertura y cierre de las válvulas con relación al movimiento de la biela y al tiempo en grados de duración de cada tiempo



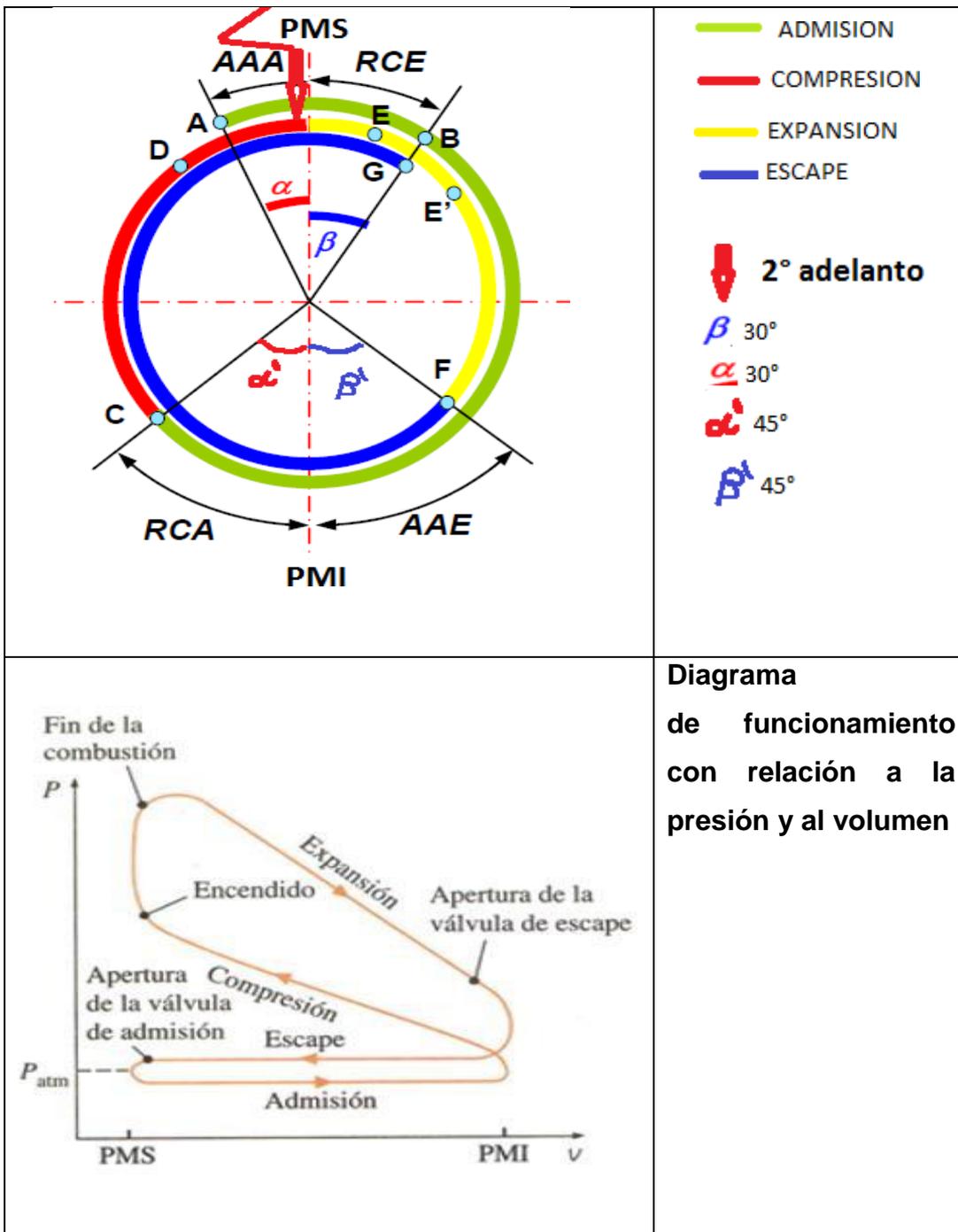
**Figura 2.** Diagrama de funcionamiento con relación a la presión y al volumen

**Diagrama de funcionamiento actual del motor Mitsubishi código 4G15 con el sistema propuesto gasolina en 80% y 20% de hidrogeno**

**Cuatro tiempos del motor Mitsubishi código 4G15 –funcionando a gasolina e hidrogeno**



**Figura 3.** Diagrama de funcionamiento actual del motor Mitsubishi código 4G15 con el sistema propuesto gasolina en 80% y 20% de hidrogeno



**Figura 4.** Diagrama de funcionamiento con relación a la presión y al volumen

**Modelo de un camión e identificar el costo de implementación**

Este proyecto se enmarca en un motor gasolero que funciona con gasolina 95 o 97 octanos que también puede funcionar con gas GLP o GNV.

Mientras los camiones vienen con motor diésel y se tiene que inyectar dentro del cilindro el hidrogeno ya que su temperatura en el momento de compresión es mucho mayor que la gasolina

Por lo tanto, se necesitaría un deposito con una cierta presión para poder inyectar hidrogeno dentro de la cámara de combustión del motor mediante un flujo continuo de hidrógeno por eso el costo es más elevado ya que tendríamos que tener un tanque de hidrogeno y otra manera de generarlo

## Capítulo II.

### Marco teórico

#### 2.1. Antecedentes

El presente proyecto tiene como antecedentes las siguientes investigaciones, las cuales guardan relación con este proyecto.

Familiar, C. ( 2011) en su investigación estudio: *Inyección de hidrógeno como potencial mejora de los motores actuales*. Tesis de Grado Ingeniería Técnica Naval. España. La Universidad Politécnica de Catalunya. Facultad de Náutica de Barcelona: en sus conclusiones manifiesta:

El hidrogeno mediante procesos como la electrólisis es relativamente fácil su generación, obteniéndose de manera muy limpia. Esto coloca al hidrógeno en un sitio privilegiado a las tecnologías presentes y las futuras. Dependiendo del porcentaje se consiguen importantes reducciones de las emisiones, sobre todo de los humos, hidrocarburos, monóxido y dióxido de carbono. A cantidades del 65 al 85% de hidrógeno se producen los mejores resultados,

Opción más modesta que funcionará mediante la introducción de pequeñas cantidades de hidrógeno (5%-15%) para reducir las emisiones, produciendo un ligero, o a veces nulo, aumento de rendimiento térmico, pero obteniendo resultados medioambientales muy positivos, excepto en las emisiones de óxidos de nitrógeno.

La otra desventaja importante, tal como se ha mencionado anteriormente, de la introducción de hidrógeno en el motor diésel son las emisiones de NOx. Éstas suelen aumentar de manera importante con porcentajes del 15% hasta el 65% de hidrógeno. Estas emisiones, sin embargo, se pueden reducir mediante diferentes técnicas. Los métodos considerados adecuados para la reducción de este tipo de contaminantes son principalmente cuatro: la introducción de terceras sustancias como dietiléter, el reajuste de los componentes electrónicos de inyección de carburante al motor, la recirculación de los gases de escape y la reducción catalítica selectiva, este último considerado uno con los resultados más positivos. Finalmente se puede considerar, aún y sus ventajas, al sistema dual hidrógeno/diésel un sistema que no es capaz de ofrecer de modo inmediato los resultados suficientes como para valorar la inversión en una instalación de este tipo. El sistema se presenta recomendable de cara a un futuro próximo.

Sainz, D. (2014) en su investigación estudio: *Adaptación de un motor de combustión interna alternativo de gasolina para su funcionamiento con hidrógeno como combustible. Aplicaciones energéticas y de automoción*. Tesis Doctoral. España. Universidad Pública de Navarra. Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales; en sus conclusiones manifiesta:

El prototipo de H2ICE, celda de motores dual (hidrógeno/gasolina) fue desarrollado en base a un vehículo VW Polo 1.4, permitirá funcionar con hidrógeno en recorridos urbanos, reduciendo así la contaminación. Para rutas interurbanas y mayores distancias se podría hacer uso de la gasolina gracias a su mayor potencia y autonomía. Se ha constatado que la conversión de motores de encendido provocado para su funcionamiento con hidrógeno es factible, y relativamente sencilla y barata. La tecnología de almacenamiento avanza hacia los hidruros metálicos sólido,

El prototipo de vehículo dual (hidrógeno/gasolina) fue en su momento y sigue siendo el vehículo de hidrógeno de mayor potencia en España, y fue citado en un artículo de Sebastian Verhelst, una de las mayores autoridades en el empleo de hidrógeno en motores de combustión.

Montagne, R. (2016) *Diseño de un generador de hidrogeno como combustible para los motores de combustión de ciclo otto en la región puno -2015*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero. Puno-Perú. Universidad Nacional del Altiplano. Escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica; en sus conclusiones manifiesta:

**Primero:** El hidrogeno por sus propiedades y por su abundancia, constituye una excelente alternativa energética para el futuro, por lo que la tesis está enfocado a potenciar y concientizar el uso de energías renovables

**Segundo:** Los beneficios del hidrogeno queda claro y demostrado por sus propiedades físicas y químicas, en relación a los motores de ciclo Otto, este tiene que ser adaptado por su capacidad de liberación de energía en la combustión, por lo que puede dañar al pistón o cámara de combustión.

**Tercero:** El desarrollo de la relación aire combustible del hidrogeno, de 34:1 puede ser adaptado para cualquier cámara de combustión de ciclo Otto con una modificación de la cámara de combustión en cuanto a su PMI y PMS, y por su capacidad de energía liberada en la combustión la cual mucho mayor que el de la gasolina.

**Cuarto:** En la combustión del hidrogeno con el aire, solo se obtendrá agua y en muy poca cantidad NO y NO<sub>2</sub>, dado a su combustión del hidrogeno y aire en la cámara.

Paredes, D. (2016) en su investigación estudio: *Diseño, construcción y pruebas de una celda de hidrógeno para el vehículo Honda Civic 1977, como alternativa de energía renovable*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero. Ecuador. Universidad Internacional del Ecuador. Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz. En sus conclusiones manifiesta:

Se ha podido investigar basta información sobre temas relacionados a la generación de hidrógeno mediante electrólisis evidenciando así el interés mundial por la producción de combustibles alternativos y su aplicación a los vehículos.

- El diseño del sistema generador de hidrógeno se basó en procesos electrolíticos apoyado en las leyes de Faraday, utilizando materiales

disponibles en el mercado local y en el espacio disponible en el vehículo de pruebas. El electrolito que se ha utilizado es una solución acuosa de hidróxido de potasio la cual es extremadamente económica y de fácil acceso

- La construcción del sistema objeto de esta investigación ha utilizado materiales previamente maquinados como por ejemplo las placas acrílicas y las placas electrolíticas que han sido perforadas y cortadas en un taller especializado para facilitar el montaje.
- Gracias al apoyo de la Facultad de Mecánica Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador se ha podido efectuar comprobaciones completas tanto estáticas como dinámicas utilizando equipos de última tecnología apropiados justamente para investigaciones como esta. Se pudo obtener resultados alentadores ya que la reducción de los gases contaminantes es considerable especialmente en ralentí además el incremento de potencia es 4,6 CV.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Diseño de un generador de hidrogeno**

El proceso de electrolisis es el más conocido para la producción de hidrogeno, este experimento es fácil de hacer y económicamente es muy rentable a la hora de instalarlo en un vehículo de combustión.

La descomposición por electrólisis es la base de un gran número de procesos de extracción y fabricación muy importantes en la industria moderna y los cuales constituyen la principal solución frente al preocupante fenómeno del calentamiento global

Yavorski (Como se citó en Paredes, 2016) El proceso de electrólisis se fundamenta básicamente en las leyes de Faraday para la electrólisis, así se tiene tanto la primera como segunda ley que hacen referencia a que la cantidad de sustancia alterada en un electrodo depende directamente de la corriente eléctrica en Coulombios suministrada, además que la masa depositada en un electrodo es proporcional a su peso molecular o equivalente químico

Así se tiene las siguientes estimaciones:

$$Q=I \times t$$

Dónde:

Q = Energía necesaria [coulombs]

I = Intensidad de corriente suministrada [Amperios]

t = tiempo determinado [segundos]

Es importante indicar que un Coulomb es igual a 1 [A].[seg

### 2.2.2. Generación teórica de gas

Rojo (Como se citó en Paredes, 2016) Una vez determinada la energía disponible para el sistema, se procede a calcular el número de moles de gas hidrógeno que se podrá obtener, así se tiene que revisar en primer lugar el concepto de equivalente químico gramo del hidrógeno (H<sub>2</sub>) y las reacciones redox del agua.

Se inicia efectuando la disociación de la solución en donde el hidróxido de sodio se disocia al igual que el agua



Tomando como punto de partida la disociación del agua porque el interés es conocer cuánto hidrógeno se genera se analiza lo que ocurre en el cátodo y ánodo.

En el cátodo se produce reducción:  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$

En el ánodo se produce oxidación:  $2\text{OH}^- = \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

Recurriendo a la segunda Ley de Faraday:

$$n^{\circ} \text{eqq} = Q \times$$

$n^{\circ} \text{eqq}$  = Número de equivalentes químicos de sustancia depositados en un electrodo

Donde:

Q = Energía necesaria [coulombs]

$F =$  Constante de Faraday [96500 C/eqq]

Una vez que se tiene la cantidad de equivalentes químicos se debe transformar a masa:

$$eqq = PM/V$$

Donde:

$eqq =$  Cantidad en gramos de una sustancia de un equivalente químico

$PM =$  Peso molecular de la sustancia

$V =$  Flujo de electrones en el proceso de reducción

$$P \times V = n \times R \times T \quad \dots\dots\dots \text{Ec. 1}$$

En donde:

$P =$  Presión en la cual se encuentra el gas, (presión barométrica)

$V =$  Volumen del gas [litros]

$n =$  Número de moles

$R =$  Constante de Avogadro [0.082 litros×atmosferas°K×mol]

$T =$  Temperatura del ambiente promedio

$$P \cdot M / R \cdot T = \beta$$

(Ramirez, 2016) De acuerdo a los diferentes elementos que estarán involucrados en el sistema tales como tanque reservorio de electrolito, celda, mangueras y demás, se dimensiona el sistema para albergar a 2 litros de electrolito aproximadamente. Este electrolito deberá tener en lo posible la misma autonomía que el tanque de combustible, en este caso un tanque de 8 galones de gasolina. El vehículo en cuestión tiene un rendimiento de 30 km/galón y dada la capacidad del tanque se estima que tendrá una autonomía de 240km aproximadamente, tomando como referencia una velocidad promedio de 80 km/h durante un viaje se podría estimar que el motor puede llegar con una tanqueada en un viaje continuo a recorrer 240 km en 3h; como el sistema de hidrógeno va a aportar aproximadamente hasta con el 50% de combustible al motor, este tiempo se duplicaría y resulta 6h. Este es el tiempo que debe durar el electrolito, aunque

no está por demás indicar que un viaje sin detenerse es prácticamente imposible, además de tener aceleraciones y variaciones dadas la geografía local y las carreteras existentes, pero es una aproximación.

### 2.2.3. Tipos de celdas de hidrogeno

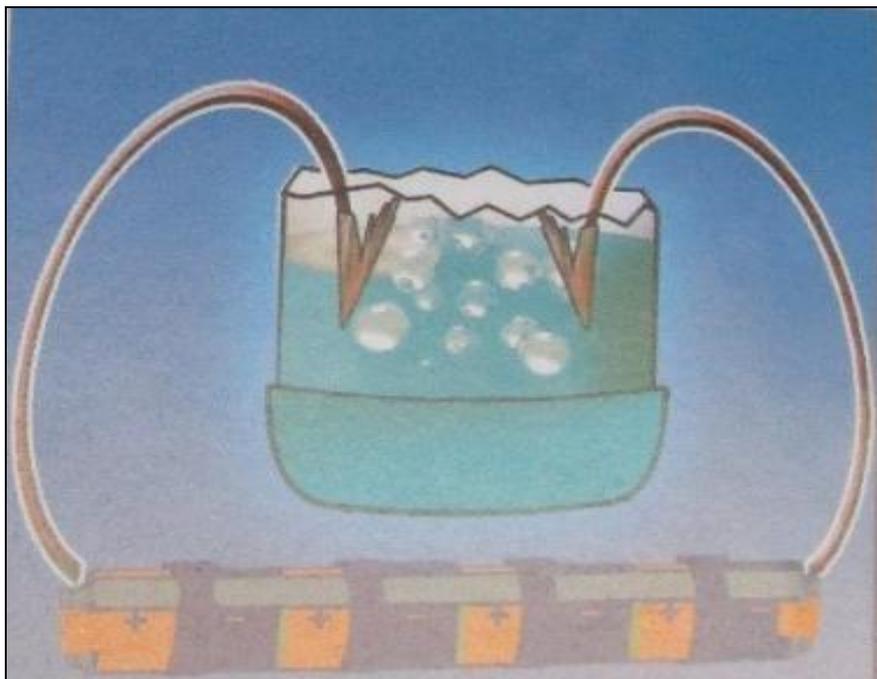
#### Experimento de hidrogeno con múltiples usos

Este experimento es muy sencillo, y se puede realizar en casa. Los materiales a utilizar son los siguientes:

#### Materiales:

- ✓ Agua destilada
- ✓ Cinta aislante
- ✓ Cable pasa corriente
- ✓ 4 pilas de 1.5 voltios
- ✓ Envase transparente cortado en la mitad
- ✓ 2 tubos de ensayo 120gr de bicarbonato de sod

