



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

“IMPLEMENTACIÓN DE CELDA ELECTROLÍTICA DE OXIHIDROGENO  
PARA SU APLICACIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA”

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERIO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

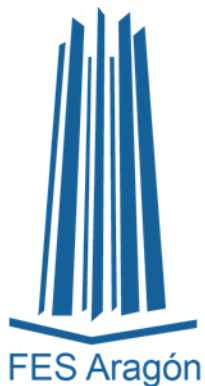
PRESENTA

ANGEL YERED LOPEZ RIVAS

ASESOR

FERNANDO XAVIER VÁZQUEZ MARTÍNEZ

Cd. Mx., Mayo, 2022





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a la Facultad de Estudios Superiores Aragón por haberme brindado tantas oportunidades, experiencias y en especial por haberme dado la oportunidad de conocer personas maravillosas que hacen que mi vida este llena hasta el borde.

A mi madre y hermanos gracias por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias porque cada día me demuestra lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser; gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis. Gracias por creer en mí y gracias a Dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

Al director de mi facultad el Maestro Fernando Macedo Chagolla por sus sabios consejos y el conocimiento, así como las facilidades para lograr terminar mi investigación, por creer en mí, y por todas las oportunidades que me ha brindado, gracias a eso puedo dar un poco de lo que esta universidad me ha dado a manos llenas.

De igual manera a mi asesor el Ing. Fernando Xavier Vázquez Martínez, quiero de manera especial agradecer por creer y confiar en mí, así como sus valiosas enseñanzas de vida es alguien muy importante para mí y para mi desarrollo tanto personal como profesional, estaré eternamente agradecido con todo lo que me ha brindado, ha sido una enorme luz que ha guiado mi vida.

A la jefa del laboratorio “I3 eléctrica electrónica” la Ing. Karina Martínez Romero, por su apoyo incondicional en cualquier aspecto de mi vida, por su cariño y sus valiosos consejos que me han hecho crecer como persona sin duda una de las personas más valiosas y especiales de mi vida.

A la jefa del laboratorio “L1 Diseño y Manufactura” la Ing. Daniela Contreras Velazco por darme el espacio, así como de su tiempo, sus conocimientos y las herramientas necesarias para el desarrollo de mi trabajo.

Al Ing. Daviel Beltrán Gamero por haberme guiado y resuelto muchas de mis dudas para lograr la conclusión de mi trabajo, también por el espacio el laboratorio “L2 térmica y fluidos”, así como de todo el material necesario para realizar las pruebas de mi investigación, gracias por todos sus consejos y lecciones de vida que me dio fueron parte fundamental de mi desarrollo personal.

Al Ing. José Luis Ramírez Cruz por haberme brindado de su tiempo y de sus conocimientos para poder utilizar muchas de las herramientas que necesite para culminar mi trabajo es una persona que admiro mucho y un referente para orientar mi vida.

Al Ing. Gustavo Ruiz Cerezo por su ayuda incondicional, en especial por todas las muestras de cariño y por todo el conocimiento que me guio para poder realizar este trabajo.

**TÍTULO: IMPLEMENTACIÓN DE CELDA ELECTROLÍTICA DE OXIHIDROGENO PARA SU APLICACIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**

**TABLA DE CONTENIDO**

Introducción. ....	10
Planteamiento del problema. ....	11
Justificación.....	12
Objetivo general. ....	13
Objetivos particulares.....	13
Antecedentes. ....	14
Capítulo 1. Electrólisis del agua.....	15
1.1. Electrólisis.....	15
1.2. Leyes de Faraday. ....	15
1.3. La Cuba Electrolítica. ....	17
1.4. Algunos tipos de aplicaciones.....	18
1.5. Electrólisis del agua. ....	19

1.6. Generadores de Oxihidrógeno. ....	21
1.6.1. Celda húmeda.....	21
1.6.2. Celda seca. ....	22
1.7. Descripción de los componentes del generador de hidrógeno de celda seca.....	22
1.8. Elementos que ayudan a potencializar la obtención de oxihidrógeno por electrólisis.....	24
1.8.1. PWM (pulse-width-modulator) modulador de la anchura de pulso.....	24
.....	24
1.9. Electrolito.....	25
1.10. Conductividad en función de la concentración molar.....	28
Capítulo 2. El motor de combustión interna. ....	31
2.1 Partes de un motor a gasolina. ....	32
2.1.1. La culata.....	33
2.1.2. El bloque. ....	34
2.1.3. El cárter. ....	35
2.2. Componentes de un motor de gasolina. ....	36
2.3. Principio de funcionamiento del motor a gasolina. ....	43
2.3.1. Ciclo Otto.....	44
2.3.2. Ciclo Otto Ideal.....	44
.....	47

Capítulo 3. El oxihidrógeno como combustible en un motor de combustión interna..	55
3.1. Gas HHO (Oxhídrico).....	55
3.2. Cambios sugeridos para un óptimo funcionamiento al vehículo. ....	56
3.2.1. Bujías. ....	56
3.2.2. Aceite. ....	57
3.2.3. Problemas y soluciones del pre-encendido. ....	57
3.2.4. Cambios estructurales. ....	59
3.3. Sistemas de suministro de combustible. ....	59
Capítulo 4. Desarrollo del proyecto .....	60
4.1. Diseño y construcción de la celda de gas oxihidrógeno. ....	62
4.2. Fabricación de arresta llamas.....	67
4.3. Depósito del electrolito.....	67
4.4. Selección del electrolizador. ....	69
4.5. Pruebas y resultados de la celda de HHO.....	70
4.6. Adaptación de la celda a la motocicleta.....	74
.....	75
.....	75
4.7. Conexiones eléctricas de la celda en la motocicleta.....	75
4.8. Análisis y resultados de la eficiencia del gas HHO usado como aditivo en un motor de combustión interna.....	76

4.9. Análisis de gases de escape.....	78
4.10. Protocolo de pruebas de emisiones.....	80
Recomendaciones.....	83
Costo y evaluación del proyecto.....	84
CONCLUSIONES.....	86
Resultados de las pruebas de rendimiento en la motocicleta con y sin HHO.....	86
Bibliografía.....	88

Ilustración 1. Cuba electrolítica.....	18
Ilustración 2. Celda húmeda a la izquierda y una celda seca a la derecha.....	21
Ilustración 3. Proceso de generación de gas oxihidrógeno.....	23
Ilustración 4. Una señal de onda cuadrada de un PWM.....	24
Ilustración 5. Variación de la conductividad con la concentración para distintos electrolitos.....	29
Ilustración 6. Variación de la conductancia molar con la raíz de la concentración.....	30
Ilustración 7. Partes principales de un motor a gasolina.....	32
Ilustración 8. Cilindro de un motor mono cilíndrico 150cc.....	34
Ilustración 9. Carter de un motor 150cc.....	35



Ilustración 10. Motor mono cilíndrico de 4 tiempos.....	43
Ilustración 11. Ciclo genérico de un motor de combustión interna .....	44
Ilustración 12. Diagrama PV del ciclo Otto. El área delimitada por la ruta completa del ciclo representa el trabajo total que se puede hacer durante un ciclo. ....	47
Ilustración 13. Primer tiempo admisión.....	48
Ilustración 14. Segundo tiempo (compresión). ....	49
Ilustración 15. Tercer tiempo (Explosión expansión).....	50
Ilustración 16. Cuarto tiempo (escape) .....	51
Ilustración 17 Motocicleta Italika RC 150CC.....	61
Ilustración 18. Tapa trasera de la celda.....	62
Ilustración 19. Tapa delantera de la celda.....	63
Ilustración 20. Configuración de los electrodos de la celda electrolítica para nueve placas.....	64
Ilustración 21. Forma de los electrodos de la celda .....	64
Ilustración 22. Neopreno o separadores de la celda.....	66
Ilustración 23. Celda electrolítica .....	66
Ilustración 24. Arresta llamas .....	67
Ilustración 25. Deposito para el electrolito .....	68
Ilustración 26. Pruebas de celda electrolítica.....	70
Ilustración 27. Pruebas realizadas en el laboratorio I2 “Térmica y fluidos” .....	72
Ilustración 28. Medidor de PH digital.....	73
Ilustración 29 Adaptacion del sistema en la motcicleta.....	74