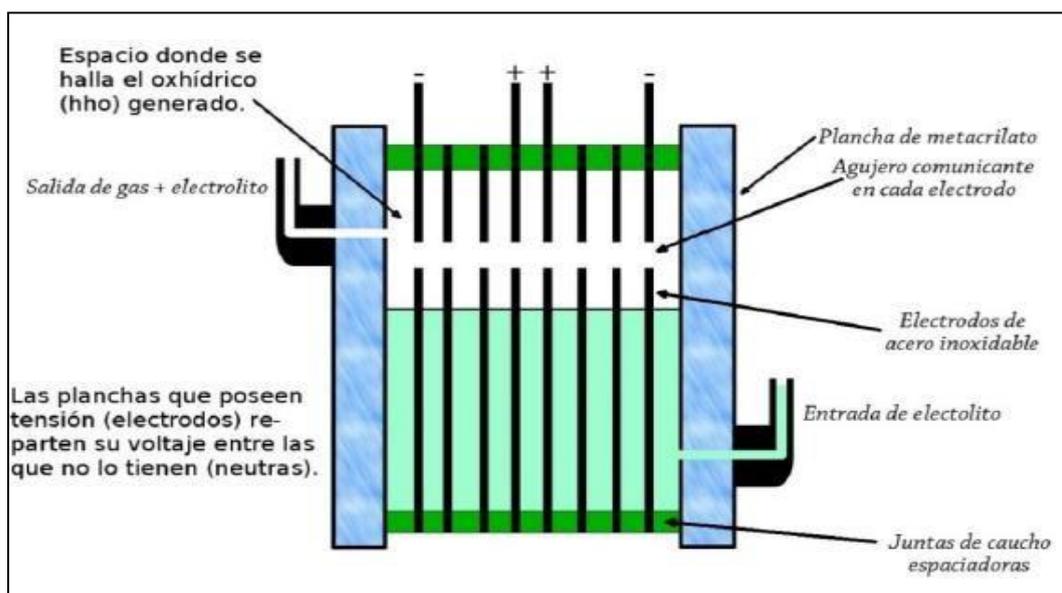
(Oliveros Fortich, y otros, 2012)p.1052



**Figura 5.** (Oliveros Fortich, y otros, 2012, p.1053)

## Celda electrolítico

Ya que al ser montado en un vehículo con motor de combustión interna el cual ya cuenta con una fuente de electricidad como es el alternador, se puede utilizar la energía eléctrica disponible para la generación de hidrógeno. Además, se define que la celda o generador va a ser del tipo seco, el cual se caracteriza por tener parte de las placas no sumergidas en el electrolito, específicamente la parte de las conexiones entre las placas negativas, sobre todo. Es importante indicar que este tipo de celda o generador permite una mayor facilidad para acceder a las conexiones eléctricas en cualquier momento y al mantener parte de las placas electrolíticas en el aire permite una mejor refrigeración del electrolito, aunque desaprovecha dichas áreas para la generación de electrólisis. (Paredes Acurio, 2016, p.44)



**Figura 6.** Celda de tipo seca, Fuentes: Fuertes, 2012, citado por: (Paredes Acurio, 2016, p.44)

## 2.2.4 Diseño de las celdas HHO

### Consumo por litro de HHO (Voltaje y amperaje)

Conocer el consumo por litro de HHO evita tener que realizar modificaciones posteriores para corregir errores de diseño que, por lo general en estos experimentos, lo primero que se hace es el de construir la celda, para luego tener que evaluarlo y corregir errores.

$$C_l = \frac{W_T}{LPH} = \frac{(V_T * A_T)}{LPH} \left[ \frac{W_h}{l} \right] \dots\dots\dots Ec. 2$$

Donde:

*C<sub>l</sub>*: Consumo por litro a la hora

*W<sub>T</sub>*: Potencia total

*V<sub>T</sub>*: Voltaje total

*A<sub>T</sub>*: Amperaje total

*LPH*: Litros por hora

### Separación entre electrodos

Esta separación dependerá de la cantidad de gas que se vaya a producir o que se necesite para cada motor de distinta capacidad, también depende del amperaje que podrá ser utilizado a través de la celda, para su mejor eficiencia con su actual contexto operacional del motor y del generador de hidrogeno.

Para un adecuado funcionamiento en una batería común de 15 a menos amperios, las placas estarán separadas de 2 a 4 mm de distancia, para una capacidad de 15 a 40 amperios, lo recomendable es separarlos de 4 a 8 mm para que los flujos de corriente tengan mejor eficiencia. Se tiene que separar los electrodos por la misma producción de gas elevado que harán burbujear y espumear el electrolito, si no se tuviera este espacio, aparecerían espacios sin líquido entre los electrodos que reducirán la eficiencia de la celda.

### Material para los electrodos

El mejor material para los electrodos por sus propiedades eléctricas es el níquel. No obstante, el níquel presenta fragilización por hidrogeno y un costo elevado de adquisición, por lo que se recomienda usar en su lugar el acero inoxidable, que en algunos casos están recubiertos por níquel, de esta manera está compuesta los electrodos con buenas propiedades eléctricas, así como la resistencia a la corrosión y la fragilización. En el mejor de lo casos, se debe usar el acero inoxidable grado 316, que es más resistente a la corrosión.

### Densidad de corriente y superficie de los electrodos

Para hallar la densidad de corriente de amperaje en la celda definida como la cantidad de corriente que circula por unidad en la superficie de un electrodo, tenemos la ecuación:

$$d_c = \frac{I_E}{S_E} = \frac{I_E}{n * S_E} \left[ \frac{A}{m^2} \right] \dots\dots\dots Ec. 3$$

Donde:

$d_c$ : Densidad de corriente

$I_E$ : Intensidad que circula a través del electrodo

$n$ : Numero de agrupaciones de celdas

$S_E$ : Superficie del electrodo

Número de placas neutras y voltaje real entre placas

Para determinar el área de las placas se usa la siguiente ecuación:

$$n = \frac{V_T}{V_C} + 1 \dots\dots\dots Ec. 4$$

Donde:

$n$ : Número de placas por agrupación

$V_T$ : Voltaje total de la celda

$V_C$ : Voltaje calculado entre electrodos

El valor obtenido en esta ecuación será redondeado y los extremos de la agrupación de placas serán conectados a la fuente a polos opuestos.

Para determinar el voltaje real entre las placas, se utilizará la ecuación:

$$V'_C = \frac{V_T}{n - 1} \dots\dots\dots \text{Ec. 5}$$

Donde:

$n$ : Número de placas por agrupación

$V_T$ : Voltaje total de la celda

$V'_C$ : Nuevo voltaje entre electrodos (Montagne Velásquez, 2016, pp 93, 96)

#### DENSIDAD DEL HIDROGENO:

Hallando la densidad del Hidrogeno con la ecuación de la ley de los gases ideales.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Donde:

$n$ : Numero de moles de la sustancia

$R$ : Constante de los gases ideales (constante universal)

$T$ : Temperatura en escala absoluta

$P$ : Presión barométrica

$V$ : Volumen de la sustancia

Donde  $n$ , se puede interpretar de la masa de la sustancia entre la masa molar del gas

$$n = w / M \text{ y } \beta = w / V$$

Donde:

$n$ : Numero de moles de la sustancia

$w$ : Masa de la sustancia

$M$ : Masa característica del gas (masa molar)

$B$ : Densidad

Despejando la ecuación para hallar la densidad:

$$P \cdot V / R \cdot T = w/M \text{ y } \beta = w/V$$

$$\beta = P \cdot M / R \cdot T \dots\dots\dots \text{Ec 6}$$

#### VOLUMEN ESPECÍFICO DEL HIDROGENO:

Hallando el volumen especifico del Hidrogeno con la siguiente ecuación.

$$v = 1/\beta \dots\dots\dots \text{Ec. 7}$$

Donde:

v: Volumen especifico

B: Densidad del material (Montagne Velásquez, 2016; pp105, 107)

### 2.2.5 Hidrogeno

#### Breve Historia del Hidrogeno

En la historia de la Química, la primera referencia al hidrógeno como tal aparece con la identificación de dos gases diferentes como formando parte del agua, por el inglés Henry Cavendish en 1766. Cavendish le da el nombre de aire inflamable. Más tarde, Antoine Lavoisier le da el nombre por el que lo conocemos, hidrógeno, generador de agua.

Antes de que finalizara el siglo XVIII, el hidrógeno encontró su primera aplicación práctica, como ocurre frecuentemente, por el ejército francés para globos de reconocimiento. Más de un siglo después, Alemania lo empleó en sus dirigibles para cruzar el océano Atlántico e incluso como combustible para la propulsión de los llamados zeppelines. Esta empresa concluyó después de la catástrofe del Hinderburg en 1937.

Más tarde, antes y después de la segunda guerra mundial, el hidrógeno se empleó como combustible de motores de vehículos de todo tipo, incluidos locomotoras y submarinos, pero sin gran éxito. Y ello a pesar de la predicción de Julio Verne en su novela "La isla misteriosa" de que algún día el agua, bajo la forma de sus componentes hidrógeno y oxígeno, serviría como fuente inagotable de energía. El auge del carbón en el siglo XIX y del petróleo en el siglo XX eliminaron toda posibilidad del uso masivo del hidrógeno. Solamente la industria

química, primero con la producción de fertilizantes derivados del amoníaco y después con la necesidad de hidrógeno para eliminar azufre y otros componentes de las gasolinas y gasóleos de locomoción y como complemento en las síntesis de productos derivados del petróleo, mantuvieron en el mundo una producción sustancial del hidrógeno.

Más adelante, ya en la segunda mitad del siglo XX, la preocupación por el ambiente y los posibles efectos sobre el clima, el comienzo de la era espacial y la inquietud sobre el agotamiento de los combustibles fósiles, ha traído de nuevo un gran impulso, sobre todo, de la industria automovilista por el empleo en gran escala del hidrógeno, lo que se ha llamado, erróneamente a mi modo de ver, la economía del hidrógeno.

El interés de las industrias aeroespacial y automovilista por el hidrógeno se debe a la llamada pila de combustible, donde el hidrógeno puede quemarse con el oxígeno, transformándose la energía de la combustión en electricidad. Este proceso fue ya descubierto en 1839 por el galés William R. Grove, pero su desarrollo comenzó en la década de los 1960 por la NASA para producir electricidad y agua en algunas de sus misiones espaciales. Actualmente, un gran número de prototipos de las principales marcas de automóviles y autobuses ensayan pilas de combustible de tipos y combustibles diversos. (Gutierrez, 2005, pág. 49)

### **Olor, color y gusto**

El hidrógeno puro es inodoro, no tiene color y es insípido. Si se produjese un escape de hidrógeno, éste resultaría casi invisible en la luz del día.

El hidrógeno obtenido a partir de otros combustibles fósiles viene acompañado generalmente por nitrógeno, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y otros gases, la mayoría de los cuales son también inodoros, descoloridos e insípidos. No obstante, existen métodos para detectar fugas y llamas de hidrógeno, así como para dotarlo de un olor que nos permita la detección de fugas de manera olfativa. Veremos todo lo referente a riesgos y seguridad hacia el final de este tema.

## Toxicidad

El hidrógeno en si no resulta tóxico, pero puede actuar como asfixiante ya que desplaza el oxígeno que se encuentra en el aire. Los niveles de oxígeno por debajo del 19,5% resultan insuficientes para los seres humanos. Los efectos de la deficiencia de oxígeno pueden incluir la hiperventilación, una disminución de las capacidades mentales, coordinación muscular deteriorada (Gomez, 2010, pág. 40)

**Tabla 1.**

*Densidad de los combustibles*

COMBUSTIBLE	DENSIDAD DE ENERGÍA (PCI)	ESTADO
HIDRÓGENO	10.050 kJ/M <sup>3</sup>	GAS A 1 ATM Y 15 °C
	1.825.000 kJ/M <sup>3</sup>	GAS A 200 BAR <sub>G</sub> Y 15 °C
	4.500.000 kJ/M <sup>3</sup>	GAS A 690 BAR <sub>G</sub> Y 15 °C
	8.491.000 kJ/M <sup>3</sup>	LÍQUIDO
METANO	32.560 kJ/M <sup>3</sup>	GAS A 1 ATM Y 15 °C
	6.860.300 kJ/M <sup>3</sup>	GAS A 200 BAR <sub>G</sub> Y 15 °C
	20.920.400 kJ/M <sup>3</sup>	LÍQUIDO
PROPANO	86.670 kJ/M <sup>3</sup>	GAS A 1 ATM Y 15 °C
	23.488.400 kJ/M <sup>3</sup>	LÍQUIDO
GASOLINA	31.150.000 kJ/M <sup>3</sup>	LÍQUIDO
DIÉSEL	31.435.800 kJ/M <sup>3</sup>	LÍQUIDO
METANOL	15.800.100 kJ/M <sup>3</sup>	LÍQUIDO
ETANOL	21.100.000 kJ/M <sup>3</sup>	LÍQUIDO

*Fuente: (Gamez Franco, 2010, p. 40)*

## Inflamabilidad

Para producir fuego o una explosión se necesita un combustible en la concentración adecuada, como el hidrógeno, un comburente mezclado con el combustible en la cantidad necesario, como el oxígeno, y una fuente de ignición con energía suficiente para comenzar la reacción.

**Tabla 2.**

*Punto de inflamación de los combustibles*

COMBUSTIBLE	PUNTO DE INFLAMACIÓN
HIDRÓGENO	< -253 °C
METANO	-188 °C
PROPANO	-104 °C
GASOLINA	-43 °C
DIÉSEL	ENTRE 52 °C Y 96 °C
METANOL	-11 °C
ETANOL	13 °C

*Fuente;* (Gamez Franco, 2010, p. 44)

### Temperatura de auto ignición

Se llama auto ignición al momento que se prende la mezcla carburante por acción del calor que se genera en el tiempo de compresión. Normalmente este proceso se realiza con la intervención de la chispa generada por el sistema de encendido

### Tabla 3.

#### *Propiedades del hidrogeno*

<b>Densidad</b>	<b>0.0899 Kg/Nm<sup>3</sup> (gas) 0.0708 Kg/l</b>
<b>Poder calorífico</b>	Inferior 120 MJ/kg. Superior; 141,86 MJ/Kg
<b>Límite de inflamabilidad</b>	4.0 – 75.0%
<b>Límite de detonación</b>	18.3 – 59.0%
<b>Punto de ebullición</b>	-252.8°C
<b>Temperatura auto ignición</b>	580°C
<b>Punto de congelación</b>	-252.8°C

*Fuente: (Oliveros Fortich, y otros, 2012, P. 1051)*

### Hidrogeno vehicular

Con el fin de analizar el impacto ambiental que generan los diferentes combustibles empleados en la actualidad, se presentan a continuación los datos de nivel de emisiones que se genera en un motor de combustión interna con cada combustible escogido.

Se destacan las emisiones más significativas que emite cada una de ellos, el elevado contenido en carbono de las gasolinas y los gasóleos implica que como producto resultante resulten grandes cantidades de dióxido de carbono, este gas es el principal causante de efecto invernadero de la tierra y por tanto del cambio climático del planeta

Los datos de las emisiones de CO<sub>2</sub> de cada combustible se encuentra valorados sobre el uso de unidad de energía (MJ), la información es la siguiente (Oliveros Fortich, y otros, 2012) P.1051

**Tabla 4.**

*Emisiones de CO<sub>2</sub> de acuerdo al combustible*

<b>Combustible</b>	<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (G/MJ)</b>
<b>Etanol</b>	71.38
<b>Biodiesel</b>	77.34
<b>Metano</b>	54.97
<b>DME</b>	66.34
<b>Hidrógeno</b>	0 (sin emisiones)
<b>Gasolina</b>	73.18
<b>Gasóleo</b>	73.84

*Fuente: Oliveros Fortich, y otros, 2012, P.1051*

## **Octanaje**

El número de octano describe las características antidetonantes de un combustible cuando se comprime, en el cilindro de un motor de combustión interna

**Tabla 5.**

*Numero de octanaje de acuerdo al combustible*

COMBUSTIBLE	NÚMERO DE OCTANO
HIDRÓGENO	130
METANO	125
PROPANO	105
GASOLINA	DE 87 A 93
DIÉSEL	30
METANOL	99
ETANOL	100

*Fuente: Gómez, D. 2010, p. 46*

### **Volumen específico**

El volumen específico es el inverso de la densidad y expresa la cantidad de volumen por unidad de masa. Así, el volumen específico de gas de hidrogeno (con unas condiciones de 20°C y 1 atm) es de 11,9 m<sup>3</sup>/kg, mientras que el volumen específico del hidrogeno liquido (a -253°C y 1 atm) es de 0,014m<sup>3</sup>/kg.

### **Relación de expansión**

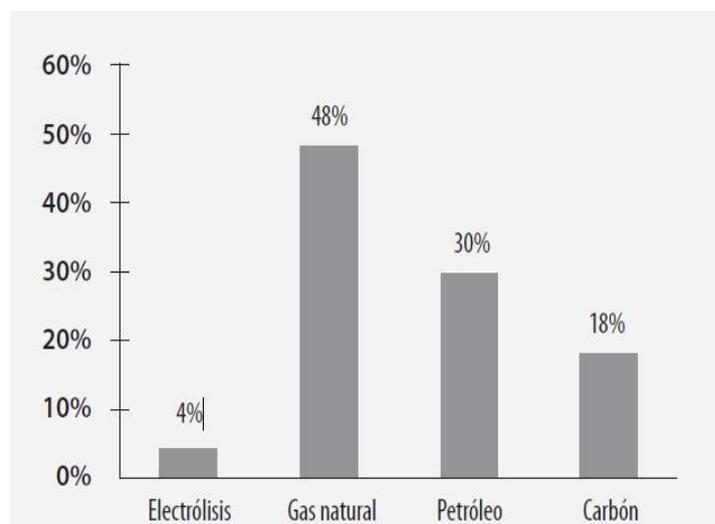
Cuando el hidrógeno se almacena como un líquido, se evapora durante su expansión a condiciones atmosféricas, con un aumento correspondiente en su volumen [FIGURA]. La relación de expansión del hidrógeno es de 1:848, y significa que el hidrógeno, en su estado gaseoso en condiciones atmosféricas, ocupa 848 veces más que cuando se encuentra en estado líquido. Cuando el hidrógeno se almacena como un gas a alta presión (250 barg) a temperatura atmosférica, su relación de expansión a presión atmosférica es de 1:240. (Gamez Franco, 2010; P. 41)



**Figura 7.** Diferencia de volúmenes en estado sólido (Gamez F, P. 41)

### Obtención de hidrógeno

El hidrogeno se puede obtener de diferentes formas, pero lo que nos interesa más es obtención por hidrolisis



**Figura 8.** Origen del hidrogeno producido en la actualidad, (Linares, Moratilla, 2006, pág. 30)

### 2.2.6 Normas de producción almacenaje, transporte, medida y uso del hidrógeno

#### Comité Técnico ISO/TC 197

El Comité Técnico ISO/TC 197 fue creado por la organización Internacional de Estandarización (ISO) en 1988 con el objeto de desarrollar normas en el campo de los sistemas y dispositivos de producción almacenaje, transporte, medida y uso del hidrógeno. El Comité está compuesto por miembros plenarios, y miembros observadores, cada uno pertenecientes a las distintas organizaciones

de estandarización locales presentes en cada país. A continuación, se muestran alfabéticamente los distintos estados miembros:

**Miembros plenarios Miembros observadores**

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| - Argentina (IRAM)                              | - Australia (SAI)            |
| - Alemania (DIN)                                | - Austria (ON)               |
| - Bélgica (IBN)                                 | - China (SAC)                |
| - Canadá (SCC)                                  | - España (AENOR)             |
| - Corea del Sur (KATS)                          | - Hungría (MSZT)             |
| - Egipto (EOS)                                  | - India (BIS)                |
| - Estados Unidos (ANSI)                         | - Jamaica (JBS)              |
| - Federación Rusa (GOST R)                      | - República Checa (CSNI)     |
| - Francia (AFNOR) -                             | - Reino Unido (BSI)          |
| - Holanda (NEN)                                 | - Serbia y Montenegro (ISSM) |
| - Italia (JISC)                                 | - Tailandia (TISI)           |
| - Libia (LNCSM)                                 | - Turquía (TSE)              |
| - Noruega (NSF)                                 |                              |
| - Suecia (SIS)                                  |                              |
| - Suiza (SNV). (Fernández, 2005, págs. 212,213) |                              |

A continuación, se presentan las normas que están en ejecución y que ya han sido desarrolladas por el *Comité Técnico ISO TC 197*

**Tabla 6.**

Comité Técnico ISO TC 197

<b>Normas en desarrollo</b>	<b>Tema</b>
<b>ISO/DIS 13985.3</b>	Hidrógeno líquido –Tanques para vehículos terrestres.
<b>ISO/CD 13986</b>	Tanques para transporte multimodal de H2 líquido.
<b>ISO/DPAS 15594</b>	Instalaciones de carga de hidrógeno para aeropuertos.
<b>ISO/DIS 17268</b>	Hidrógeno gaseoso - Conectores para carga de combustible para vehículos terrestres
<b>ISO/DIS 15869</b>	Hidrógeno gaseoso y mezclas de H2 gaseoso -
<b>1/2/3/4/5</b>	Tanques de combustible para vehículos terrestres.
<b>ISO/WD 20012</b>	Hidrógeno gaseoso – Estaciones de Abastecimiento.
<b>ISO/CD 16110.1/2</b>	Generadores de hidrógeno usando tecnologías de procesamiento de combustibles.
<b>ISO/CD 22734</b>	Generadores de hidrógeno que emplean procesos de electrolisis del agua.
<b>IEC/CD 62282</b>	Tecnologías de Celdas de combustible. (Liaison con IEC 105)

*Fuente: (Fernández, 2005, pág. 214)*

**Otras normas:**

Reglamento (CE) n° 79/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de enero de 2009, relativo a la homologación de los vehículos de motor impulsados por hidrógeno y que modifica la Directiva 2007/46/CE

**2.3. Rendimiento de un motor de combustión interna**

Se conoce motores de combustión interna a todos aquellos motores que realizan la expansión o explosión dentro del cilindro.

Pueden ser de dos tiempos o de cuatro tiempos; pero los motores que más se utilizan hoy en día son los motores de cuatro tiempos, ya que los motores de dos tiempos ya no fabrican, por que contaminan demasiado el medio ambiente.

Entonces; en la investigación solo hablare de motores de cuatro tiempos.

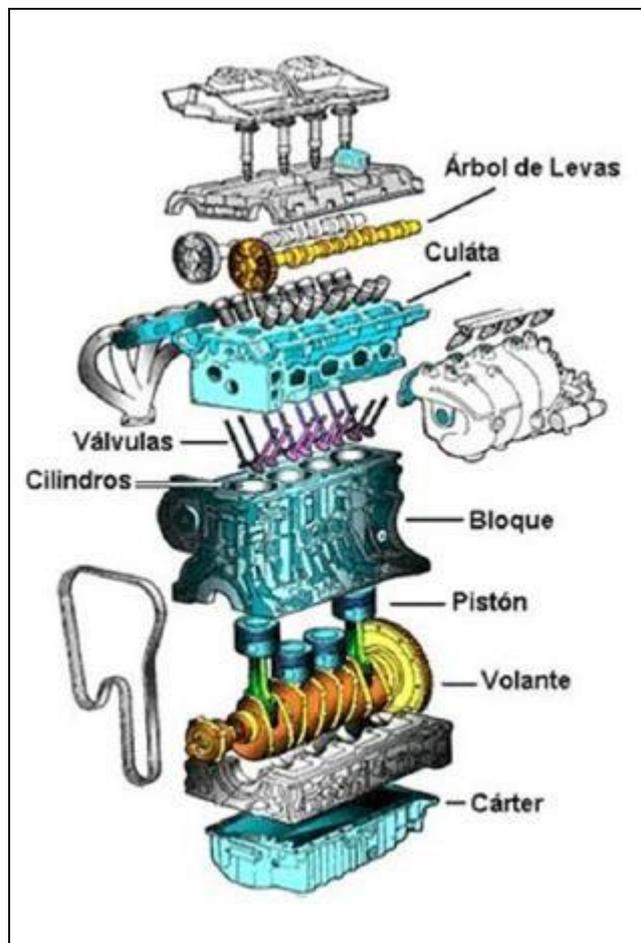
**¿Cómo se conoce a un motor de cuatro tiempos?**

Se conoce a un motor de cuatro tiempos, porque en un ciclo de funcionamiento el cigüeñal gira dos vueltas, y realiza cuatro tiempos: admisión, compresión, explosión, escape en cada cilindro.

### 2.3.1. Estructura de un motor de combustión interna

Partes Móviles: El cigüeñal, bielas, pistones, árbol de levas, válvulas, buzos,

Engranajes de sincronización bomba de aceite, bomba de agua, arrancador, alternador. Polea, volante



**Figura 9.** Partes del motor gasolinero (Benavides)

**Monoblock.** - Es la parte principal del motor donde se alojan todos los sistemas del motor



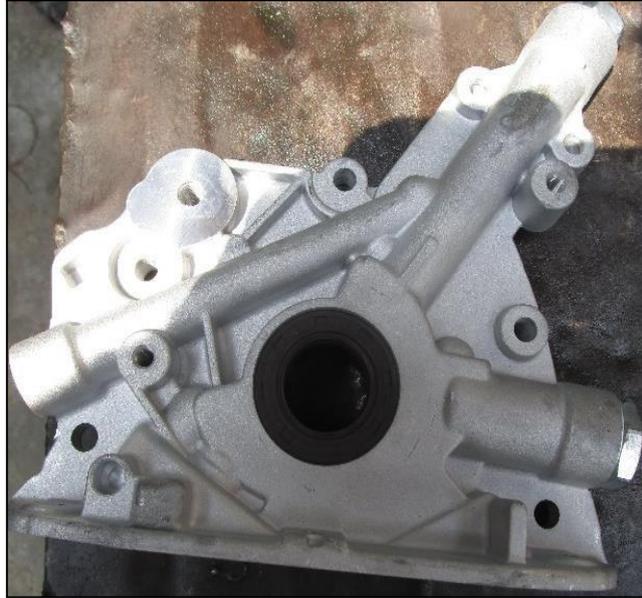
**Figura 10.** Monoblock

**Culata.** - Es donde se alojan las válvulas y el árbol de levas, además sirve como tapa de los cilindros



**Figura 11.** Culata

**Bomba de aceite.** - es el corazón del sistema de Lubricación es el hace circular el aceite por todo el interior del motor



**Figura 12.** Bomba de aceite

**Cigüeñal:** - Es el eje principal del motor, quien recibe la fuerza de combustión para convertirlo en movimiento



**Figura 13.** Cigüeñal

**Engranaje de sincronización.** - Es el encargado de transmitir el movimiento al árbol de levas



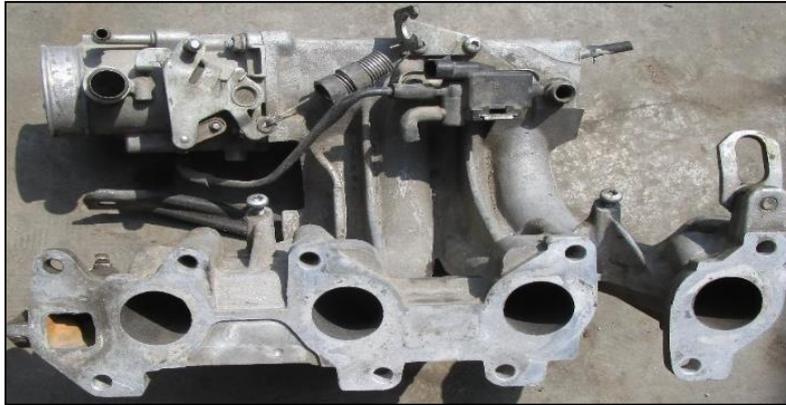
**Figura 14.** Engranaje de sincronización

**Cilindros.** - Son los orificios donde se desplazan los pistones



**Figura 15.** Cilindros

**Múltiple de admisión:** - Es por donde ingresa el aire y la gasolina en una mezcla en forma de gas



**Figura 16.** Múltiple de admisión

**Múltiple de escape.-** Es por donde salen los gases después de la combustión



**Figura 17.** Múltiple de escape

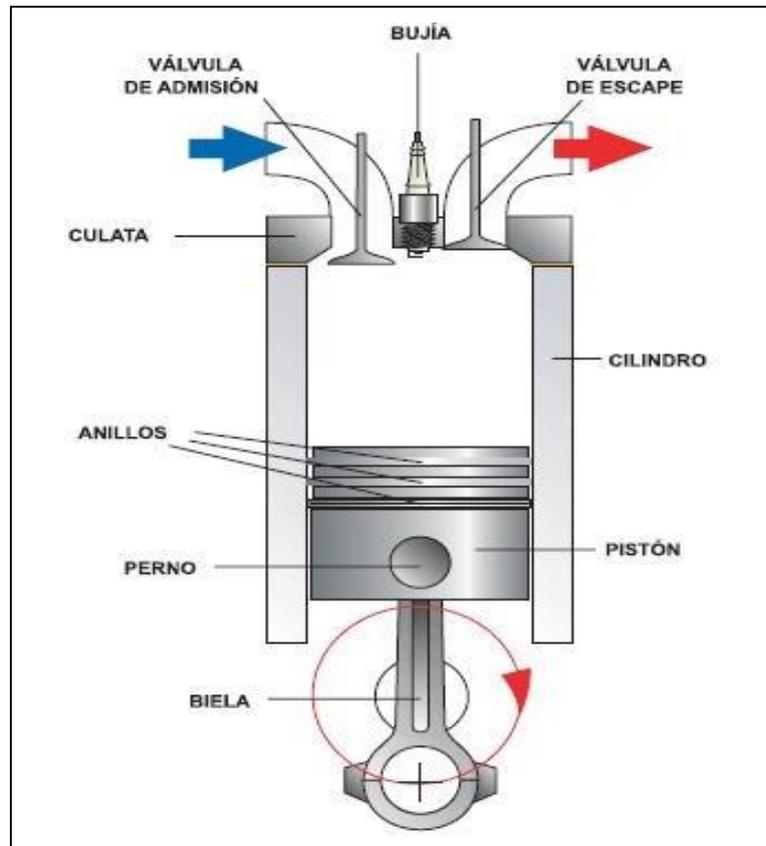
**Filtro de aceite. -** Es el encargado de filtrar y limpiar el interior del motor



**Figura 18.** Filtro de aceite

**Aceite.-** Es el encargado de lubricar el motor

### 2.3.2 Funcionamiento del Motor de combustión interna

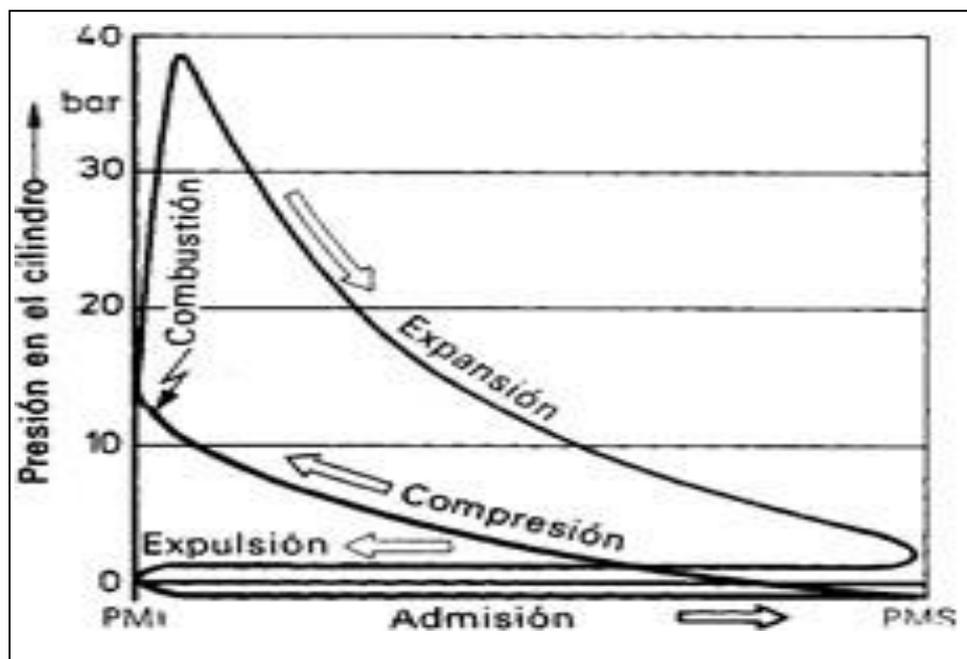


#### Funcionamiento teórico

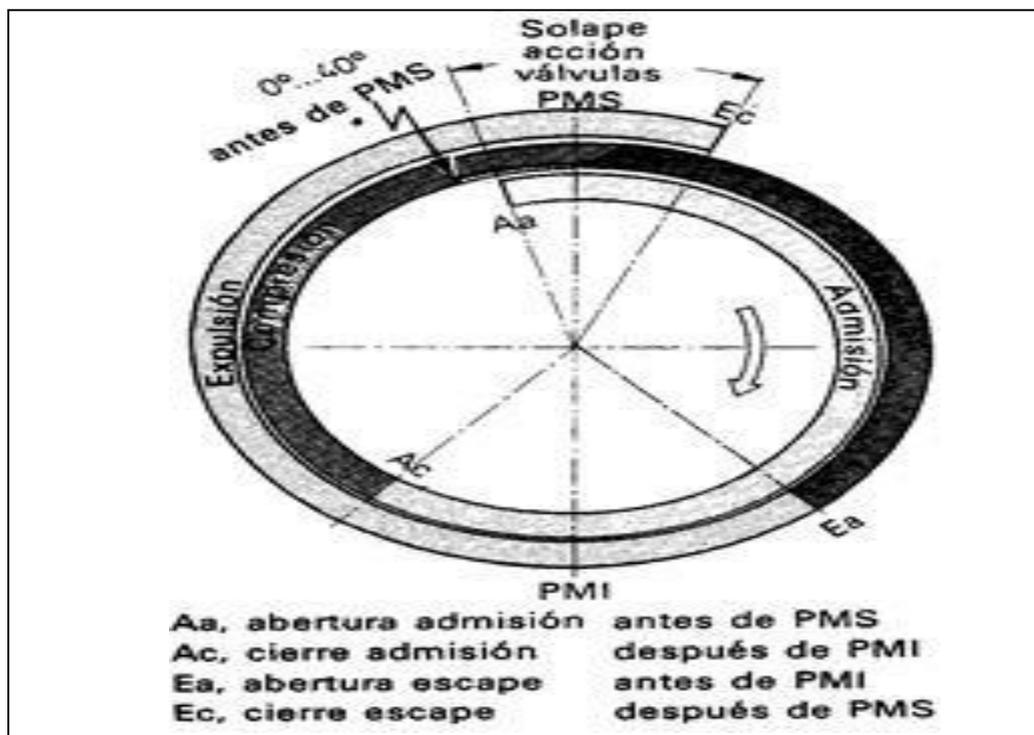
Es cuando el pistón sube y realiza una carrera ascendente y cuando el pistón baja realiza una carrera descendente entonces cuando el pistón sube y llega a la parte más alta se llama Punto Muerto Superior (PMS) y cuando el pistón llega a la parte más baja se llama Punto Muerto Inferior (PMI), en el ciclo teórico se conoce que los tiempos admisión compresión explosión y escape empiezan justo en el PMS o en el PMI es allí donde se abren y cierran las válvulas de admisión y de escape.

### Funcionamiento práctico

Es el funcionamiento real del motor es aquí donde hay una variación de apertura y cierre de las válvulas con relación al recorrido del pistón.



**Figura 19.** Diagrama de trabajo de un motor Otto de cuatro tiempos. (GTZ, pág. 2012)



**Figura 20.** Diagrama de manado de un motor Otto de cuatro tiempos. (GTZ, p. 2012)

En los gráficos se observa como es en realidad el funcionamiento del motor las válvulas se abren antes del punto muerto superior y cierran después del punto muerto superior esto hace que ingrese mayor cantidad de aire y combustible y que los motores modernos sean más veloces ya que los tiempos de admisión, compresión explosión, escape van a durar mayor tiempo.

Tabla 7.

*Datos característicos de los combustibles líquidos*

Materia	Densidad kg/l	Punto de fusión °C	Punto o límites de ebullición °C	Calor de vaporización kcal/kg	Poder calorífico kcal/kg	Auto- encendido °C	Consumo de aire kg/kg	ROZ ó Ca Z
Metanol	0,8	-98	65	1110	19678	455	6,4	106
Benceno puro	0,88	+ 6	80	394	40193	700	13,3	>100
Gasolina normal	0,72 – 0,76	-30...-50	25...210	377...502	43500	450...550	14,8	91
Combust super	0,73 – 0,78	-30...-50	25...210	419	42705	480...700	14,7	97,4
Combust. diesel	0,82 – 0,86	-10...-30	150...360	544...795	40600...44400	350...380	14,5	> 45

Fuente: GTZ; p. 15

### 2.3.3. Contenido en energía

El poder calorífico es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible, menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas resultantes de la combustión. La magnitud del poder calorífico puede variar según como se mida. Según la forma de medir se utiliza la expresión poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI):

- **Poder calorífico superior (PCS):** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase. También es llamado poder calórico neto.
- **Poder calorífico inferior (PCI):** Calor realmente aprovechable de la reacción de combustión (el producido sin aprovechar la energía de la condensación del agua y otros procesos de pequeña importancia). En el caso del hidrógeno, éste dispone de un PCS de 141,86 kJ/g (a una temperatura de 25°C y una presión de 1 atm.); y de un PCI de 119,93 kJ/g (en las mismas condiciones anteriores).

El hidrógeno dispone de la relación peso – energía más alta que cualquier combustible, al ser el elemento más ligero y no disponer de ningún átomo de carbón pesado. Es por esta razón que el hidrógeno se ha utilizado extensivamente en los diferentes programas espaciales, donde el peso resulta un elemento crucial.