Ilustración 30. Adaptación para la entrada del gas en el filtro de aire en la motocicleta.....	75
Ilustración 31. Esquema de producción de gas HHO .....	76
Ilustración 32. Dispositivo creado para la medición de la gasolina usada por cada recorrido de prueba.....	77
Ilustración 33. Banco utilizado para las pruebas de emisiones.....	79
Tabla 1 .Electrolitos usados en la electrólisis. ....	27
Tabla 2. Datos técnicos de la motocicleta dados por el fabricante .....	61
Tabla 3. Comparación de accesibilidad y costo de diferentes electrolitos.....	69
Tabla 4. Producción de gas HHO producidos por la celda electrolítica .....	73
Tabla 5. Resultados del rendimiento de la gasolina con y sin HHO.....	78
Tabla 6. Resultado de prueba en ralentí sin celda.....	81
Tabla 7. Resultado de prueba en ralentí con la celda.....	81
Tabla 8. Resultados obtenidos de la prueba de emisiones a 4000RPPM y 60 km7h utilizando solo gasolina.....	82
Tabla 9. Resultados obtenidos de la prueba de emisiones a 4000RPPM y 60 km7h utilizando la gasolina y el HHO como aditivo.....	82
Tabla 10. Costo del proyecto .....	85

## **Introducción.**

En México el precio de la gasolina ha ido incrementado de manera considerable, llegando alcanzar un promedio nacional de 22 pesos el litro de la gasolina regular, sin embargo, los precios de estación en estación varían, al igual que la calidad del combustible, provocando un alto costo para el usuario además de un bajo rendimiento.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar el comportamiento de un motor de combustión interna trabajando con gasolina y gas oxihidrógeno (HHO Hidrogeno-Oxigeno), dicho gas será utilizado para mejorar el aprovechamiento de la gasolina, es decir, será utilizado como aditivo en el motor. Esto se logrará mediante la construcción de un “Dispositivo”, el cual estará conformado por una celda electrolítica en conjunto con un depósito de llenado, un juego de mangueras y adaptadores, el cual tiene como principio de funcionamiento la electrólisis, dicho dispositivo será instalado como accesorio en una motocicleta marca Italika RC150cc sin modificar ninguna parte de la motocicleta.

Se utilizará el HHO como aditivo, es decir será combinado con la gasolina mediante el carburador en el motor, se analizarán diferentes parámetros que nos permitan obtener resultados sobre el desempeño del motor y el rendimiento de combustible.

### **Planteamiento del problema.**

Actualmente el aumento en el precio del petróleo, así como en los productos destilados como lo es la gasolina, el diésel, entre otros; tiene un fuerte impacto tanto en el consumidor como en las economías de todo el mundo. Esto provoca fenómenos inflacionarios y por ende un aumento en los servicios como el transporte, los alimentos y demás industrias que dependen de estos combustibles fósiles.

En México durante el 2021 los costos de los combustibles tuvieron importantes aumentos, de acuerdo con el seguimiento de precios que lleva a cabo la comisión reguladora de energía (CRE), la gasolina tipo regular (Magna), registro un aumento de 2 pesos con 9 centavos por cada litro; en tanto el premium incremento 3.03 pesos y el diésel subió 1.80 pesos por cada litro, ello frente a los precios que se tuvieron en el transcurso del 2020.

Todo esto aunado a los conocidos problemas de eficiencia térmica que presenta el motor de combustión interna esto sucede porque no se realiza una combustión completa de la gasolina, es decir; no se quema en su totalidad la gasolina dando como resultado una eficiencia térmica baja además de problemas de emisiones contaminantes.

## **Justificación.**

El “Dispositivo” se adapta a los motores. Su misión es producir oxihidrógeno que inyectado al motor actúa como un aditivo gaseoso, convirtiendo un motor estándar en un híbrido de oxihidrógeno y gasolina.

El Dispositivo se instala como un accesorio, no requiere modificar, cambiar o rectificar ningún elemento del motor, lo que permite en caso de que fuera necesario que el sistema de hidrógeno se pueda desconectar en cualquier momento y el vehículo vuelva a operar como lo hacían originalmente. Este tipo de dispositivo puede ser incorporada en cualquier motor de combustión a gasolina o diésel similar al utilizado en esta investigación (contemplando número de cilindrada). El gas HHO cuenta con un punto de ignición mucho más bajo que la gasolina y es mucho más explosivo, lo cual permite que la gasolina se quemé con mayor facilidad, dando como resultado una combustión más eficiente.

Los vehículos con motores pequeños, como las motocicletas tienen un rendimiento de combustible bastante cómodo para los usuarios, en la actualidad hay un gran número de personas moviéndose en ellas, esto por su costo de adquisición y practicidad en la movilidad, es por eso que se decidió utilizar este tipo vehículo para nuestro proyecto; ya que al tener un alto rendimiento en términos de km/lt es muy usado como vehículos de trabajo. Al instalarle una celda electrolítica habrá una explosión más completa y por ello se aumentarán el rendimiento de gasolina en km/lt.

### **Objetivo general.**

El objetivo del presente trabajo realizar un dispositivo que permita al oxihidrógeno utilizarse como aditivo en un motor de combustión interna.

### **Objetivos particulares.**

- Estudio de la obtención del gas oxihidrógeno a partir de la electrólisis.
- Desarrollo de un dispositivo para la generación de HHO.
- Adaptación del sistema de HHO en la motocicleta.
- Análisis del oxihidrógeno como aditivo en un motor de combustión interna.

## **Antecedentes.**

### **Electrólisis del agua.**

Henry Cavendish, un inglés teórico, había observado en 1783 que se producía agua cuando se quemaba hidrogeno en oxígeno. (sin embargo, fue Lavoisier, quien explico este experimento correctamente y aplico los nombres de hidrogeno y oxígeno a estos elementos.) En 1800, dos químicos ingleses, William Nicholson y Anthony Carlisle. Llevaron a cabo la reacción inversa (la descomposición del agua) haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua y descomponiéndola en los elementos hidrogeno y oxígeno. La descomposición de un compuesto por medio de una corriente eléctrica recibe el nombre de la electrolisis. La electrólisis del agua produce siempre hidrogeno y oxígeno en proporción de 2 a 1 en volumen, e ilustra una vez más la ley de las proporciones definidas.

(Burns., 2002)

### **Motor de combustión interna.**

En 1876 empezó a funcionar el primer motor de combustión interna fabricado por Nicholas Otto y que utilizaba gasolina en vez de gas (CO). Este motor respecto a los anteriores, simplificaba enormemente la relación peso potencia y el montaje del mismo.

Gracias a la invención de los carburadores de gasolina pulverizada (por Bernadi, Italia 1889-1892 para motores mono cilíndricos y Maybach, en Alemania y Forest, en Francia, 1893 para motores poli cilíndricos), con cubeta y flotador para el carburante, fue posible pasar a la

construcción de motores de combustión interna automovilísticos, que desarrollaban potencias motrices de 12 a 16 CV. E incluso superiores en el último decenio del siglo XIX.