La cantidad de energía liberada durante la combustión del hidrógeno, es cerca de 2,5 veces el calor producido en la combustión de los hidrocarburos más comunes (Gamez Franco, 2010; pp. 43, 45)

$$Q_c = Li. \frac{PM_{combustible}}{22.4} \cdot \frac{F}{F + \frac{PM_{combustible}}{PM_{aire}}} \left[ \frac{Kjul}{l} \right] \dots \dots \dots E. 8$$

QC =poder calorífico

(PM<sub>hidrogeno</sub>) y potencia ofrecida por un motor de gasolina (PM<sub>gasolina</sub>)

Li = PCI poder calorífico inferior y Pcs poder calorífico superior

F = fuerza

Por lo que también recomienda que para una distribución eficiente de sus electrodos el consumo por litro de un valor de 2.75 Wh/l o 0.99 MJ/l, y por lo cual el resultado variar alrededor de este dato. (Gamez Franco, 2010; P.96).

#### 2.3.4. Relación de aire /gasolina

(Gamez Franco, 2010 pp.96,97). Independientemente del tipo de motor de combustión interna utilizada y de su combustible, para un buen funcionamiento del mínimo y para la reducción de emisiones perjudiciales para el medio ambiente, es necesario que se produzca una combustión estequiometria 7 de aire/combustible. Así pues, calculemos esta relación en el caso de la combustión de hidrógeno:



Puesto que el motor no funcionará con oxígeno puro, sino que lo hará con aire, es necesario tener en cuenta la presencia de otros gases, como el nitrógeno ( $N_2$ ), en nuestros cálculos:

$$1 \text{ mol de } O_2 \cdot \left( \frac{79\% \text{ de } N_2 \text{ en el aire}}{21\% \text{ de } O_2 \text{ en el aire}} \right) = 3,762 \text{ mol de } N_2$$

Sumando los moles de nitrógeno y de oxígeno, obtenemos el número total de moles de aire:

$$1 \text{ mol de } O_2 + 3,762 \text{ mol de } N_2 = 4,762 \text{ mol de aire}$$

Con todo esto podemos obtener la relación estequiometría de aire/hidrógeno basada en volumen:

$$\frac{4,762 \text{ mol de aire}}{2 \text{ mol de } H_2} = \frac{2,4}{1}$$

También es posible calcular el porcentaje de espacio que ocupa el hidrógeno de una mezcla estequiometría de aire hidrógeno en la cámara de combustión:

$$\frac{\text{Volumen de } H_2}{\text{Volumen total}} \cdot 100 = \frac{2 \text{ mol de } H_2}{4,762 \text{ mol de aire} + 2 \text{ mol de } H_2} \cdot 100 = 29,6\%$$

Por otro lado, también podemos calcular la relación estequiometría basada en masa utilizando las densidades molares de cada uno de los gases:

$$\frac{3,762 \text{ mol de } N_2 \cdot \frac{28 \text{ g}}{\text{mol}} + 1 \text{ mol de } O_2 \cdot \frac{32 \text{ g}}{\text{mol}}}{2 \text{ mol de } H_2 \cdot \frac{2 \text{ g}}{\text{mol}}} = \frac{34,33}{1}$$

Los cálculos demuestran que la relación estequiometría de aire/hidrógeno, en términos másicos, es de 34:1. Esto significa que, para producir una combustión completa, por cada gramo de combustible serán necesarios 34 g de aire, proporción bastante más elevada que la requerida en motores de gasolina, que suelen tener una proporción de 14,7:1, aproximadamente.

## Especificaciones técnicas del motor a gasolina de combustión interna de 1468 cc

Tabla 8.

*Características del motor a emplear*

Vehículo marca Mitsubishi	
<b>Motor</b>	MITSUBISHI
<b>Combustible</b>	Gasolina 95 octanos
<b>Código</b>	4G15
<b>Numero de cilindros</b>	4/OHC
<b>Cilindrada</b>	1468 CC
<b>Potencia</b>	66KW a 6000 RPM
<b>Relación de compresión</b>	1 a 9,2
<b>Sistema de alimentación</b>	CARBURADOR
<b>Orden de encendido</b>	1342
<b>Adelanto de encendido</b>	10° de adelanto
<b>Presión de compresión</b>	Bar 9,6
<b>Presión del aceite</b>	bar/rpm 5,0-6,0
<b>Tapón de radiador</b>	Bar 0,75-1,05
<b>Ralentí</b>	Rpm 750±50
<b>Velocidad de ralentí - alternativa</b>	Rpm AT=800±50
<b>Velocidad de ralentí rápida - mt / at</b>	Rpm 2700±200
<b>Temperatura del aceite para la prueba de CO</b>	°C 60
<b>Nivel de monóxido de carbono(CO) a ralentí - tubo de escape</b>	1,0±0,5% Vol.
<b>Nivel hidrocarburos (HC) a ralentí</b>	300 ppm
<b>Nivel dióxido de carbono (CO2) a ralentí</b>	13-16 % Vol
<b>nivel de oxígeno (O2) a velocidad de ralentí</b>	0,5-2,0% Vol

Fuente: (Autodata Limited , 2013)

**Del diagrama mostrado figura n° 1 se analiza y se identifica los costos de operación actual -funcionamiento con gasolina**

### Consumo de gasolina

En la panamericana sur a una velocidad de 90 km/hora se recorrió 100 km, luego se verifico cuanto de gasolina ha consumido durante ese recorrido.

**Resultado:** consumió 9 Litros

**Emisiones.** Para tener una estimación real del funcionamiento de los gases emanados por el tubo de escape se tomó como referencia la revisión técnica del vehículo nivel hidrocarburos (HC), nivel dióxido de carbono CO2).

Tabla 9.

*Temperatura*

<b>Temperatura</b> 79°C	<b>CO ralentí</b>	<b>0.07</b>	<b>CO aceite (%)</b>	<b>0.04</b>
<b>RPM 2415</b>	CO2 ralentí %	12.46	CO2 aceite	12.39
<b>OPACIDAD</b>	HC ralentí (ppm)	0.00	HC aceite (ppm)	81.00

**Vida útil del aceite**

Según el catálogo de Mitsubishi, La vida útil del aceite depende de varios factores, la calidad del aceite, el lugar donde funciona el vehículo, pero al respecto nos da datos técnicos:

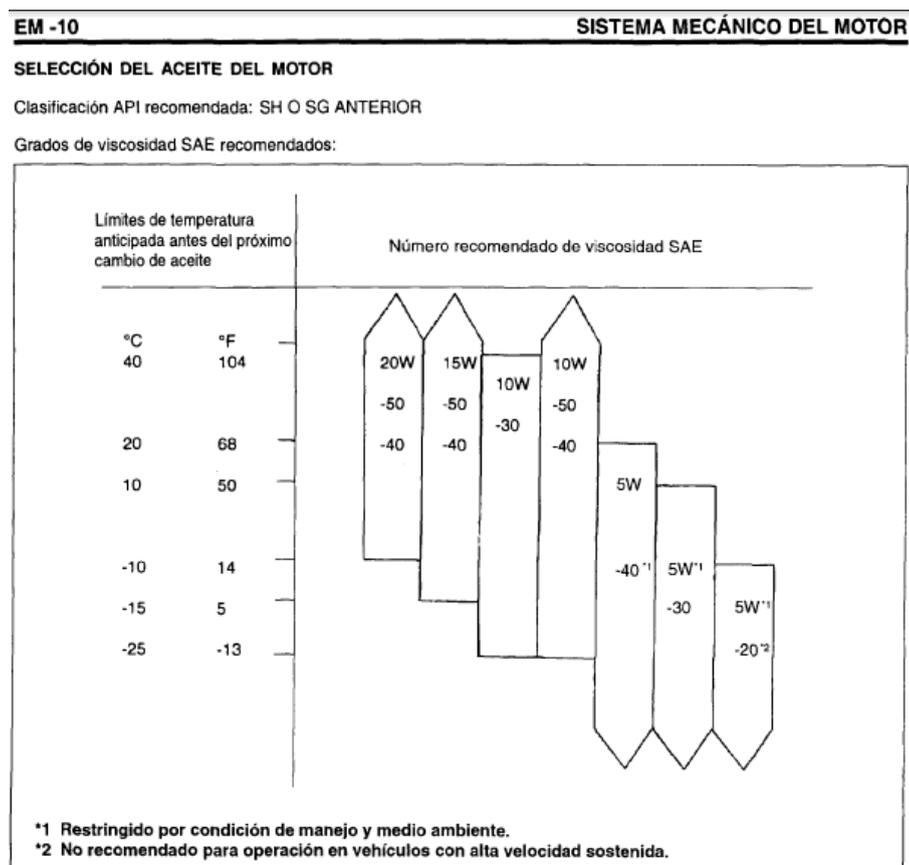
**Figura 21.** Manual Mitsubishi

Tabla 10.

*Lubricantes y capacidades*

<b>Lubricantes y capacidades</b>	
<b>rango de temperatura ambiente</b>	Clima frio
<b>Grado de aceite del motor</b>	<b>SAE5W-30</b>
<b>Clasificación del aceite del motor</b>	<b>API/ACEASH/A2</b>
<b>Rango de temperatura ambiente</b>	<b>Clima moderado</b>
<b>Grado de aceite del motor</b>	<b>SAE15W-40</b>
<b>Clasificación del aceite del motor</b>	<b>API/ACEASH/A2</b>
<b>Rango de temperatura ambiente</b>	Alternativa de clima moderado
<b>Clasificación del aceite del motor</b>	<b>SAE10W-40</b>
<b>Clasificación del aceite del motor</b>	<b>API/ACEASH/A3</b>
<b>Rango de temperatura ambiente</b>	<b>Clima Cálido</b>
<b>Clasificación del aceite del motor</b>	<b>50 API/ACEASH/A2</b> litros <sup>3,4</sup>
<b>Clasificación del aceite del motor</b>	<b>50 API/ACEASH/A2</b> litros <sup>3,4</sup>
<b>Motor con filtro (s)</b>	litros <sup>3,4</sup>
<b>Filtro de aceite</b>	
<b>Cambio de aceite y filtro</b>	Utilizando un aceite SAE 10W40 y de calidad API SN Se cambiara Cada 4 000 km

(Autodata Limited , 2013)

**Del diagrama mostrado figura n° 2 se analiza y se proyecta los costos de operación actual -funcionamiento con gasolina e hidrogeno**

**Costos para fabricar e instalar en el vehículo el nuevo diseño**

<b>Equipo</b>	<b>Cantida</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
	<b>d</b>	<b>S/</b>	<b>S/</b>
<b>Construcción del generador del hidrogeno</b>	1	1500	1500
<b>Instalación en el vehículo</b>	1	500	500
<b>Gastos varios</b>	1	300	300
<b>Total</b>			2300

## **Ventajas que presenta el nuevo diseño**

### **Consumo de gasolina:**

Se estaría Consumiendo 7.5 litros de gasolina por cada 100 km

### **Gases contaminantes:**

Se estaría reduciendo a 0 gases contaminantes

### **Prolongación de la vida útil del aceite:**

El aceite se estaría prolongando su cambio hasta 6000 km

## **2.4. Definición de términos básicos**

**Hidrogeno:** El termino hidrogeno proviene del francés Hydrogène, que a su vez proviene del latín hydrogenium, el átomo de hidrogeno se representa en la tabla periódica como (H), siendo el elemento de mayor abundancia en el universo, no toxico, y por sus propiedades físicas y químicas, es el combustible ideal para todo tipo de motor (Montagne, 2016, pág. 61)

**Electrolisis:** Procede de dos radicales, electro que hace referencia a la electricidad, y lisis que significa ruptura. Nombre también que recibe el proceso mediante el cual la energía eléctrica se emplea para producir cambios químicos; mediante una reacción redox no espontanea, donde se hace pasar una corriente eléctrica. La electrolisis es uno de los principales métodos químicos de separación. Industrialmente es uno de los procesos más empleados para la obtención de cloro, hidrogeno, oxigeno; o para la purificación de metales. Rodríguez como cito (Montagne Velásquez, 2016, pág. 81)

**Electrolisis:** consiste en un proceso que permite separar compuestos en los elementos que lo conforman, para ello se utiliza la electricidad; la palabra electrólisis proviene de las raíces electro, electricidad y lisis (separación). (Oliveros Fortich, y otros, 2012)p.1052

**Reacción química:** “es todo proceso termodinámico en el cual dos o más sustancias (llamadas reactantes o reactivos), se transforman, cambiando su estructura molecular y sus enlaces, en otras sustancias llamadas productos” (wikipedia, 2019)

**Punto de autoencendido:** “es una característica de los materiales inflamables (combustible) que define las condiciones en que se inicia una reacción de combustión en cadena, sin intervención de una fuente externa de calor, y el proceso de combustión continua a partir de ese momento”.

### **Mejora Rendimiento**

**PMS:** Es cuando el pistón se encuentra en el punto muerto superior, la parte más alta del pistón

**PMI:** Es cuando el pistón se encuentra en el punto muerto Inferior, la parte más baja del pistón

**Carrera:** Es el recorrido que realiza el pistón

**Ciclo Otto:** es el ciclo de trabajo de un motor de combustión interna se producen: dos vueltas de giro del Cigüeñal, cuatro carreras del pistón y cuatro tiempos

## **Capítulo III: Desarrollo del trabajo de suficiencia profesional**

### **3.1.- Diseño del sistema de generador de Hidrogeno**

#### **Celda o generador**

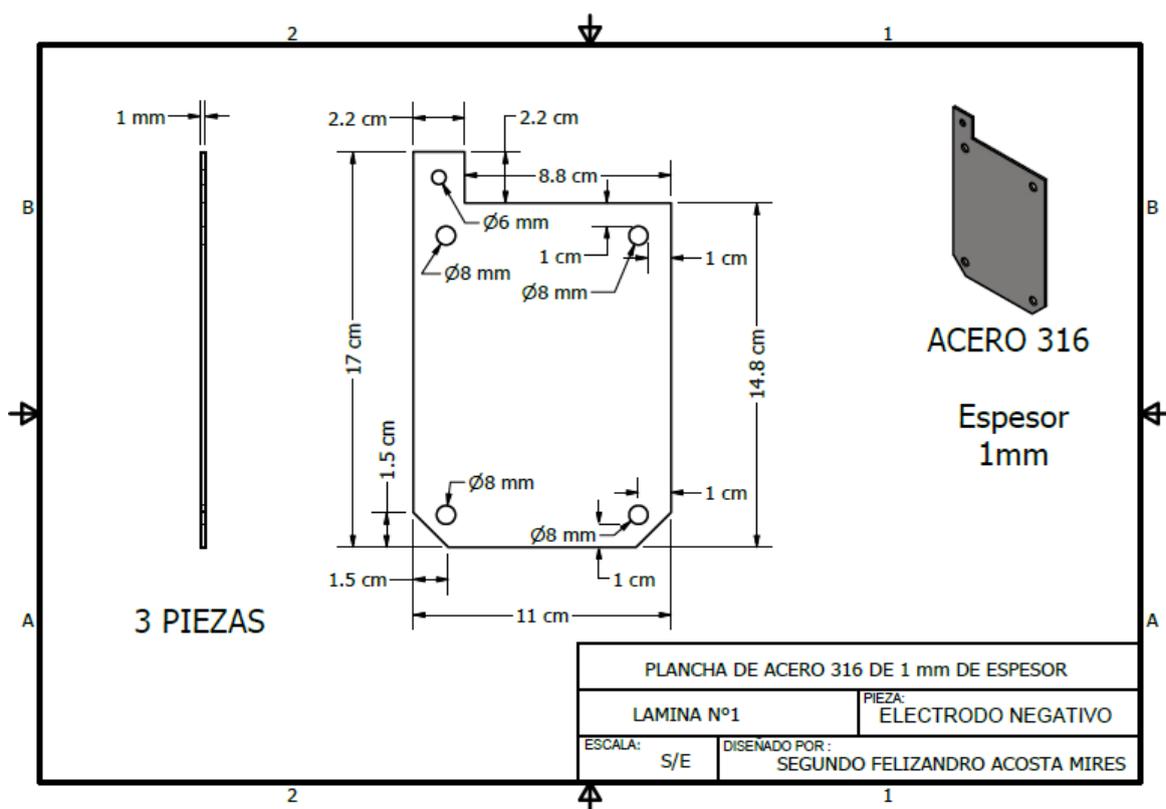
##### **Tipos**

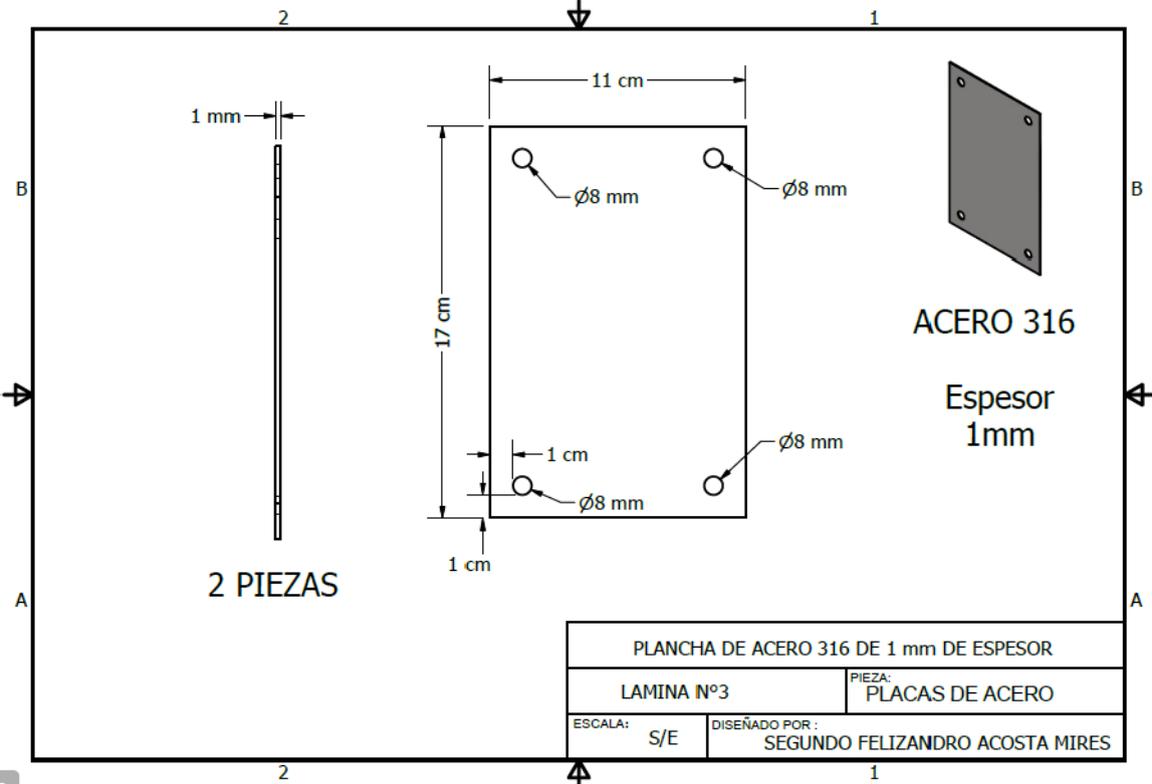
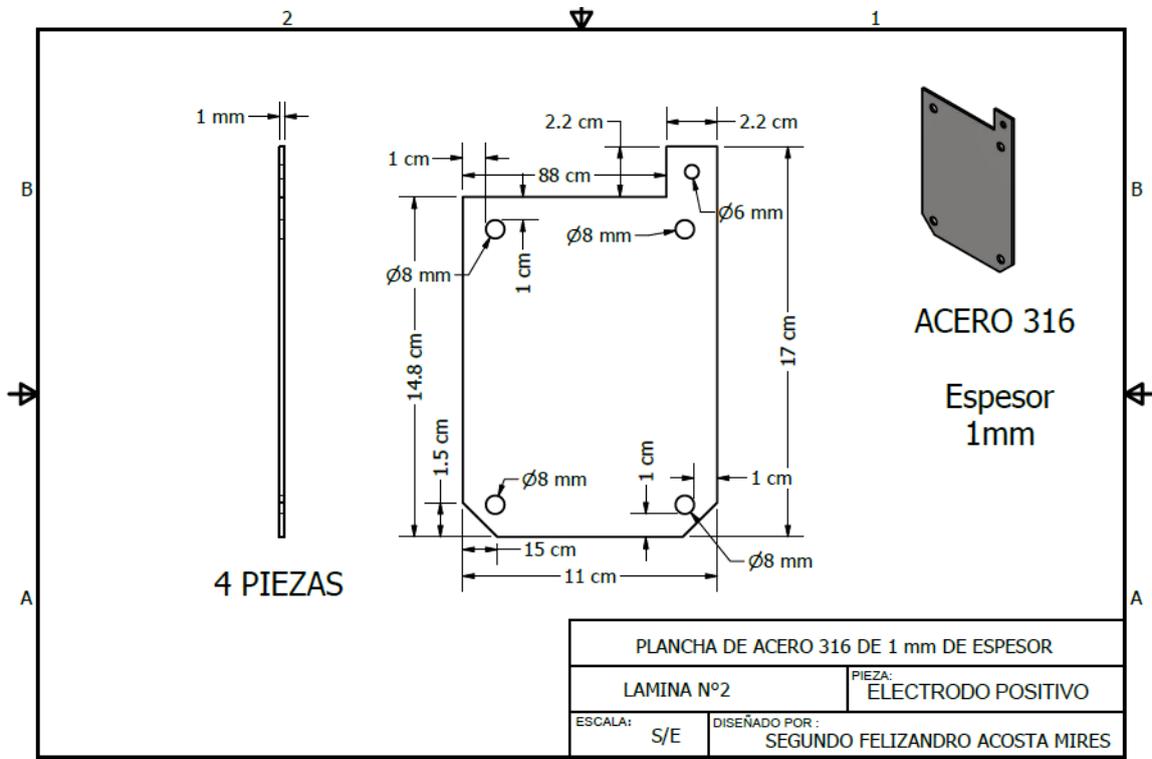
Para el presente proyecto se decide utilizar un generador de hidrógeno del tipo electrolítico, ya que al ser montado en un vehículo con motor de a gasolina el cual ya cuenta con una fuente de electricidad como es el alternador, se puede utilizar la energía eléctrica disponible para la generación de hidrógeno. Además, se

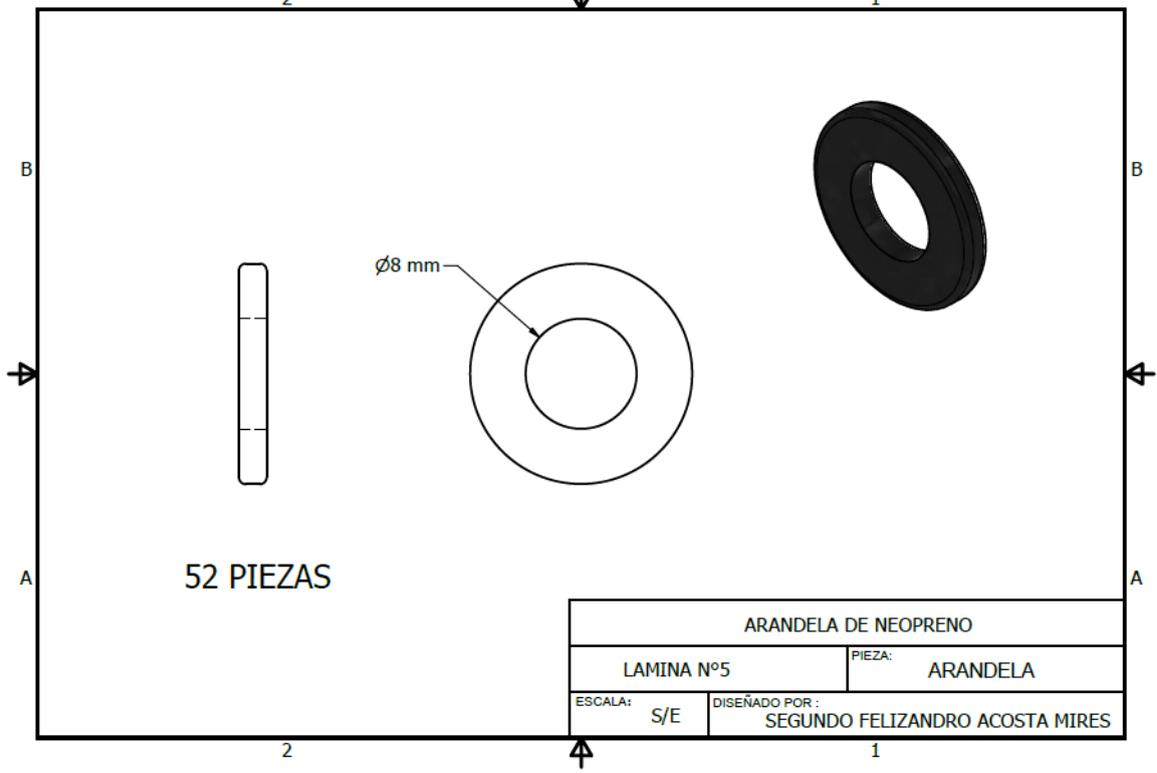
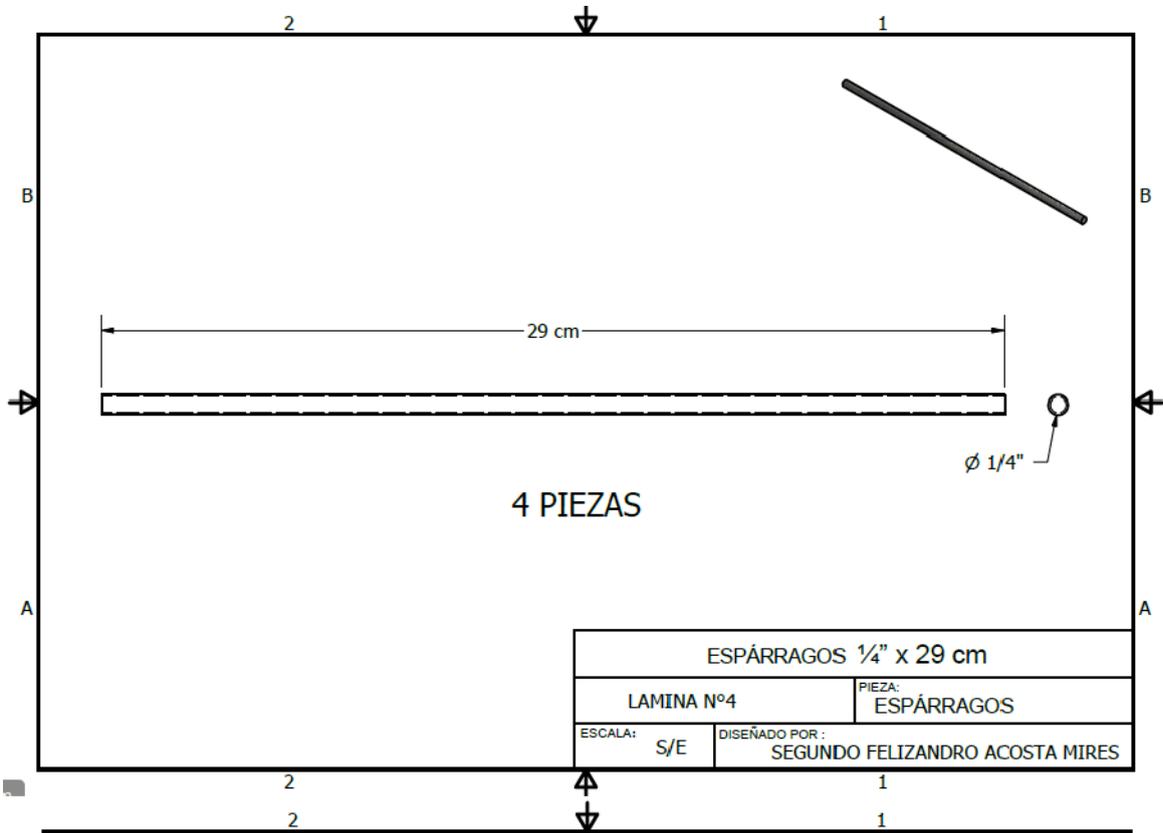
define que la celda o generador va a ser celda sumergida en agua, en un envase plástico con conexiones eléctricas

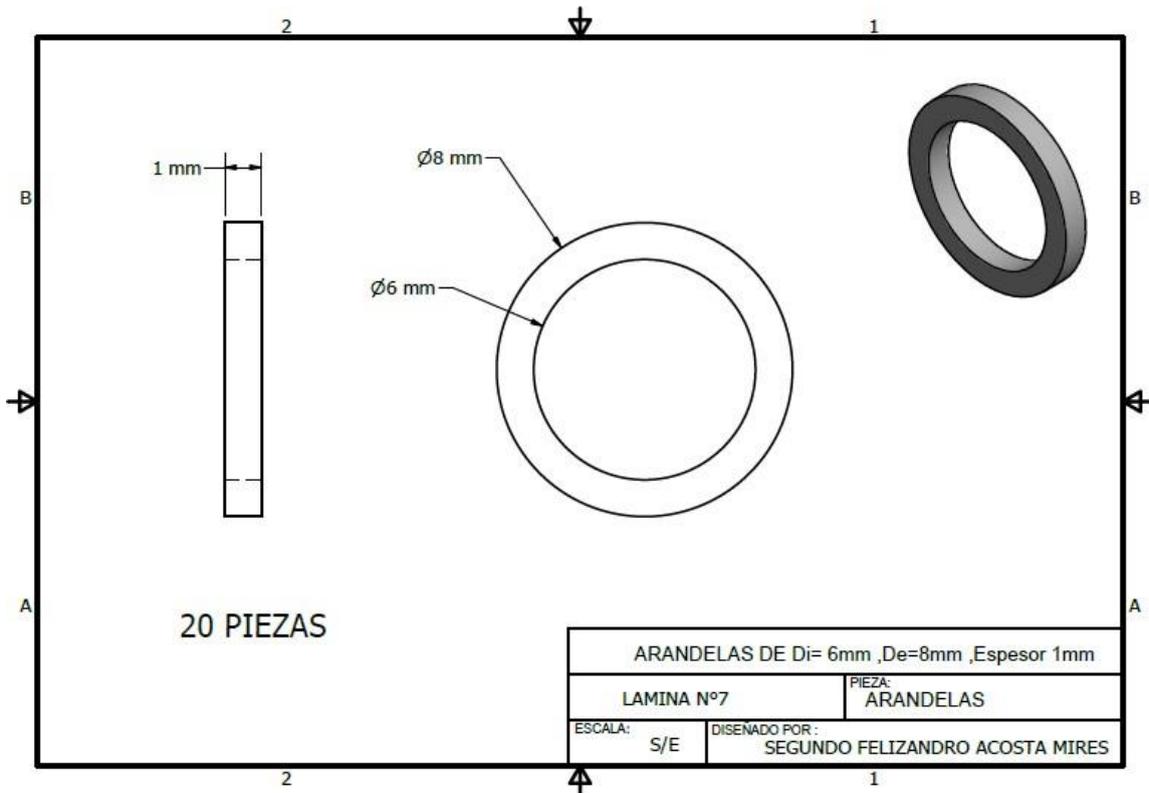
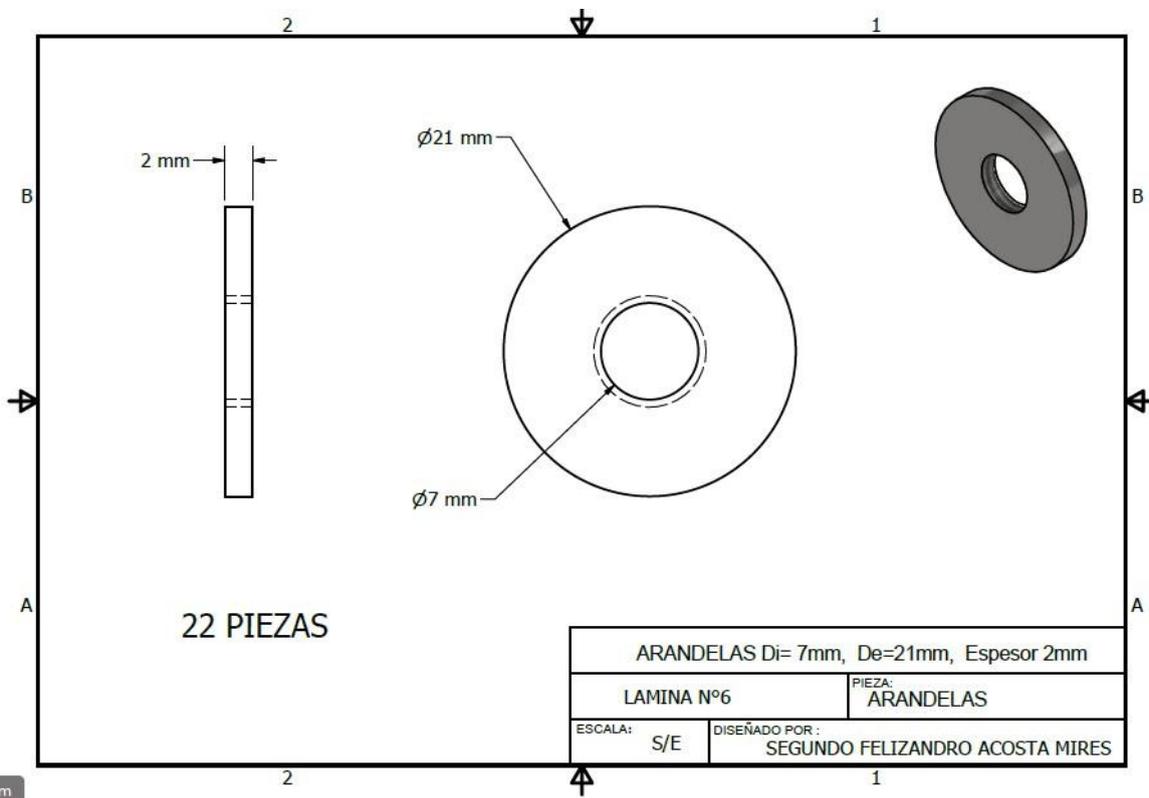
Esta celda es operada con corriente continua para 13 V DC con un amperaje de 15<sup>a</sup>

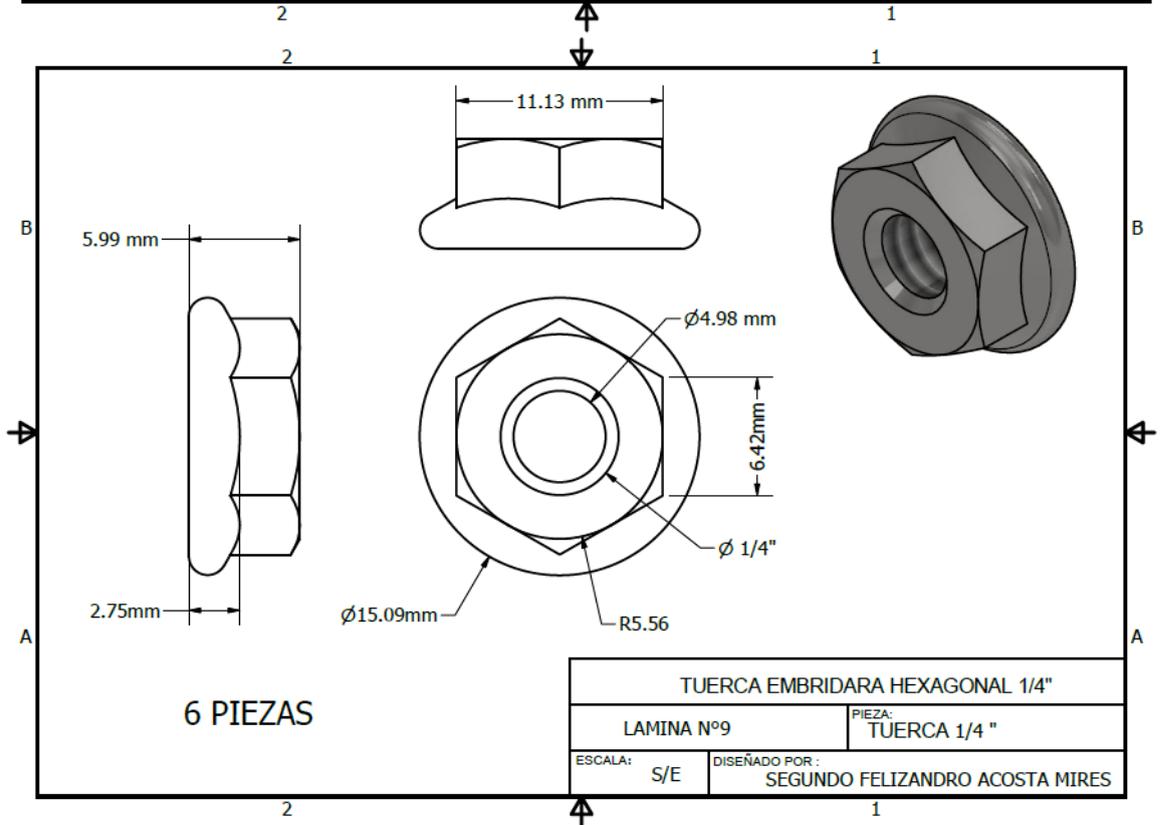
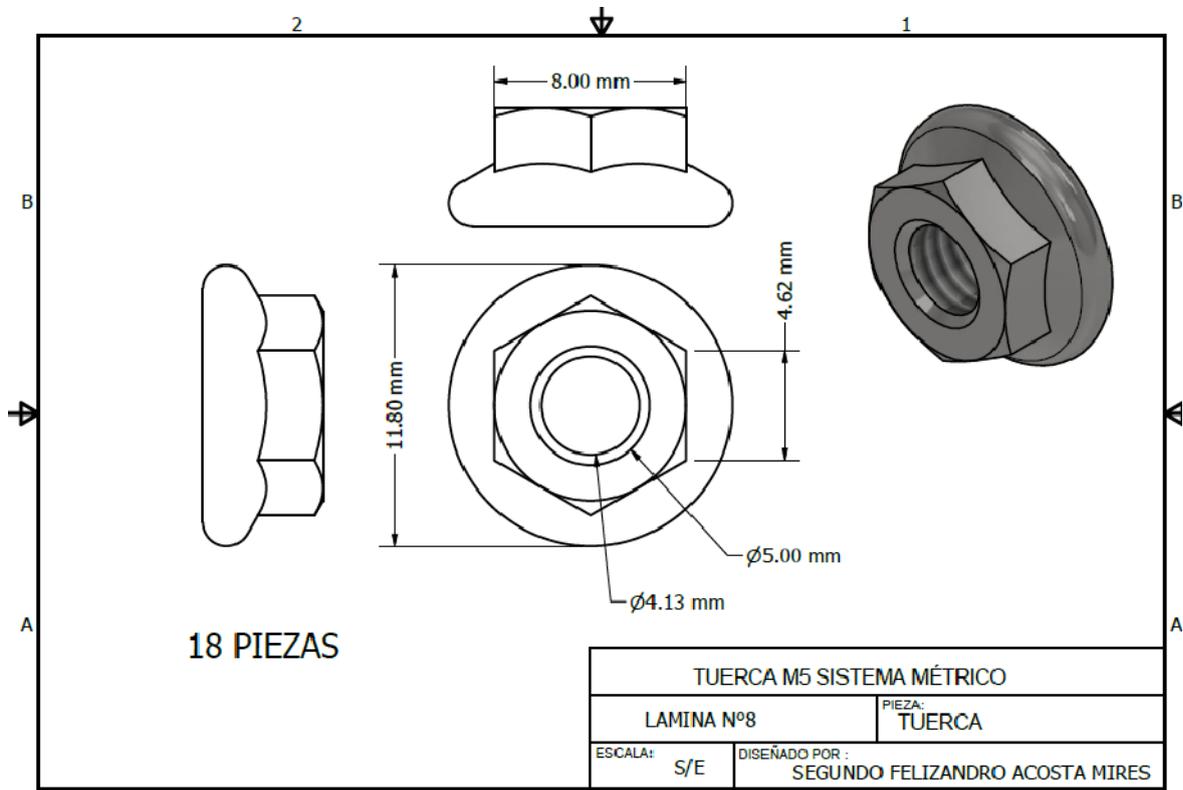
### Diseño de la celda