(M, Jose Font Mezquita Juan F. Dols Ruiz)

## **Capítulo 1. Electrólisis del agua.**

### **1.1. Electrólisis.**

La electrólisis es un proceso por medio del cual se pueden separar los elementos que tiene un compuesto, esto mediante el uso de la electricidad. Algunas sustancias como las sales y algunos óxidos metálicos (llamados también electrólitos) se consideran buenos conductores de electricidad y tienen de algún tipo de descomposición cuando sufren el paso de una corriente eléctrica, a este fenómeno se le conoce con el nombre de electrólisis. Las reacciones que se dan en el proceso de electrólisis se determinan por leyes de energía descritas por Michael Faraday.

(V., 2018)

### **1.2. Leyes de Faraday.**

Las leyes de Faraday constituyen el principio fundamental de la electrólisis y se rige por dos principales.

- Su primera ley dice “La masa de la sustancia producida en un electrodo mediante electrólisis es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que pasa a través de la solución”.



- Su segunda ley dice “La masa de las distintas sustancias producidas durante la electrólisis es directamente proporcional a los pesos equivalentes de las sustancias”. Esta ley se puede resumir cuantitativamente diciendo que 96.500 coulomb de electricidad producen 1 equivalente en gramos del producto primario (un gramo de gas), cualquiera que sea la naturaleza de un electrodo. Esta cantidad de electricidad se conoce como Faraday.

Al aplicar lo descubierto por Michael Faraday se puede calcular oxihidrógeno desprendido de un reactor mediante la siguiente ecuación.

$$\text{No Faraday} = \frac{I * t}{96500} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

I: corriente (A).

t: tiempo (s).

Cuando se obtiene el No. Faraday es necesario conocer que 1 mol H<sub>2</sub>O (líquido) = 1 mol H<sub>2</sub> (gas) + 1/2 mol O<sub>2</sub> (gas) (Méndez, 2013). Para obtener la producción en litros de oxígeno e hidrógeno se tiene que:

$$\text{El químico} = \frac{\text{masa atómica}}{\text{Valencia}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Peso prodo2} = \text{Faraday} * \text{Eq}_{\text{químico}} \dots\dots\dots(3)$$

Teniendo en cuenta que 1 mol de hidrógeno u oxígeno ocupa 22,4 litros, se obtiene la cantidad de litros producidos. Estos cálculos son válidos a una temperatura de 0 grados y 1 atmósfera, por lo que es necesario utilizar la ecuación general de los gases.

$$P * V = n * R * T \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

P: presión (Pa).

V: volumen (m).

n: moles de gas (número de moles).

R: constante universal de los gases ideales (J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>).

T: temperatura absoluta (K)

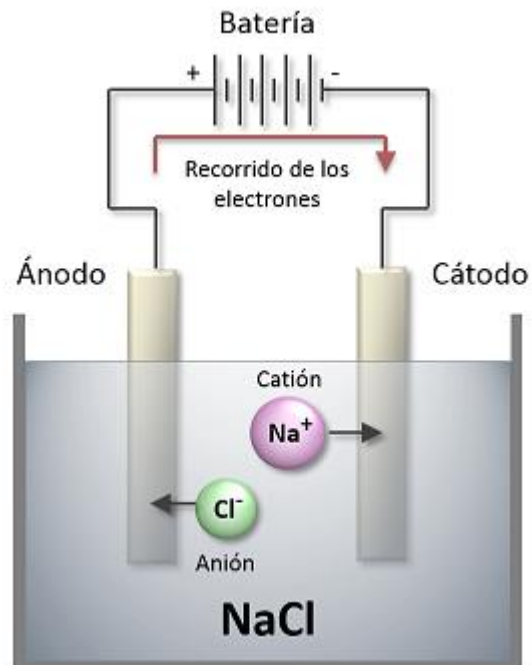
(Jalet, 2016)

### **1.3. La Cuba Electrolítica.**

La Cuba Electrolítica o Célula Electrolítica es el dispositivo donde se produce la electrólisis. Consta de:

- Electrodo positivo (Ánodo): está conectado al positivo de la batería. Realiza la oxidación del anión.
- Electrodo negativo (Cátodo): conectado al negativo de la batería. Realiza la reducción del cátodo.
- Circuito eléctrico: conecta los electrodos a la batería de corriente continua.
- Electrolito: sustancia ionizada en la disolución.

### Ilustración 1. Cuba electrolítica



Nota: La ilustración representa la estructura de una celda electrolítica, así como su principio de funcionamiento la electrólisis (2015) <https://www.quimicas.net/2015/08/la-electrolisis.html>

#### 1.4. Algunos tipos de aplicaciones.

Existen diferentes ámbitos y tipos de aplicaciones para la electrólisis:

- Producción de cloro.
- Para obtener elementos como Sodio, Aluminio y Litio.
- En galvanoplastia, para proteger metales de efectos de corrosión, se aplica una película de otro metal que es inoxidable.
- En producción de gases como hidrógeno y oxígeno.

- Limpieza de materiales ferrosos.

(CERVANTINO, 2015)

### **1.5. Electrólisis del agua.**

La electrólisis del agua es un proceso que consiste en disociar la molécula de agua en sus componentes fundamentales, “hidrógeno y oxígeno”. Esto ocurre al cumplir ciertas condiciones de diferencia de potencial (voltaje), temperatura, pH, presión, conductividad del agua, entre otras. Una vez establecidas las variables necesarias de las condiciones anteriores, al aplicar un campo eléctrico superior 1.27 Volts el enlace entre los átomos de hidrógeno y oxígeno de la molécula de agua se romperá generando así la separación del hidrogeno y el oxígeno.

La termodinámica indica que la reacción de disociación del agua es una reacción no espontánea, en consecuencia, se debe inyectar energía para que esta se produzca. Esta energía se inyecta en forma de electricidad, por lo que para la realización de una electrólisis se debe determinar la tensión en los electrodos necesaria para que comience la reacción. Para esto, se analiza las semirreacciones de oxidación, y de reducción.

(ARMIJO, 2018)

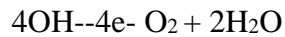
En el agua pura se pueden encontrar (en pequeñas cantidades) dos electrolitos procedentes de su disociación, del ion hidrógeno (H+) e hidroxilo (OH-).



La electrólisis de agua pura tiene lugar en dos procesos (uno para cada electrolito llamado anódico y catódico).

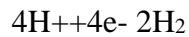
Proceso Anódico

Se lleva a cabo en el ánodo, a donde acuden los iones negativos (aniones). Por lo tanto, el ánodo es el polo positivo. Y aquí es donde se produce la oxidación.

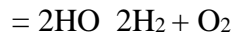
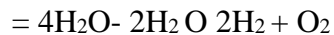
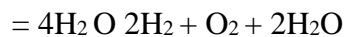
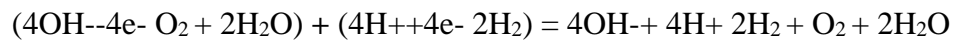


Proceso Catódico

Se produce en el cátodo, lugar al que acuden los iones positivos (cationes). Por tanto, el cátodo es el polo negativo, lugar donde se produce la reducción.



El proceso total será la suma de ambos:



Por cada dos moléculas de agua se obtienen una molécula de oxígeno y dos de hidrógeno:



(Writer, 2018)

Por tanto, en las mismas condiciones de presión y temperatura, se obtendrá un volumen de gas oxígeno por cada dos volúmenes de gas hidrógeno.