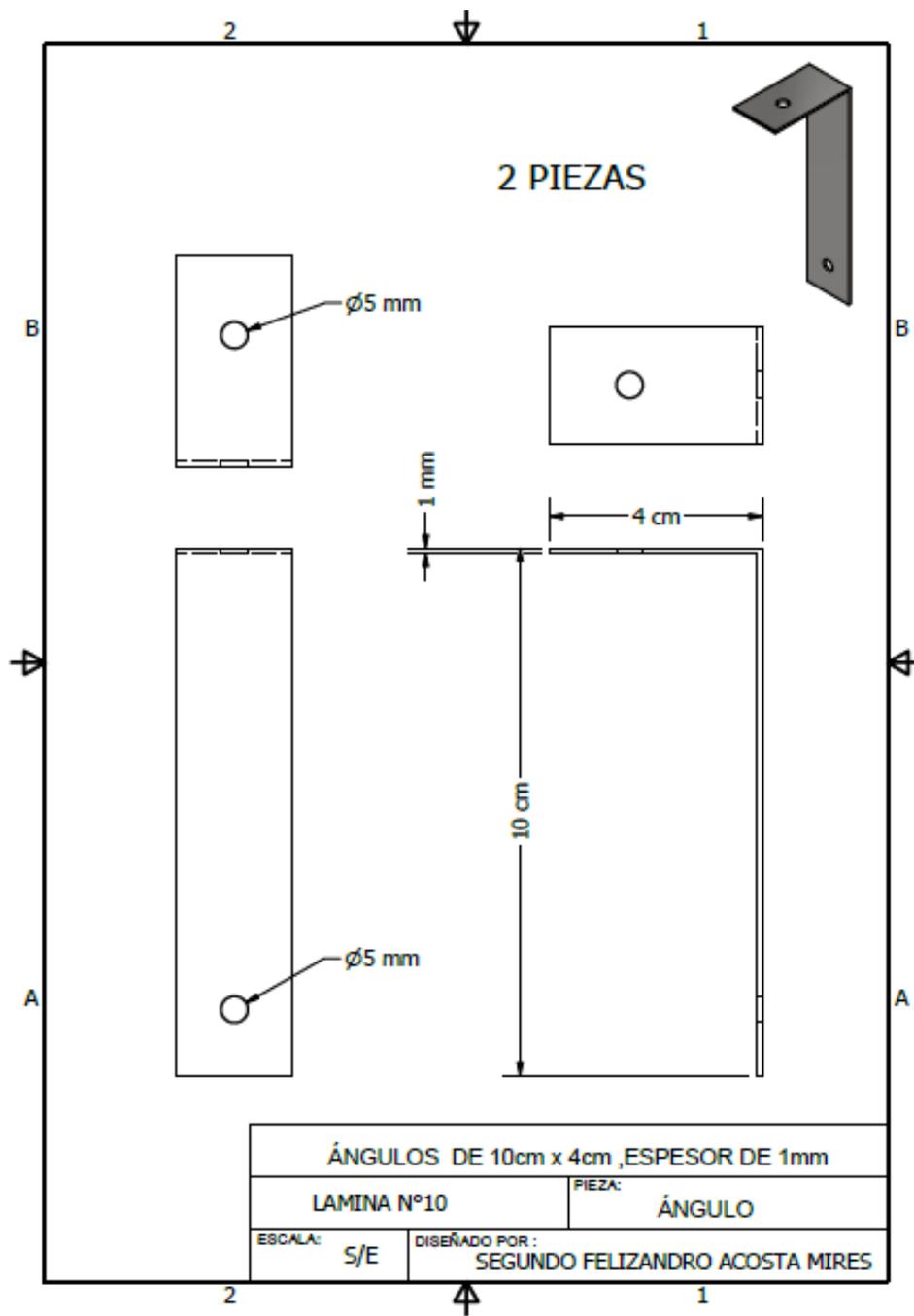












2 1

B

A

BOQUILLAS ROSCADAS

TAPÓN DE CABEZA HEXAGONAL ROSCADA

UNIÓN EN T ROSCADA

1 PIEZA C/U

ACCESORIOS DE PVC	
LAMINA Nº11	PIEZA: PIEZAS DE PVC
ESCALA: S/E	DISEÑADO POR: SEGUNDO FELIZANDRO ACOSTA MIRE

2 1

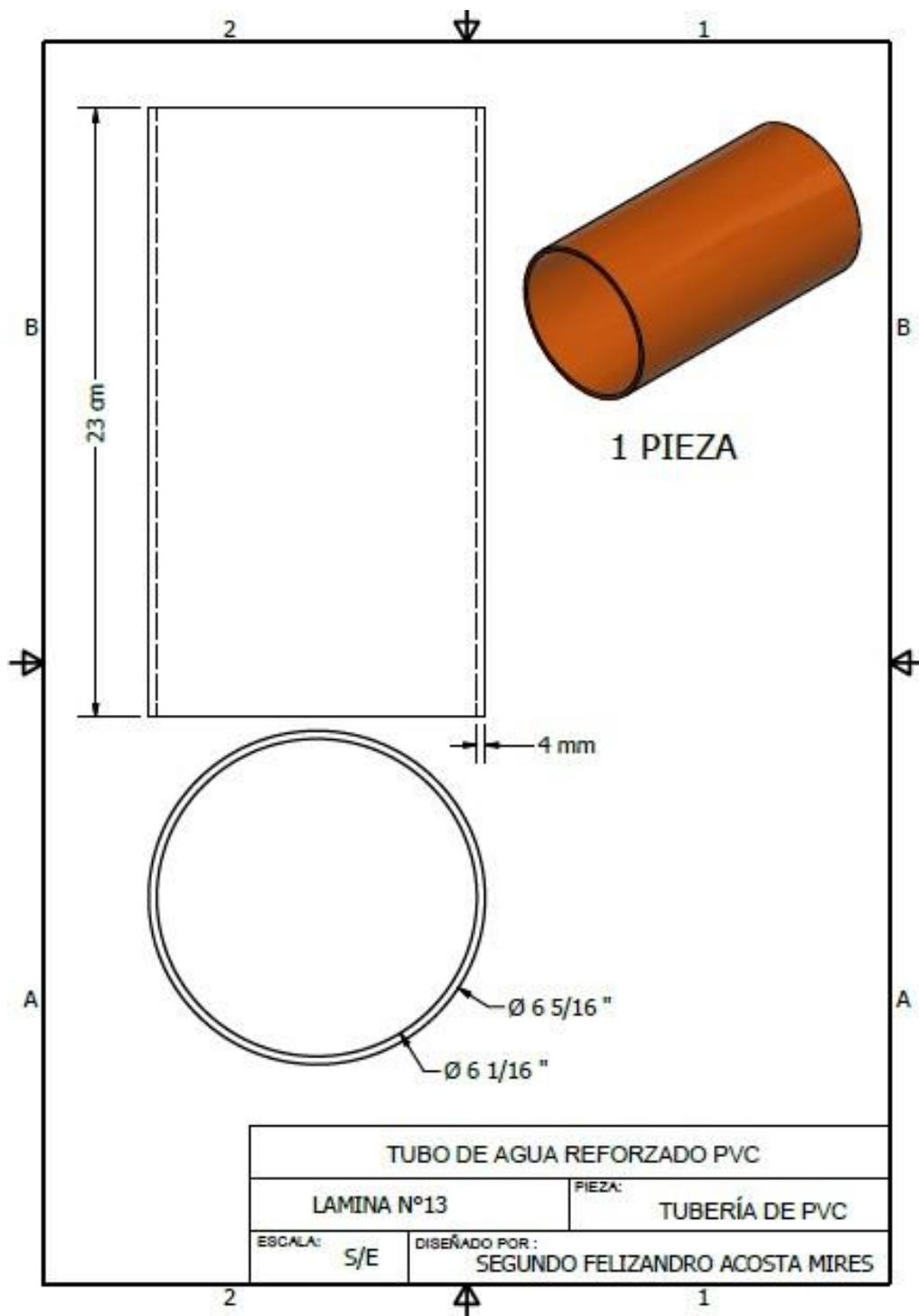
B

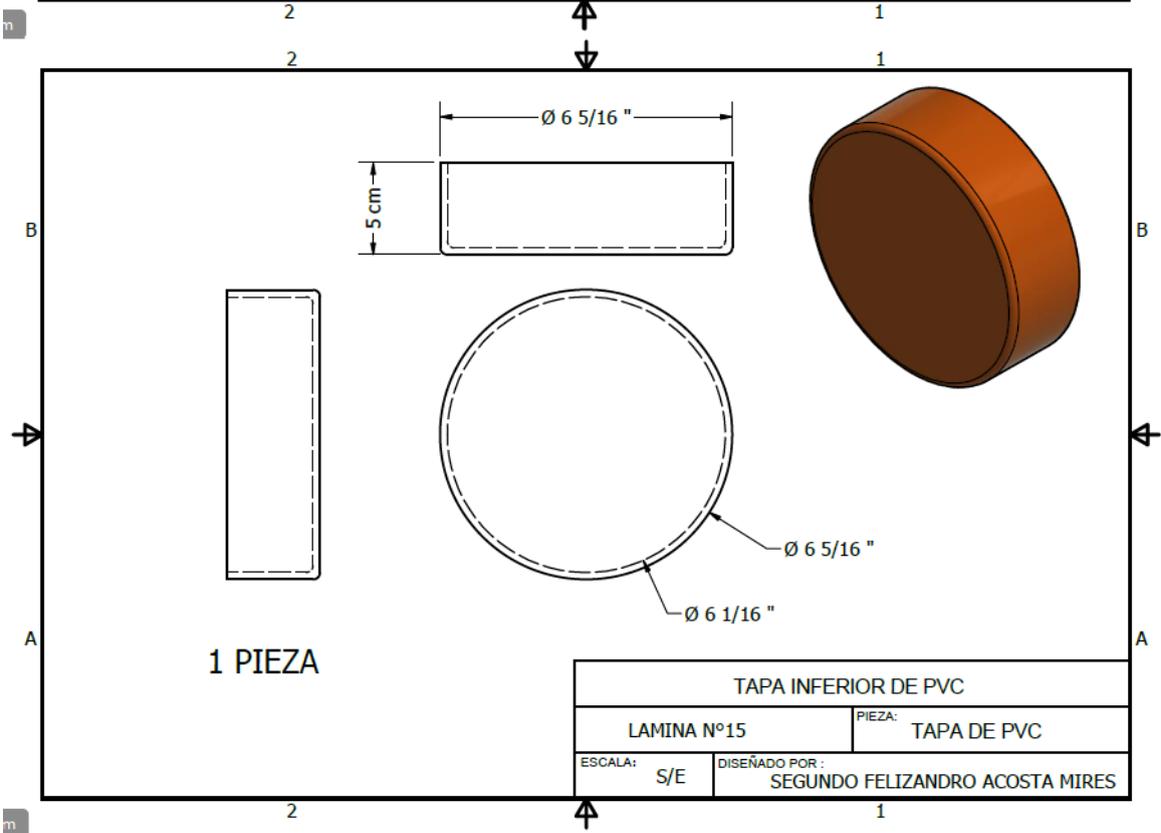
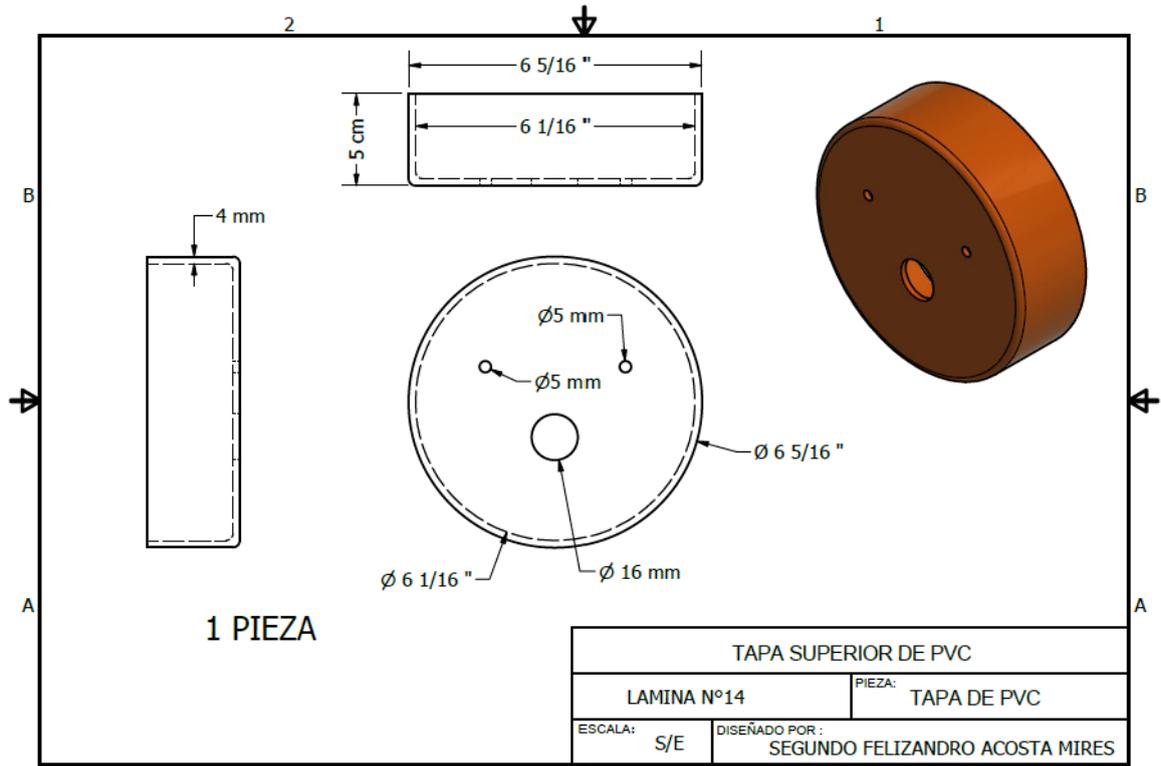
A

PIEZA ENSAMBLADA DE PVC

1 PIEZA

PIEZA DE PVC ENSAMBLADA	
LAMINA Nº12	PIEZA: ENSAMBLE
ESCALA: S/E	DISEÑADO POR: SEGUNDO FELIZANDRO ACOSTA MIRE







**Figura 22.** Generador de hidrogeno

### 3.1.1. Hallando la densidad del hidrogeno

Para hallar la densidad del hidrogeno se realizó en el distrito de Villa el salvador, departamento de Lima:

<b>Altura</b>	<b>Presión atmosférica</b>	<b>Presión barométrica(P)</b>	<b>Temperatura</b>
<b>175 m</b>	0.977 bar = 97.7 KPa	0.989 bar = 98.9 KPa	25°C=298.15 °K

R: Constante de los gases ideales (constante universal)

T: Temperatura en escala absoluta 25°C = 298.15°K

P: Presión barométrica

M: Masa característica del gas (masa molar)

: Densidad

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \dots\dots\dots 01$$

De esta fórmula 1 se obtiene la fórmula 6 con lo que se va a trabajar

$$P \cdot M / R \cdot T = \beta \dots\dots\dots 6$$

Reemplazando los valores:

$$P = 98.9 \text{ kPa}$$

$$M = 1.008 \cdot 2$$

$$M = 2.016 \text{ kg / kmol}$$

$$R = 4.16 \cdot 2$$

$$R = 8.32 \text{ kJ / kg} \cdot ^\circ K$$

$$\beta = (2.016 \times 98.9) / (8.32 \times 298.15) =$$

$$\beta = 0.08 \text{ kg/m}^3$$

### 3.1.2. Volumen específico del hidrogeno:

Hallando el volumen específico del Hidrogeno con la siguiente ecuación.

$$v = 1 / \dots\dots\dots 7$$

Donde:

$v$ : Volumen específico

$\beta$ : Densidad del material

$$v = 1 / 0.08$$

$$v = \mathbf{12.5 \text{ kg/m}^3}$$

### 3.1.3. Hallando el área del electrodo

Descontando los orificios la placa vendría a tener una medida de

15cm x 11cm= 165cm<sup>2</sup>; 2 x 2 = 4 cm<sup>2</sup>;

Área de la placa = 169 cm<sup>2</sup>

4 orificios de 0.8cm de diámetro

Área de los orificios  $A = \pi 0.4^2$ ;  $A = 0.50$  cm<sup>2</sup>.

Reemplazando  $0.50$  cm<sup>2</sup> x 4 = 2.01 cm<sup>2</sup>;

Un orificio de 0.6cm

$A = \pi 0.3^2$   $A = 0.28$  cm<sup>2</sup>;

Total, de orificios = 2.29 cm<sup>2</sup>

Área total de la placa 169 – 2.29

A área total= 166.71 cm<sup>2</sup>

Volumen será 166.71 cm<sup>2</sup> x 1cm = 166.71 cm<sup>3</sup>

Utilizaremos la fórmula 3 Para hallar la densidad de corriente en la superficie de los electrodos.

$$d_c = \frac{I_E}{S_E} = \frac{I_E}{n * S_E} \left[ \frac{A}{m^2} \right] \dots\dots\dots 3$$

$I_E$ : Intensidad que circula a través del electrodo

$S_E$ : Superficie del electrodo

$n$ : Numero de agrupaciones de celdas

$d_c$ : Densidad de corriente

Para que iniciemos debemos tomar en cuenta una densidad de corriente densidad de corriente para una sola placa

$$d_c = 15/0.016671,$$

$$d_c = 900 \text{ A/m}^2$$

$$S_E = 15/900 = 0.017 \text{ m}^2$$

Como resultado nos da una celda de 0.11m x 0.15m

Pero queremos acoplar 7 celdas del mismo tamaño

$$d_c = \frac{I_E}{S_E} = \frac{I_E}{n * S_E} \left[ \frac{A}{m^2} \right]$$

Reemplazamos la formula

$$900 \text{ A/m}^2 = 15A/7x S_E$$

$$S_E = 15 / 900 \times 7$$

$S_E = 0.0166 \text{ m}^2$  entonces tenemos siete celdas con las siguientes medidas 0.11m x 0.151m

el voltaje óptimo para la generación de hidrogeno sera de 6 a 14 voltios como mínimo y así no recalentar el agua.

$$n = \frac{V_T}{V_C} + 1 \dots\dots\dots 4$$

Donde:

$n$ : Número de placas por agrupación

$V_T$ : Voltaje total de la celda

$V_C$ : Voltaje calculado entre electrodos

La batería del vehículo provee de 12 voltios, mientras que al estar encendido el motor, este sube a 14 voltios, usando estos datos, reemplazamos a la ecuación

Al medir el voltaje en el interior de celda a celda se optiene 2.3 v

$$n = (13 / 2.3) + 1$$

$n = 7$  placas

### 3.1.4. Consumo de hho

corregir los errores de diseño arrastrados desde el principio. Se calcula mediante la fórmula siguiente:

para hallar el consumo de HHO utilizaremos la siguiente fórmula de acuerdo al voltaje y amperaje

$$C_l = \frac{W_T}{LPH} = \frac{(V_T * A_T)}{LPH} \left[ \frac{Wh}{l} \right] \dots\dots\dots 2$$

Donde:

$C_l$ : Consumo por litro a la hora de agua

$W_T$ : Potencia total

$V_T$ : Voltaje total

$A_T$ : Amperaje total

$LPH$ : Litros por hora de hidrogeno

Se mido el consumo de agua en una hora y el resultado fue: 0.35 L

0.35 LPH (0.035 Wh/l)

Remplazando en la fórmula:

$$0.035 = \frac{(23V \times 15 A)}{LHP}$$

$$LHP = \frac{295}{0.035}$$

LPH = 1180 L (118 Wh/l)

LPH = 118 Wh/l

se estaria produciendo hidrogeno 118 Wh/l o 1180LHP

### Contenido en energia

$$Q_c = Li. \frac{PM_{combustible}}{22.4} \cdot \frac{F}{F + \frac{PM_{combustible}}{PM_{aire}}} \left[ \frac{Kjul}{l} \right] \dots\dots\dots E. 8$$

QC = poder calorífico de la mezcla que entra en el pistón

( $PM_{\text{Hidrogeno}}$ ) y potencia ofrecida por un motor de gasolina ( $PM_{\text{gasolina}}$ )

Li = PCI poder calorífico inferior y PCS poder calorífico superior

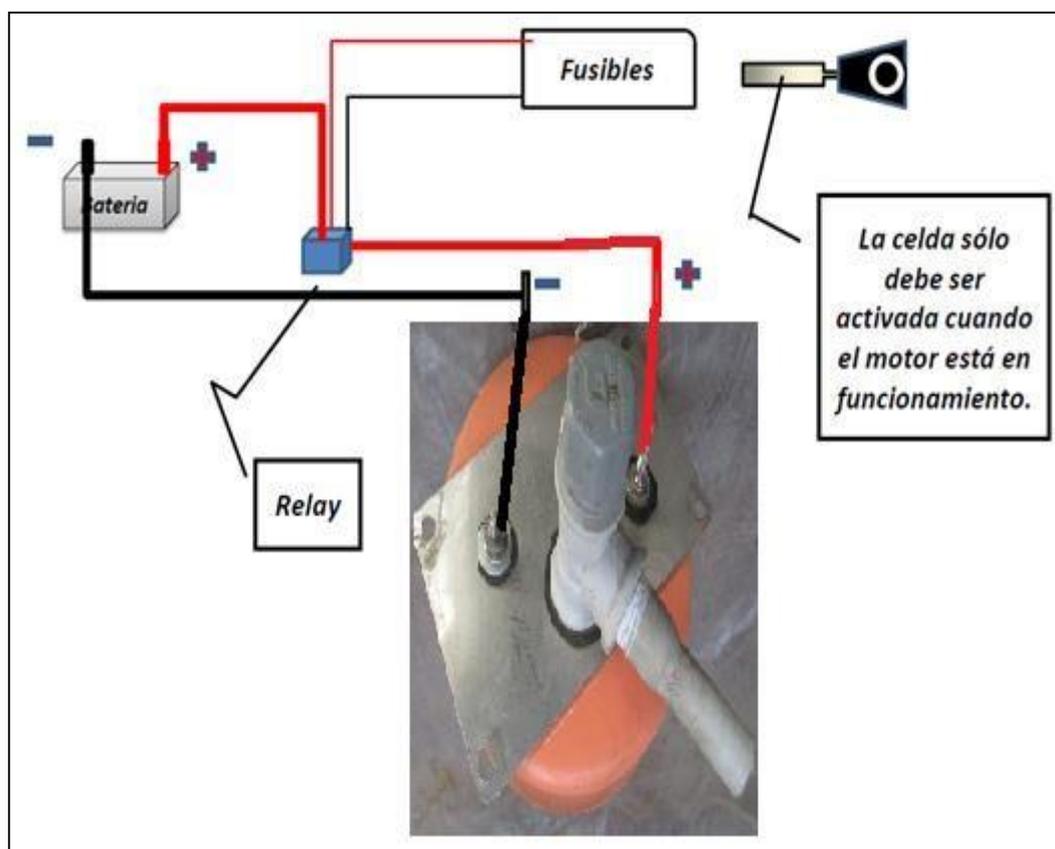
F = fuerza

Reemplazando:

<b>Gasolina</b>	<b>Hidrogeno</b>
<b>Li = de 40 MJ/kg</b>	Li = 100 MJ/kg
<b>F = 1N</b>	F = 1N
<b>PM gasolina = 114 g/mol</b>	PM Hidrogeno = 1 g/mol
<b>PM aire = 28,9 G/MOL</b>	PM aire = 28,9 G/MOL
<b>QC = 44 kJ/kg</b>	QC = 7,6 kJ/kg

A través de estos cálculos se demuestra que la potencia que realiza un motor a gasolina es mayor que cuando el mismo motor trabaja con hidrogeno. Siempre y cuando la relación en peso entre combustible y aire sea la misma para los dos casos

## Esquema electrico



**Figura 23.** Esquema electrico

NOMBRE	CANTIDAD	ELEMENTO
Tapas de ajuste, Placas de acero de calidad 316 Espesor de 1mm 17cmx11cm	2	
tubo de agua reforzado de PVC Largo: 23 Espesor: 4 mm D: 16cm d: 15.6	1	
Tapas Largo: 5 cm Espesor: 4 mm D: 16.8cm d: 16cm	2	
Electrodo positivo 17cm x 11cm Espesor: 1mm	3	
Electrodo Negativo 17cm x 11cm Espesor: 1mm	4	
Arandela de neopreno	52	
PERNOS 29 cm X ¼"	4	
PERNOS 8 cm de largo M5	8	

Manguera de caucho 20cm	1	
Arandelas de Di= 7mm De=21mm Espesor 2mm	22	
Arandelas de Di= 6mm De=8mm Espesor 1mm	20	
Tuercas: M5	18	
Tuerca ¼"	6	
Acoples	1	
Manguera de plástico	40cm de largo	
Ángulos de 10cm x 4cm Espesor de 1mm	2	
Broca para acero 8 mm o 5/16"	1	

**Figura 24.** Elementos del generador de hidrogeno

### 3.2.-Resultados

Agregando 3 litros de agua



**Figura 25.** Generador de hidrogeno

- Es importante remarcar que esta celda funciona con un 20% de eficiencia.
- Es una de las menos sofisticadas en su diseño y de armado sencillo.
- No requiere de electrónica; se conecta directamente a una fuente de 12V DC ya sea una batería o una fuente rectificadora.
- Utiliza 7 placas, tres positivas y cuatro negativas.
- Las placas están conectadas alternadamente positivo y negativo
- La separación entre, placas después de muchas pruebas se determinó en 3mm
- El tamaño y el espesor y la separación entre placa influyen en el funcionamiento de la celda, así como la calidad del material en este caso es acero inoxidable antimagnético de calidad 316, de 1mm de espesor.
- El tamaño de las placas es de 11 centímetros de ancho x 15 centímetros de largo. Estas medidas están relacionadas con la cantidad de energía por  $\text{cm}^2$  a utilizarse, así como el espesor y la calidad del material para mayor eficiencia.
- Se puede reducir el tamaño de estas placas, pero no aumentarlas. Si se aumenta el tamaño hay que aumentar el voltaje de entrada.
- Si se reduce el tamaño la temperatura de las placas se eleva y al reducir superficie se reduce la producción de gas.
- Para lograr producciones más altas con menos consumo energético con el fin de hacer funcionar un motor de combustión para automóvil, sólo con HHO como combustible, se requiere colocar 15 placas; pero es un sistema más sofisticado y más costoso ya que necesitaría más corriente y recalentaría demasiado el sistema.
- En un motor que esté en buenas condiciones mecánicas y eléctricas.
- El mal funcionamiento y ajuste del carburador o el mal funcionamiento de sensores de oxígeno y MAP sensores crean consumos innecesarios en motores más allá de las especificaciones de fábrica.

- El uso de HHO no puede regular esos desperfectos mecánicos.



**Figura 26.** Instalación en el vehículo



**Figura 27.** Pruebas realizadas con el vehículo funcionando con gasolina e hidrogeno

### Consumo de gasolina

Se recorrió 100 kilómetros a una velocidad de 90 km/h y se consiguió un Consumo de 5.9 litros de combustible –gasolina de 95 octanos

### Medición de los gases por el escape

En el taller de mecánica automotriz del CFT PROMAE se realizaron las pruebas de los gases que salen por el tubo de escape y se obtuvo el siguiente resultado: Monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos (HC) y Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

<b>Temperatura</b>	<b>CO ralentí</b>	<b>0.00</b>	<b>CO aceite (%)</b>	<b>0.00</b>
<b>79°c</b>				
<b>Rpm 2415</b>	CO <sub>2</sub> ralentí %	.2	CO <sub>2</sub> aceite	0.00
<b>Opacidad</b>	HC ralentí (ppm)	0.00	HC aceite (ppm)	1.00

### Vida útil del aceite con el sistema propuesto

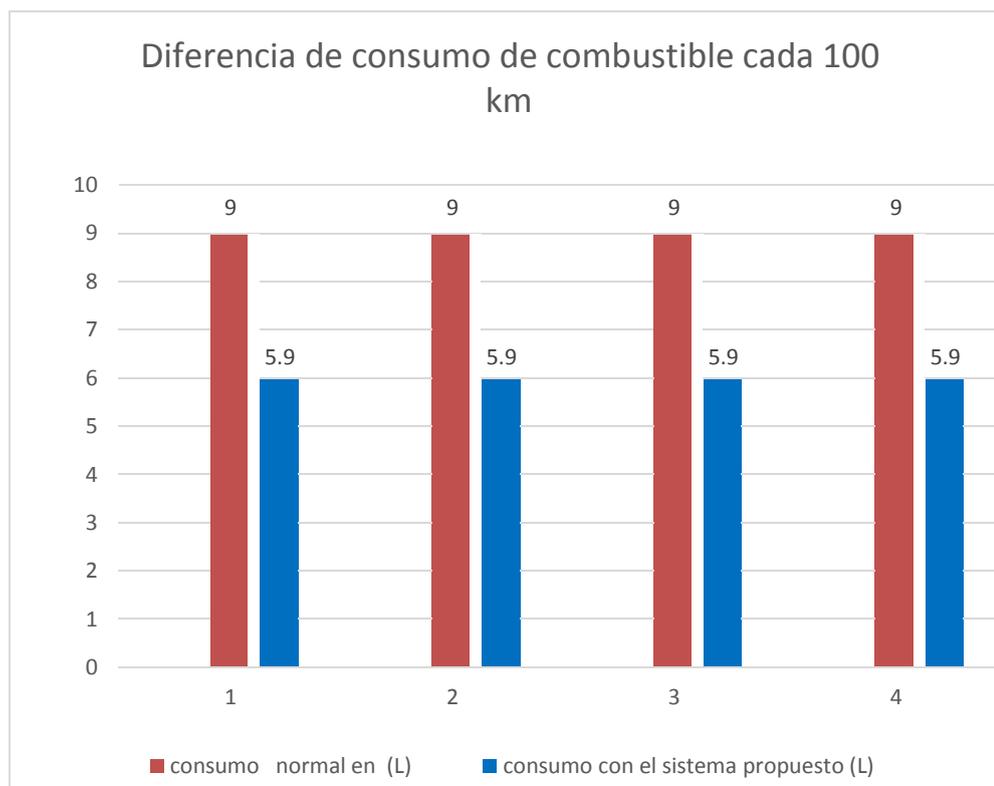
El lugar donde funciona el vehículo es villa Salvador- Lima

Y el aceite que se utilizo es marca Willians SAE 10W40 API SN

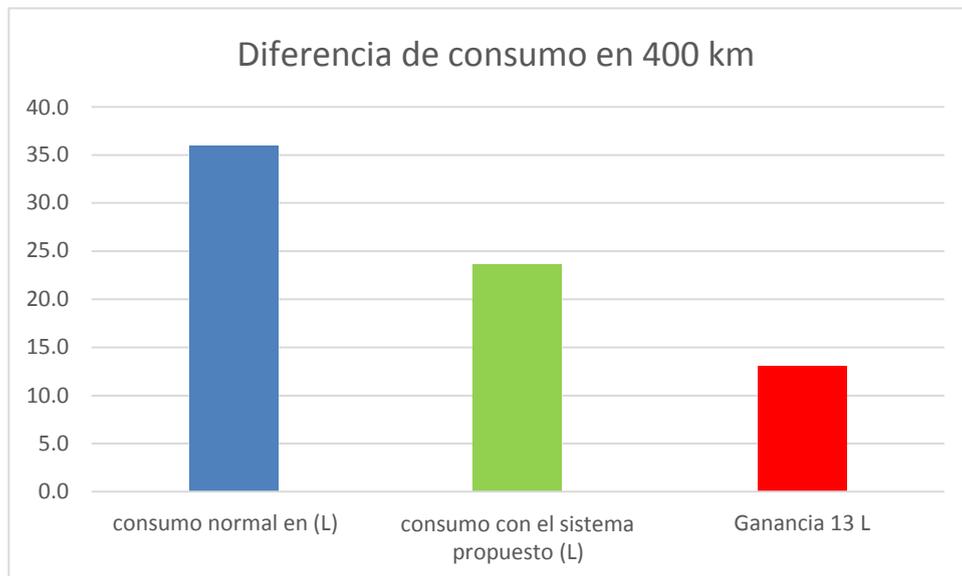


**Figura 28.** Aceite marca Willians

Después de 6 000km se realizó el cambio de aceite, saliendo el aceite limpio Con viscosidad, por lo que podría seguir funcionando, pero por la premura del tiempo es que no se pudo seguir experimentando



**Figura 29.** Comparación de costos de ahorro de combustible

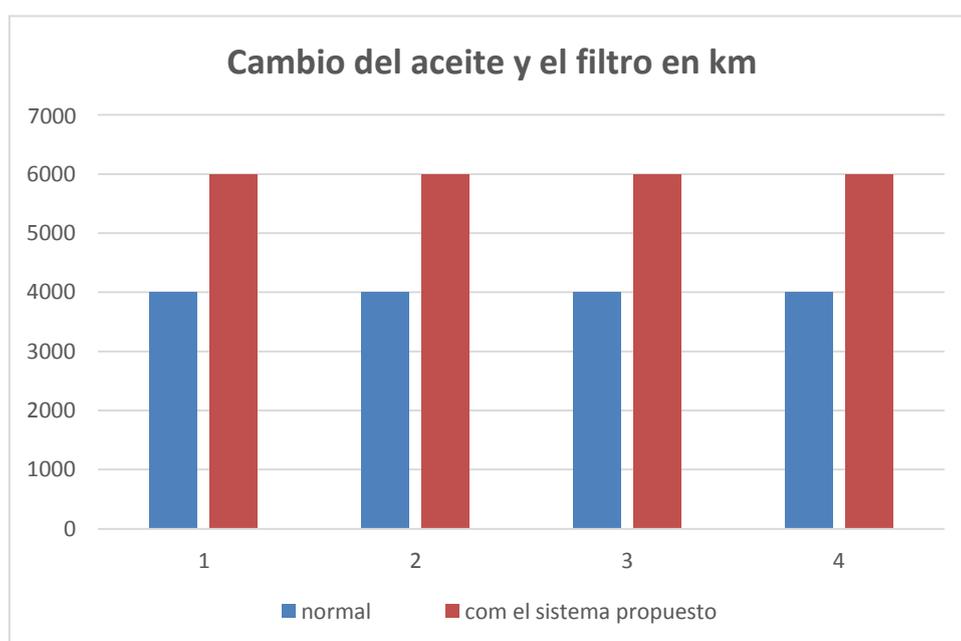


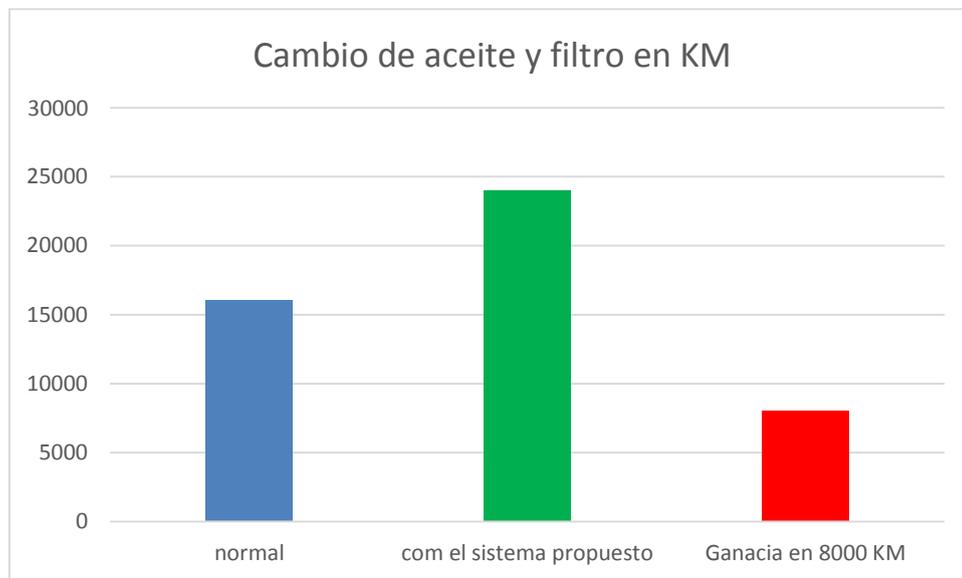
**Figura 30.** Diferencia de consumo

Lectura de los cuadros; se evidencia un ahorro de 13 litros de gasolina por 400 km.