Este proceso puede llevarse a cabo en agua dulce y salada, produciendo resultados diferentes. En el caso de la electrólisis en agua salada, las sustancias que resultan separadas son el cloro y el hidrógeno en estado gaseoso, produciéndose así la disolución del hidróxido de sodio.

Por otro lado, en el agua dulce se utiliza mucha más energía para poder romper sus moléculas esto debido a la pureza de la sustancia es decir no contiene iones disueltos que permitan la conducción de electrones, esto se lograría con la adición de iones disueltos; es decir, añadiendo algún electrolito en la solución.

(Interlab, 2020)

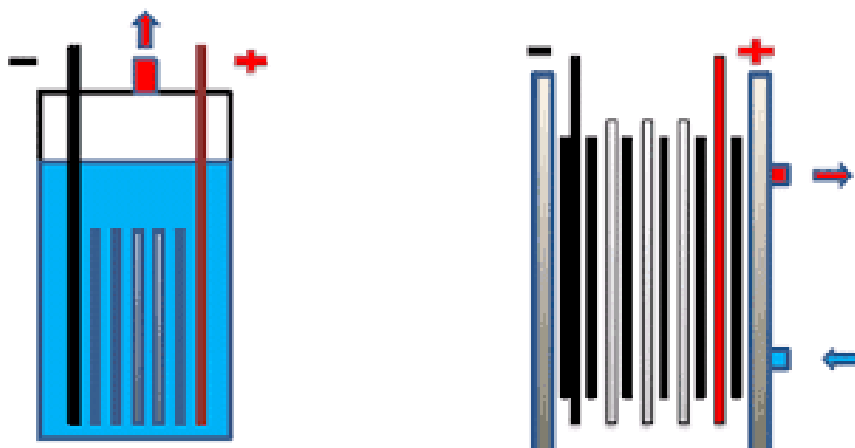
## 1.6. Generadores de Oxihidrógeno.

### 1.6.1. Celda húmeda.

Una celda eléctrica es un dispositivo que es capaz de convertir una energía en otra.

Existen dos tipos; las celdas húmedas y las celdas secas. Una de las principales diferencias está en la configuración de cada una de ellas, mientras que en la celda húmeda las placas están sumergidas en la solución dentro de un contenedor, en la celda seca las placas con ayuda de una junta de neopreno sellada a presión forman el contenedor que permite el paso de la solución en cada placa.

### Ilustración 2. Celda húmeda a la izquierda y una celda seca a la derecha.



Nota: Se muestran los dos tipos de celdas electrolíticas por: López, Milton

[tecverde.mex.tl/frameset.php?url=/](http://tecverde.mex.tl/frameset.php?url=/)

### 1.6.2. Celda seca.

A este tipo de generador se lo conoce como de celda seca, no porque no contenga agua, si no por el motivo de que la celda permanece seca en su exterior a diferencia de la celda sumergida en agua.

Al igual que el de la celda húmeda tienen el mismo funcionamiento, pero en este caso el agua circula por la parte interna de la celda; en la ilustración 2 se puede observar que a la izquierda vemos una celda sumergida en agua en su depósito y sus respectivas conexiones eléctricas y a su derecha se puede observar la celda seca (flecha azul indica la entrada de agua y la flecha roja la salida gas hidrógeno).

### 1.7. Descripción de los componentes del generador de hidrógeno de celda seca.

Para operar el generador se utiliza básicamente agua, un electrolito (base) y una corriente de 12V DC ya sea de una batería o de una fuente rectificadora; a través del proceso de la electrólisis (separación de átomos), el dispositivo entrega en proporción estequiométrica el oxígeno y el hidrógeno.

(Miguel, s.f.)

En la figura se muestra el funcionamiento de un generador de celda seca detallando sus partes y su forma de operar.

### Ilustración 3. Proceso de generación de gas oxihidrógeno.



Nota: Se muestran los dos componentes principales del dispositivo la celda y el depósito del electrolito  
Technology Terms and conditions [Datos sobre generadores de hidrógeno, diseño de celda HHO, celda seca \(hho-1.com\)](#)

#### Componentes de celda seca

Las celdas secas de gas oxihidrógeno tienen diferente configuración, está depende del número de placas y su polaridad. Un ejemplo de una configuración de la placa es:

+NNN-NNN+NNN-

Donde:

+ = polo positivo

- = polo negativo

N = neutro

Las placas que no tienen polaridad es decir las neutras; se utilizan para reducir el potencial de acción o voltaje que está presente en los electrodos; es decir, si solo se coloca una placa neutra y al aplicar un voltaje determinado de 10 o 12 voltios la diferencia de potencial

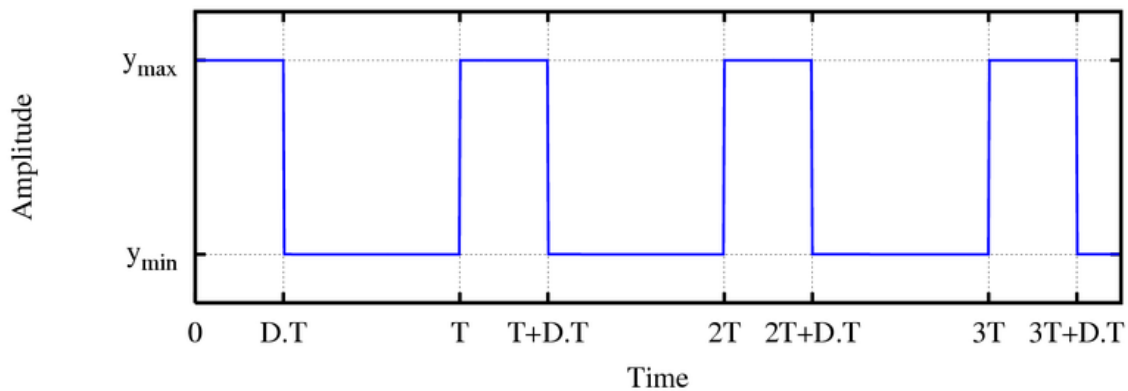


entre electrodos será la misma; pero aplicando más electrodos neutros la diferencia de potencial se irá reduciendo entre electrodo positivo y negativo, para esto se utiliza 5 placas neutras entre cada electrodo; existiendo así 6 saltos de voltaje, finalmente se obtiene los 12 voltios aplicados divididos para los 6 saltos; obteniendo así una diferencia de potencial de 2 voltios entre cada electrodo positivo y negativo; este voltaje es suficiente para disociar las moléculas presentes en las aguas que es de alrededor de 1.7v para el H<sub>2</sub>O.

## 1.8. Elementos que ayudan a potencializar la obtención de oxihidrógeno por electrólisis.

### 1.8.1. PWM (pulse-width-modulator) modulador de la anchura de pulso.

**Ilustración 4. Una señal de onda cuadrada de un PWM.**



Nota: se muestra una señal ajustando su ciclo de trabajo con un PWM Jorge, Alejandro García Méndez (2013)

<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/11800/1/14.pdf>

La modulación de ancho de pulsos (También conocida como PWM, por sus siglas en inglés de pulse width modulation), de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a la carga.

La construcción típica de un circuito PWM se lleva a cabo mediante un comparador con dos entradas y una salida.

Una de las entradas se conecta al oscilador de onda dientes de sierra, mientras que la otra queda disponible para la señal moduladora. En la salida la frecuencia es generalmente igual a la de la señal dientes de sierra y el ciclo de trabajo está en función de la portadora.