Lo que equivaldría en soles de 45 soles de ahorro

### Comparación de costos de mantenimiento



**Figura 31.** Cambio del aceite y filtro**Figura 32.** Cambio de aceite y filtro en KM

**Lectura;** se evidencia una ganancia de 8000 km, convirtiéndolo en cambios de aceite tendríamos un cambio de aceite más  $\frac{1}{4}$  de aceite

## Conclusiones

Es un producto innovador, realmente ahorrador y ecológico que contribuye a incrementar el ahorro y mejorar enormemente la calidad del aire del medio ambiente ya que, tras su instalación, el motor expulsará mayormente vapor de agua a la atmósfera. Se trata de un producto asequible al alcance de todos

Las placas están separadas por arandela de neopreno de un milímetro de espesor, de dos centímetros de diámetro exterior y ocho milímetros de diámetro interior y tienen una separación de 3 mm.

En los experimentos realizados al probar las celdas electrolíticas se a observar que cuando tenía una separación de 1 mm producía mayor hidrogeno: pero consumía mucha corriente en un rango de 45 Amperios. Con 2mm de separación la producción era buena, pero consumía 30 Amperios de corriente, con 3mm de separación consumía 15 Amperio y la producción era buena y finalmente con 4mm de separación consumía 10 Amperios, pero la producción disminuía; entonces la separación de los electrolitos tenía relación con el consumo de corriente

Se debe ajustar el tiempo de encendido. Se debe retrasar porque el HHO reacciona 10 veces más rápido a la chispa de las bujías que la gasolina.

En el siguiente trabajo se logró: un bajo consumo de combustible hasta en 35% en motor a gasolina con sistema de alimentación por carburador, se logró reducir los gases contaminantes como Monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos (HC) y Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

En cuanto al mantenimiento se logró prolongar el cambio de aceite dos mil kilómetros más y por lo tanto el cambio de filtro de aceite, por lo demás el mantenimiento de los demás componentes no vario con respecto a las especificaciones técnicas del fabricante. Pero si se evidencio que el hidrógeno limpia la carbonilla y los residuos internos, rejuveneciendo y alargando la vida del motor.

## Recomendaciones

No es dañino para el motor ya que únicamente agrega al motor de combustión un flujo constante de hidrógeno monoatómico HHO.

Se instala como un accesorio, no requiere modificar, cambiar o rectificar ningún elemento del motor por lo que el vehículo debe mantener la garantía oficial de la casa.

No obstante, hay casos en los que la centralita electrónica puede detectar a través de los sensores una variación en la mezcla de gases e inyectar más combustible produciendo un efecto negativo en el ahorro. En ese caso existen diversas soluciones para conseguir el ahorro deseado, una de ellas es resetear la centralita del vehículo desconectando el cable de la batería durante una noche entera. Otra opción es instalar un CHIP programado para HHO que controle la centralita

Este proyecto es aplicable a vehículos que trabajan a gasolina o a gas GLP y gas GNV, es más sencillo y barato colocar a un motor que tiene carburador que a un motor inyectado ya que se requiere en algunos casos CHIP programado para HHO que controle la centralita.

En motores petroleros no se llegó a experimentar, pero hay referencias que puede trabajar en motores de combustión indirecta, pero en motores de combustión directa se requiere inyectar a presión en la misma cámara el hidrogeno lo que le hace más costoso.

En cuanto a los motores de dos tiempos, su utilización con hidrogeno no es posible debido a que no dispone de válvulas y, al utilizarlo con gas, este se expandiría ocupando la cámara de combustión y también la zona situada por debajo del pistón donde se encuentren los gases de escape esperando a ser evacuados. Al iniciarse la combustión, y debido a la alta velocidad de la llama de hidrogeno, la mezcla detonaría por ambos lados del pistón, estropeando así el motor

## Bibliografía

- Autodata Limited . (2013).
- Familiar, C. (2011). *Inyección de hidrógeno como potencial mejo de los motores actuales*. Barcelona, España.
- Fernández, C. (2005, Enero 28). *gooole*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3823/>:  
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3823/fichero/4.2+Normativa.pdf>
- Gamez, D. (2010, 12 17). *El Hidro y sus aplicaciones Energeticas*. Barcelona, España: Instituto la Ferreteria (Montcada (reixac)).
- GTZ. (s.f.). *Tecnología del automovil*. segunda edición tomo 2.
- Gutierrez, I. (2005). *El hidrogeno combustible del futuro*, pg. 49. V Programa de Promoción de la Cultura Ciencia Y Tecnología el Hidrogeno combustible del Futuro. Madrid, España: Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales C/ Valverde, 22.28004.
- Linares, J. & Moratilla, B. (2006). *Análisis de situación y prospectiva de nuevas tecnologías energéticas El hidrógeno y la energía*. [www.icaei.esa](http://www.icaei.esa). Madrid, España: Editan Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI Reina, 33.28004.
- Montagne, R. (2016). *Diseño de un generador de hidrogeno como combustible para los motores de combustión de ciclo otto en la region Puno-2015*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Escuela profesional de ingenieria Mecanica eléctrica.
- Oliveros, J, Rondón, N., Torres, O., Niño, E., Monterrosa , E., & Romero, J. (2012). *Miller- Manual de reparaciones de automoviles*. En J. Romero, *combustibles Alternos* (pág. 1052). Barcelona- España: 9789962040668, ISBN.
- Paredes, D. (2016, setiembre). *Diseño, construcción y pruebas de una celda de hidrógeno para el vehículo Honda Civic 1977 cc*. Quito, Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz.

Sarmiento, A. F. (2014). *Generación Elestrica a partir de la operación de un motor de combustión interna en modo dual con gas licuado de petróleo e hidrogeno*. Tesis o trabajo de investigación, presentado para obter el titulo de Magister en Ingenieria Mecánica. Bogota, Colombia: Universisdad Nacional de Colombia, Facultad de Ingenieria, Departamento de Ingenieria Mecánica y Mecatronica.

Sainz Casas, D. (2014, noviembre). *Adaptación de un motor de combustión interna alternativo de gasolina para su funcionamiento con hidrogeno como combustible*. españa: universidad publica de Navarra, Departamento de Ingenieria Mecanica, energetica y de materiales

Voswagen. (2010). <https://www.google.com.pe>. Obtenido de <https://es.scribd.com/>: <https://es.scribd.com/doc/28124509/Fundamentos-de-Motores-Voswagen>

wikipedia. (2019, enero 29).

<https://www.google.com.pe/search?q=Reacción+química&rlz>. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:ElectronPdf&page=Reacci%C3%B3n+qu%C3%ADmica&action=show-download-screen>

**Anexos**

Lugar de ejecución

El presente proyecto se desarrolló en el Centro de Formación Técnica PROMAE VES.

Dirección: Av. 697 1., Bolívar, Villa EL Salvador

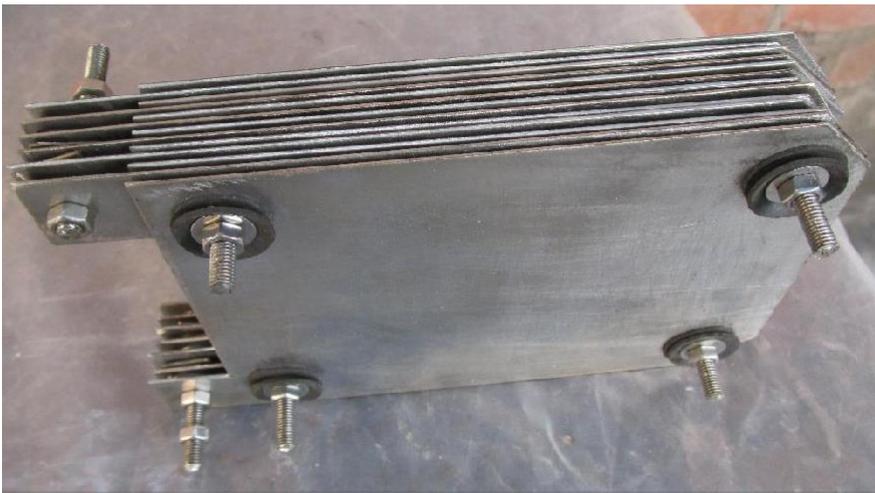
Teléfono: (01) 287025}

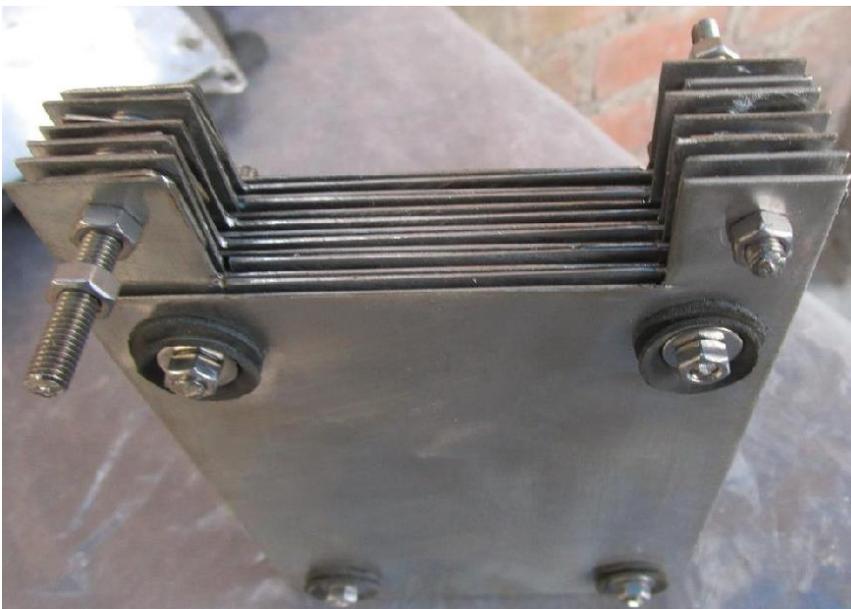


Cronograma de trabajo de suficiencia profesional (04 de febrero al 04 de abril 2019)								
Proyecto: "diseño de un generador de hidrogeno para usar como aditivo de la gasolina con la finalidad de mejorar el rendimiento de un motor de combustión interna de 1468 cc - Promae Ves - Lima"								
Bachiller: Segundo Felizandro Acosta Mires	Febrero				Marzo			
Actividades a desarrollar	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem5	Sem6	Sem8	Sem9
Capítulo i:								
Planteamiento del problema								
1.1. Descripción de la Realidad Problemática								
1.2. Justificación del Problema								
1.3. Delimitación del Proyecto								
1.3.1.-Teórica								
1.3.2.-Temporal								
1.3.3.-Espacial								
1.4. Formulación del Problema								
1.4.1 Problema General								
1.4.2.-Problemas específicos								
1.5. Objetivos								
1.5.1.Objetivo General								
Capítulo II:								
Marco teórico								
2.1 Antecedentes								
2.2 Bases Teóricas								
2.3 Definición de términos básicos								
Capítulo III:								
Desarrollo del trabajo de suficiencia profesional								
3.1.-Modelo de solución propuesto								
3.2.-Resultados								
Conclusiones								
Recomendaciones								
Bibliografía								
Anexos								











**JARDEL PERU SAC**  
CENTRO DE INSPECCION TÉCNICA VEHICULAR  
Autorizado con R.D. N° 2906-2018-MTC/15, RUC 20566481783

**CERTIFICADO DE INSPECCION TECNICA VEHICULAR**  
N° : C-2019-066-259-000853

Tipo de inspección		ORDINARIA		Fecha de Inspección		24/04/2019		Informe de Inspección N°		0000001724-V1	
--------------------	--	-----------	--	---------------------	--	------------	--	--------------------------	--	---------------	--

**I. CARACTERISTICAS DEL VEHICULO**

1. Placa	A7F679	7. Combustible	GASOL/CLP	13. Asientos / Pasajeros	3 / 4
2. Categoría	M1	8. VIN/N° de serie	CB2V07D1307	14. Largo / Ancho / Alto	4.27 / 1.68 / 1.43
3. Marca	MITSUBISHI	9. N° de motor	4G15BB1822	15. Color(es)	BLANCO
4. Modelo	LIBERO	10. Carrocería	STATION WAGON	16. Peso neto (Kg.)	1090
5. Año de fab.	2000	11. Marca Carrocería	MITSUBISHI	17. Peso bruto (Kg.)	1680
6. Kilometraje	519808	12. N° ejes/n° ruedas	2/4	18. Peso útil (Kg.)	550

**II. DATOS DE LOS EQUIPOS**

CITV	JARDEL PERU SAC	Frenómetro	Alineador	Analizador u Opacímetro	Regiscopio Luxómetro	Banco de Suspensión
Línea	MIXTA	Equipo N° 1807084	Equipo N° 1807086	Equipo N° -FLB-100	Equipo N° -MQD-3C	Equipo N° 1807085

**III. RESULTADOS OBTENIDOS**

PRUEBA DE FRENSOS																		
FRENO DE SERVICIO						FRENO DE ESTACIONAMIENTO						FRENO DE EMERGENCIA						
Ejes	Peso (Kg)	Fuerza de frenado (KN)		Desequil. librio %	Eficiencia %	Resultado	Ejes	Peso (Kg)	Fuerza de frenado (KN)		Eficiencia %	Resultado	Ejes	Peso (Kg)	Fuerza de frenado (KN)		Eficiencia %	Resultado
		Der.	Izq.						Der.	Izq.					Der.	Izq.		
1ª	677.00	2.15	2.10	2.33	63.71	APROBADO	1ª	677.00	0.00	0.00	64.04	APROBADO	1ª	677.00	0.00	0.00		
2ª	503.00	1.54	1.55	3.14			2ª	503.00	1.57	1.59			2ª	503.00	0.00	0.00		
3ª	0.00	0.00	0.00	0.00			3ª	0.00	0.00	0.00			3ª	0.00	0.00	0.00		
4ª	0.00	0.00	0.00	0.00			4ª	0.00	0.00	0.00			4ª	0.00	0.00	0.00		
5ª	0.00	0.00	0.00	0.00			5ª	0.00	0.00	0.00			5ª	0.00	0.00	0.00		

PRUEBA DE ALINEAMIENTO			PRUF DE NEUMATICOS			PRUEBA DE LUCES				PRUEBA DE SUSPENSION				
Ejes	Desviación (m/Km)	Resultado	Ejes	Medida Obtenida	Resultado (2)	Tipo de Luz	Medida Obtenida (Lux o C)		Alineamiento	Resultado	Delantera (%)		Posterior (%)	
							Der.	Izq.			Der.	Izq.	Der.	Izq.
1ª	0.80	APROBADO	1ª	4.00	APROBADO	Bajas	8.00	8.00	OK	APROBADO	Izq.	67.00	Izq.	68.00
2ª	0.80	APROBADO	2ª	3.00	APROBADO	Altas	15.00	15.00	OK	APROBADO	Der.	64.00	Der.	65.00
3ª	0.00		3ª	0.00		Alta Adicional	---	---			Desv.	3.00	Desv.	3.00
4ª	0.00		4ª	0.00		Nebuleros	---	---			Resultado	APRO	Resultado	APRO
5ª	0.00		5ª	0.00		(1) Indicar la desviación del haz de luz a la IZQ. / DER. / INF. / SUP.				Resultado Final	APROBADO			

EMISIONES DE GASES		CO Ralent (%)		CO + CO2 Ralent (%)		HC Ralent (ppm)	
1ª Aceite (°C)	79	0.07	0.04	12.46	12.39	0.00	81.00
RPM	2415						
Opacidad (m. /)	---						

EMISIONES SONORAS		Sonometro (dB)	
		59.00	APROBADO

**IV. DEFECTOS ENCONTRADOS**

CODIGO	INTERPRETACION DE DEFECTOS	CLASIFICACION
F 4.2	FUGAS DE ACEITE DE MOTOR	LEVE
M 1.1	BATERIA SUELTA (SIN SISTEMA DE FIJACION AL VEHICULO)	LEVE
N 3.15	REFLECTORES DETERIORADOS	LEVE

OBSERVACIONES:  
NOTA: Las observaciones efectuadas deben ser subsanadas antes de la siguiente inspección Técnica Vehicular.

**V. RESULTADO DE LA INSPECCION TECNICA VEHICULAR.**

Resultado de la Inspección	Vigencia del certificado	Fecha de la próxima inspección	Firma del Ingeniero Supervisor
<b>APROBADO</b>	Un (01) año	24/04/2020	

*Jorge Cumpa Morales*  
**JORGE CUMPA MORALES**  
CIP - 200248  
INGENIERO MECANICO  
CITV JARDEL PERU SAC

CI-226- 000001695

Mz. A, Lote 1 Tercer Sector Grupo Residencial 2 (Av. Bolívar y Central), Villa El Salvador - Lima