La principal desventaja que presentan los circuitos PWM es la posibilidad de que haya interferencias generadas por radiofrecuencia. Estas pueden minimizarse ubicando el controlador cerca de la carga y realizando un filtrado de la fuente de alimentación.

### 1.9. Electrolito.

La electrólisis también puede ser definida como el paso de una corriente eléctrica a través de una sustancia iónica dando lugar a reacciones químicas en los electrodos y/o separación de los materiales.

Como se sabe el agua pura ( $H_2O$ ) no es un buen conductor de electricidad. Esto es debido a que no hay suficientes iones disueltos para permitir que los electrones fluyan libremente a través de la solución. Para que podamos iniciar el proceso electrolítico, debemos hacer que el agua sea un conductor, y lo hacemos mediante la introducción de iones en la solución. Es decir, se utilizará un electrolito que nos proporcionara iones disueltos que formaran parte de diversas reacciones químicas para obtener una mayor conductividad en la solución.

Esas reacciones químicas están directamente relacionadas con las condiciones de la celda (voltaje, amperaje, electrolitos, materia de la placa y la temperatura). Estos factores a veces pueden permitir la formación de compuestos totalmente diferentes dentro de la celda. Por ejemplo, si disolvemos sal (NaCl) en agua y la electricidad se aplica a la celda, vamos a obtener oxihidrógeno. Pero por desgracia, también obtenemos hipoclorito de sodio (NaOCl), que es blanqueador. por no hablar de los gases de cloro que se escapa con el hidrógeno, debemos ser cuidadosos para introducir iones que no participan en el proceso, pero son necesarios debido a que permiten que el agua sea un mejor conductor, por ello es muy importante elegir el electrolito apropiado.

Debemos considerar que, para mantener en óptimas condiciones la celda, se debe limitar el amperaje que le serán aplicados.

El exceso de corriente puede provocar que las condiciones de la celda cambien y así se altere el equilibrio de las sustancias químicas.

(Jorge, 2013)

Químico electrolítico	Composición	Aplicación
<p><b>Sulfato de magnesio</b></p> <p>se pueden adquirir en supermercados locales.</p> <p>Esto es realmente comestible, y se utiliza</p>	<p>MgSO<sub>4</sub></p>	<p>Alto/bajo voltaje</p> <p>amperaje bajo</p> <p>temperatura baja</p>

como un baño relajante o un laxante.		
<b>Hidróxido de potasio</b> potasa cáustica. Es usado en la fabricación de jabón se puede adquirir en tlapalerías locales.	KOH	Alto/bajo voltaje amperaje Alto temperatura alta
<b>Hidróxido de sodio</b> <b>Sosa cáustica</b> <b>Es usado para remover la suciedad de coladeras tapadas.</b>	NaOH	Alto/bajo voltaje amperaje Alto temperatura media
<b>Sulfato de sodio</b>	NaSO <sub>4</sub>	bajo voltaje bajo amperaje temperatura media
<b>Ácido sulfúrico diluido</b>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	bajo voltaje amperaje medio temperatura media

**Tabla 1 .Electrolitos usados en la electrólisis.**

### **1.10. Conductividad en función de la concentración molar.**

Los electrolitos se pueden definir como compuestos que conducen la electricidad cuando están en una solución o fundidos a alta temperatura. En una solución de un electrolito o en un electrolito fundido, la corriente está formada por iones en movimiento. La capacidad de conducir la electricidad se llama conductividad; esta propiedad se puede medir cuantitativamente, y observar cualitativamente.

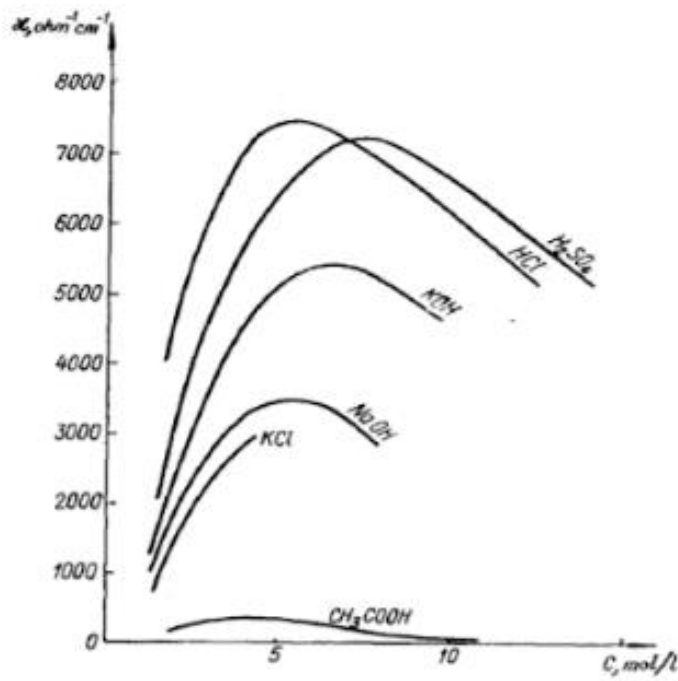
En una solución de un electrolito débil, la mayor parte del soluto está en forma molecular; hay muy poco soluto en forma de iones. Las soluciones de electrolitos débiles no conducen tan bien la electricidad como los electrolitos fuertes a la misma concentración, porque hay muy pocos iones en solución. El ácido acético y el amoníaco son ejemplos de electrolitos débiles. También el agua es un electrolito débil.

Los electrolitos se pueden clasificar como fuertes o débiles. En una solución de un electrolito fuerte, la mayor parte del soluto está en forma de iones, hay pocas moléculas, si es que las hay. Un ejemplo es el cloruro de sodio, disuelto en agua es un ejemplo de electrolito fuerte, sus soluciones son buenas conductoras de la electricidad.

En una solución ideal de un electrolito fuerte la conductancia molar es independiente de la concentración. En otras palabras, la conductividad es directamente proporcional y lineal con la concentración. Sin embargo, la conductancia molar de las soluciones reales varía con la concentración del electrolito debido a que existen interacciones entre iones. Este comportamiento es apreciable en cualquiera de los electrolitos. Primero existe un aumento

inicial de la conductividad a medida que aumenta la concentración hasta un valor máximo, lo cual se explica por existir un mayor número de iones dispuestos para la conducción. A partir de un determinado valor de concentración (valor que es generalmente alto), la conductividad comienza a disminuir debido a que las interacciones asociativas entre los iones dificultan la conducción de la corriente. En algunos de ellos esta situación no existe pues la solubilidad del compuesto no lo permite. En la Ilustración 5 se muestra la variación de la conductividad con la concentración para distintos electrolitos.

**Ilustración 5. Variación de la conductividad con la concentración para distintos electrolitos.**



Nota: la imagen representa el comportamiento de diferentes electrolitos con diferentes concentraciones

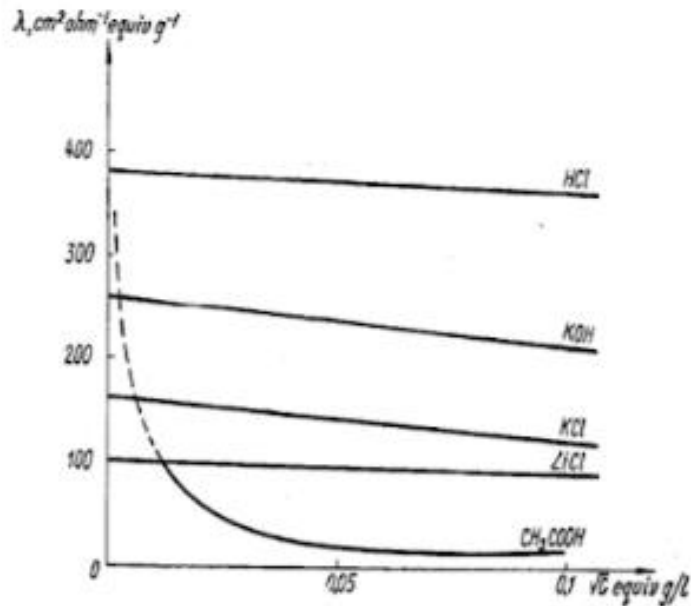
Determinación de las conductividades iónicas 2012

<https://es.slideshare.net/marioramirohumerezdiaz/determinacin-de-las-conductividades-ionicas>

En la ilustración 6, se muestra la variación de la conductividad con la concentración para distintos electrolitos. El comportamiento general es el mismo para todos los electrolitos. Existe un aumento inicial de la conductividad a medida que aumenta la concentración hasta un valor máximo, lo que se explica por existir un mayor número de iones dispuestos para la conducción. A partir de un valor de concentración, la conductividad comienza a disminuir, debido a que las interacciones asociadas entre los iones dificultan la conducción de la corriente.

(Miano, 2019)

**Ilustración 6. Variación de la conductancia molar con la raíz de la concentración.**



Nota: Diferentes concentraciones para diferentes electrolitos Determinación de las conductividades iónicas 2012 <https://es.slideshare.net/marioramirohumerezdiaz/determinacin-de-las-conductividades-ionicas>

## **Capítulo 2. El motor de combustión interna.**

Un motor de combustión interna constituye una máquina termodinámica formada por un conjunto de piezas o mecanismos fijos y móviles, cuya función principal es transformar la energía química que proporciona la combustión producida por una mezcla de aire y combustible en energía mecánica o movimiento, cuando ocurre esa transformación de energía química en mecánica se puede realizar un trabajo útil.

Los motores de combustión interna vienen determinados en función de una serie de características constructivas y de funcionamiento. En base a ellas los podemos clasificar en distintas categorías.

### 1. Según el combustible empleado

- Gasolina
- Diesel
- Etanol
- Gas natural
- Electricidad
- Hidrogeno
- Gas LP
- Biodiesel

### 2.- Según el número de carreras en el pistón

en cada ciclo

- 2T (Dos tiempos)
- 4T (cuatro tiempos)



3.- Según el número de pistones

- Mono cilíndrico
- Poli cilíndrico

4.- Según la disposición de los cilindros

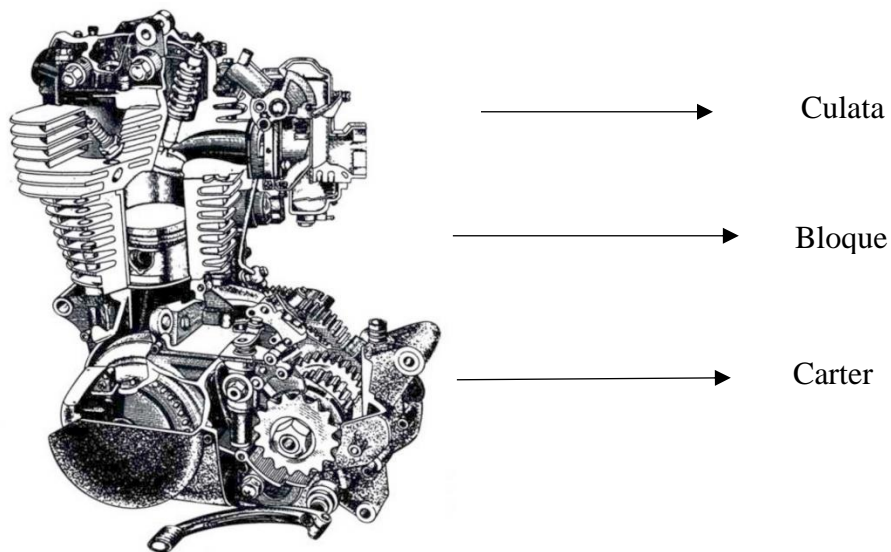
- En línea
- En V
- radial
- cilindros opuestos

(MORENO, 2010)

### **2.1 Partes de un motor a gasolina.**

Desde el punto de vista estructural, el cuerpo de un motor de explosión o de gasolina se compone de tres secciones principales como se muestra en la ilustración 7

#### **Ilustración 7. Partes principales de un motor a gasolina.**



### 2.1.1. La culata.

La culata constituye una pieza de hierro fundido (o de aluminio en algunos motores), que va colocada encima del bloque del motor. Su función es sellar la parte superior de los cilindros para evitar pérdidas de compresión y salida inapropiada de los gases de escape. En la culata se encuentran situadas las válvulas de admisión y de escape, así como las bujías. Posee, además, dos conductos internos: uno conectado al múltiple de admisión (para permitir que la mezcla aire-combustible penetre en la cámara de combustión del cilindro) y otro conectado al múltiple de escape (para permitir que los gases producidos por la combustión sean expulsados al medio ambiente). tiene, además, otros conductos que permiten la circulación de agua para su refresco. La culata está firmemente unida al bloque del motor por medio de tornillos. Para garantizar un sello hermético con el bloque, se coloca entre ambas piezas metálicas una “junta de culata”, constituida por una lámina de material de amianto o cualquier otro material flexible que sea capaz de soportar, sin deteriorarse, las altas temperaturas que se alcanzan durante el funcionamiento del motor.

**Ilustración. Culata de motor mono cilíndrico 150cc.**



Nota: La imagen muestra la refacción de una culata de moto Italika rt200 [▷ CABEZA DE CILINDRO](#)

[MOTOITALIKA RT200 - En Innovando Ofertas® \(innovando-ofertas.com\)](#)

### 2.1.2. El bloque.

En el bloque están ubicados los cilindros con sus respectivas camisas, que son barrenos o cavidades practicadas en el mismo, por cuyo interior se desplazan los pistones. Estos últimos se consideran el corazón del motor.

La cantidad de cilindros que puede contener un motor es variable, así como la forma de su disposición en el bloque.

Existen motores de uno o de varios cilindros, la mayoría de los coches o automóviles utilizan motores con bloques de tres, cuatro, cinco, seis, ocho y doce cilindros.

Los bloques en línea pueden contener 3, 4, 5 o 6 cilindros. Los motores con bloques en “V” tienen los cilindros dispuestos en doble hilera en forma de “V”. Los más comunes que se pueden encontrar son: “V-6”, “V-8”, “V-10” y “V-12”. Los bloques planos son poco utilizados en los motores de gasolina, aunque se pueden encontrar de 4, 6 y hasta de 12 cilindros en unas pocas marcas de coches.

**Ilustración 8. Cilindro de un motor mono cilíndrico 150cc.**



Nota: La imagen muestra un cilindro 150cc de refacción [Cilindro Completo Aip 200 Monster/gs3 |](#)

[Cuotas sin interés \(mercadolibre.com.uy\)](#)

### 2.1.3. El cárter.

El cárter es el lugar donde se deposita el aceite lubricante que permite lubricar el cigüeñal, los pistones, el árbol de levas y otros mecanismos móviles del motor. Durante el tiempo de funcionamiento del motor una bomba de aceite extrae el lubricante del cárter y lo envía a los mecanismos que requieren lubricación.

Existen también algunos tipos de motores que en lugar de una bomba de aceite emplean el propio cigüeñal, sumergido parcialmente dentro del aceite del cárter, para lubricar “por salpicadura” el mismo cigüeñal, los pistones y el árbol de levas.

(PARTES FUNDAMENTALES DE UN MOTOR DE GASOLINA (I), s.f.)

#### **Ilustración 9. Carter de un motor 150cc**



Nota: La imagen muestra una parte lateral del cárter de un motor [Cg 200 قطع الغيار للدرجة النارية علبه المرافق Cg 200](#)

- [Buy Motorcycle Parts.Cg 200 Motorcycle Parts.Cg 200 Motorcycle Parts Of Crankcase Product on](#)

[Alibaba.com](#)

## **2.2. Componentes de un motor de gasolina.**

A continuación, se exponen los componentes básicos que formaron y forman parte todavía en muchos casos o con algunas variantes, de un motor de explosión o gasolina:

### Filtro de aire:

Su función es extraer el polvo y otras partículas para limpiar lo más posible el aire que recibe el carburador, antes que la mezcla aire-combustible pase al interior de la cámara de combustión de los cilindros del motor.

### Carburador:

Mezcla el combustible con el aire en una proporción de 1:10000 para entregar al motor la energía necesaria para su funcionamiento. Esta mezcla la efectúa el carburador en el interior de un tubo con un estrechamiento practicado al efecto, donde se pulveriza la gasolina por efecto Venturi. En algunos casos una bomba mecánica, provista con un diafragma de goma o sintético, se encarga de bombear desde el tanque principal la gasolina para mantener siempre llena una pequeña cuba desde donde le llega el combustible al carburador. En los coches actuales esa bomba de gasolina, en lugar de ser mecánica es eléctrica y se encuentra situada dentro del propio tanque principal de combustible. Para evitar que la cuba se rebose y pueda llegar a inundar de gasolina la cámara de combustión, existe en el interior de la cuba un flotador encargado de abrir la entrada del combustible cuando el nivel baja y cerrarla cuando alcanza el nivel máximo admisible.

### Distribuidor o Delco:

Distribuye entre las bujías de todos los cilindros del motor las cargas de alto voltaje o tensión eléctrica provenientes de la bobina de encendido o ignición. El distribuidor está acoplado sincrónicamente con el cigüeñal del motor de forma tal que al rotar el contacto eléctrico que tiene en su interior, cada bujía recibe en el momento justo la carga eléctrica de alta tensión necesaria

para provocar la chispa que enciende la mezcla aire-combustible dentro de la cámara de combustión de cada pistón.

#### Bomba de gasolina:

Extrae la gasolina del tanque de combustible para enviarla a la cuba del carburador cuando se presiona el “acelerador de pie” de un vehículo automotor o el “acelerador de mano” en un motor estacionario. Desde hace muchos años atrás se utilizan bombas mecánicas de diafragma, pero últimamente los fabricantes de motores las están sustituyendo por bombas eléctricas, que van instaladas dentro del propio tanque de la gasolina.

#### Bobina de encendido o ignición

Dispositivo eléctrico perteneciente al sistema de encendido del motor, destinado a producir una carga de alto voltaje o tensión. La bobina de ignición constituye un transformador eléctrico, que eleva por inducción electromagnética la tensión entre los dos enrollados que contiene en su interior.

El enrollado primario de baja tensión se conecta a la batería de 12 volt, mientras que el enrollado secundario la transforma en una corriente eléctrica de alta tensión de 15 mil o 20 mil voltios. Esa corriente se envía al distribuidor y éste, a su vez, la envía a cada una de las bujías en el preciso momento que se inicia en cada cilindro el tiempo de explosión del combustible.

#### Filtro de aceite:

Recoge cualquier basura o impureza que pueda contener el aceite lubricante antes de pasar al sistema de lubricación del motor.

#### Bomba de aceite:

Envía aceite lubricante a alta presión a los mecanismos del motor como son, por ejemplo, los cojinetes de las bielas que se fijan al cigüeñal, los aros de los pistones, el árbol de leva y demás

componentes móviles auxiliares, asegurando que todos reciban la lubricación adecuada para que se puedan mover con suavidad.

#### Aceite lubricante:

Su función principal es la de lubricar todas las partes móviles del motor, con el fin de disminuir el rozamiento y la fricción entre ellas. De esa forma se evita el excesivo desgaste de las piezas, teniendo en cuenta que el cigüeñal puede llegar a superar las 6 mil revoluciones por minuto.

Como función complementaria el aceite lubricante ayuda también a refrescar los pistones y los cojinetes, así como mantenerlos limpios. Otra de las funciones del lubricante es ayudar a amortiguar los ruidos que produce el motor cuando está funcionando.

#### Toma de aceite:

Punto desde donde la bomba de aceite succiona el aceite lubricante del cárter.

#### Cables de alta tensión de las bujías:

Son los cables que conducen la carga de alta tensión o voltaje desde el distribuidor hasta cada bujía para que la chispa se produzca en el momento adecuado.

#### Bujía:

Electrodo recubierto con un material aislante de cerámica. En su extremo superior se conecta uno de los cables de alta tensión o voltaje procedentes del distribuidor, por donde recibe una carga eléctrica de entre 15 mil y 20 mil volts aproximadamente. En el otro extremo la bujía posee una rosca metálica para ajustarla en la culata y un electrodo que queda situado dentro de la cámara de combustión.

La función de la bujía es hacer saltar en el electrodo una chispa eléctrica dentro de la cámara de combustión del cilindro cuando recibe la carga de alta tensión procedente de la bobina de ignición y del distribuidor. En el momento justo, la chispa provoca la explosión de la mezcla aire-

combustible que pone en movimiento a los pistones. Cada motor requiere una bujía por cada cilindro que contenga su bloque.

#### Balancín:

En los motores del tipo OHV (Over Head Valves – Válvulas en la culata), el balancín constituye un mecanismo semejante a una palanca que bascula sobre un punto fijo, que en el caso del motor se halla situado normalmente encima de la culata. La función del balancín es empujar hacia abajo las válvulas de admisión y escape para obligarlas a que se abran. El balancín, a su vez, es accionado por una varilla de empuje movida por el árbol de levas. El movimiento alternativo o de vaivén de los balancines está perfectamente sincronizado con los tiempos del motor.

#### Muelle de válvula:

Muelle encargado de mantener normalmente cerradas las válvulas de admisión y escape. Cuando el balancín empuja una de esas válvulas para abrirla, el muelle que posee cada una las obliga a regresar de nuevo a su posición normal de “cerrada” a partir del momento que cesa la acción de empuje de los balancines.

#### Válvula de escape:

Pieza metálica en forma de clavo grande con una gran cabeza, cuya misión es permitir la expulsión al medio ambiente de los gases de escape que se generan dentro del cilindro del motor después que se quema la mezcla aire-combustible en durante el tiempo de explosión.

Normalmente los motores poseen una sola válvula de escape por cilindro; sin embargo, en la actualidad algunos motores modernos pueden tener más de una por cada cilindro.

#### Válvula de admisión:

Válvula idéntica a la de escape, que normalmente se encuentra junto a aquella. Se abre en el momento adecuado para permitir que la mezcla aire-combustible procedente del carburador,



penetre en la cámara de combustión del motor para que se efectúe el tiempo de admisión. Hay motores que poseen una sola válvula de admisión por cilindro; sin embargo, los más modernos pueden tener más de una por cada cilindro.

#### Múltiple o lumbrera de admisión:

Vía o conducto por donde llega a la cámara de combustión del motor la mezcla de aire-combustible procedente del carburador para dar inicio al tiempo de admisión.

#### Cámara de combustión:

Espacio dentro del cilindro entre la culata y la parte superior o cabeza del pistón, donde se efectúa la combustión de la mezcla aire-combustible que llega del carburador. La capacidad de la cámara de combustión se mide en  $\text{cm}^3$  y aumenta o disminuye con el movimiento alternativo del pistón. Cuando el pistón se encuentra en el PMS (Punto Muerto Superior) el volumen es el mínimo, mientras que cuando se encuentra en el PMI (Punto Muerto Inferior) el volumen es el máximo.

#### Varilla empujadora:

Varilla metálica encargada de mover los balancines en un motor del tipo OHV (Over Head Valves – Válvulas en la culata). La varilla empujadora sigue siempre el movimiento alternativo que le imparte el árbol de levas.

#### Árbol de levas:

Eje parecido al cigüeñal, pero de un diámetro mucho menor, compuesto por tantas levas como válvulas de admisión y escape tenga el motor. Encima de cada leva se apoya una varilla empujadora metálica, cuyo movimiento alternativo se transmite a los balancines que abren y cierran las válvulas de admisión o las de escape. El árbol de levas se encuentra sincronizado de forma tal que efectúa medio giro por cada giro completo del cigüeñal. Los motores OHV (Over Head Valves – Válvulas en la culata) tienen un solo árbol de levas, mientras que los DOHV (Dual

Over Head Valves – Válvulas dobles en la culata) tienen dos árboles de levas perfectamente sincronizados por medio de dos engranajes accionados por el cigüeñal. En los motores DOHV los árboles de levas están colocados encima de la culata y actúan directamente sobre las válvulas sin necesidad de incluir ningún otro mecanismo intermediario como las varillas de empuje y los balancines que requieren los motores OHV.

#### Anillos del pistón:

Los aros son unos segmentos de acero que se alojan en unas ranuras que posee el pistón. Los hay de dos tipos: de compresión o fuego y rascador de aceite.

#### **Compresión o fuego:**

Sella la cámara de combustión para que durante el tiempo de compresión la mezcla aire-combustible no pase al interior del cárter; tampoco permite que los gases de escape pasen al cárter una vez efectuada la explosión.

Ofrece cierta amortiguación entre el pistón y el cilindro cuando el motor se encuentra en marcha.

Bombea el aceite para lubricar el cilindro.

#### **Rascador de aceite:**

Permite que cierta cantidad de lubricante pase hacia la parte superior del cilindro y “barre” el sobrante o el que se adhiere por salpicadura en la parte inferior del propio cilindro, devolviéndole al cárter por gravedad.

Normalmente cada pistón posee tres ranuras para alojar los aros. Las dos primeras la ocupan los dos aros de compresión o fuego, mientras que la última la ocupa un aro rascador de aceite.

Los aros de compresión son lisos, mientras que el aro rascador de aceite posee pequeñas aberturas a todo su alrededor para facilitar la distribución pareja del lubricante en la superficie del cilindro o camisa por donde se desplaza el pistón.

### Pistón:

El pistón constituye una especie de cubo invertido, de aluminio fundido en la mayoría de los casos, vaciado interiormente. En su parte externa posee tres ranuras donde se insertan los aros de compresión y el aro rascador de aceite. Más abajo de la zona donde se colocan los aros existen dos agujeros enfrentados uno contra el otro, que sirven para atravesar y fijar el bulón que articula el pistón con la biela.

### Biela:

Es una pieza metálica de forma alargada que une el pistón con el cigüeñal para convertir el movimiento lineal y alternativo del primero en movimiento giratorio en el segundo. La biela tiene en cada uno de sus extremos un punto de rotación: uno para soportar el bulón que la une con el pistón y otro para los cojinetes que la articula con el cigüeñal.

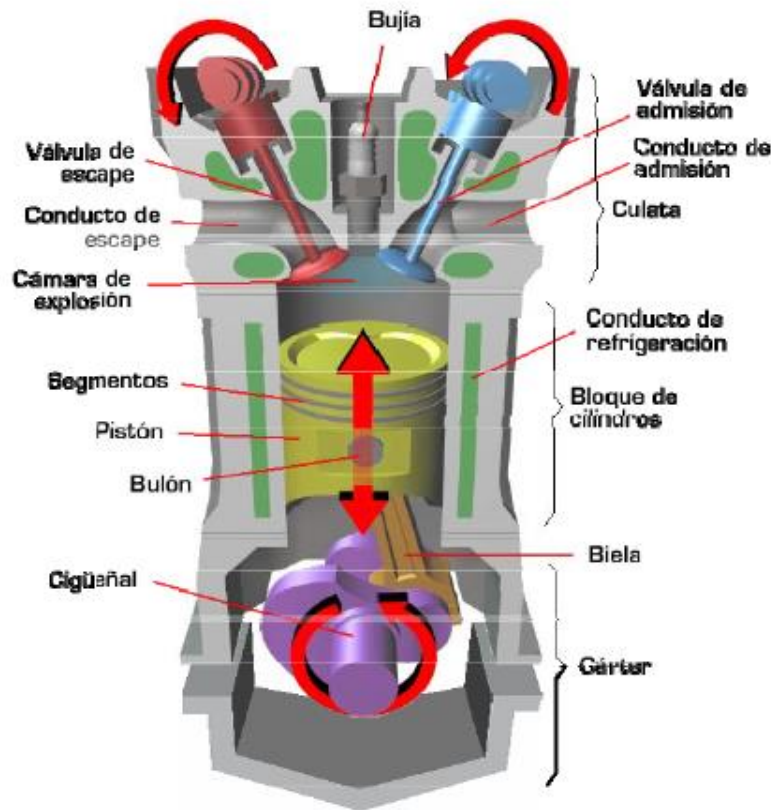
### Bulón:

Es una pieza de acero que articula la biela con el pistón. Es la pieza que más esfuerzo tiene que soportar dentro del motor.

### Cigüeñal:

Constituye un eje con manivelas, con dos o más puntos que se apoyan en una bancada integrada en la parte superior del cárter y que queda cubierto después por el propio bloque del motor, lo que le permite poder girar con suavidad la manivela o las manivelas (cuando existe más de un cilindro) que posee el cigüeñal, giran de forma excéntrica con respecto al eje. En cada una de las manivelas se fijan los cojinetes de las bielas que le transmiten al cigüeñal la fuerza que desarrollan los pistones durante el tiempo de explosión.

**Ilustración 10. Motor mono cilíndrico de 4 tiempos.**



Nota: En la imagen se pueden apreciar las partes principales de un motor a 4 tiempos. María Luisa Ortiz Berrio (2017) [Funcionamiento del motor de motos de cuatro tiempos \(andina.com.co\)](http://andina.com.co)

### 2.3. Principio de funcionamiento del motor a gasolina.

En este tipo de motor la energía se obtiene la mezcla de aire y gasolina en la cámara de combustión. Esta mezcla provoca la explosión, es decir la combustión prácticamente instantánea de esta mezcla gaseosa, por lo que es preciso preparar la mezcla de aire y gasolina convenientemente dosificada, lo cual se realiza con la inyección. Después de introducida la mezcla aire-gasolina en el cilindro, es necesario provocar la explosión en la cámara por medio

de una chispa de alta tensión, la cual es proporcionada por el sistema de encendido. La relación existente entre el volumen total del cilindro y el de la cámara de combustión (relación de compresión), está comprendida entre 7:1 y 10:1 generalmente, si este valor es modificado, hay riesgo de explosión instantánea de la mezcla de aire y gasolina, debida a la misma compresión, lo cual, es perjudicial para el buen funcionamiento del motor.

(FISICA\_TERMODINÁMICA, s.f.)

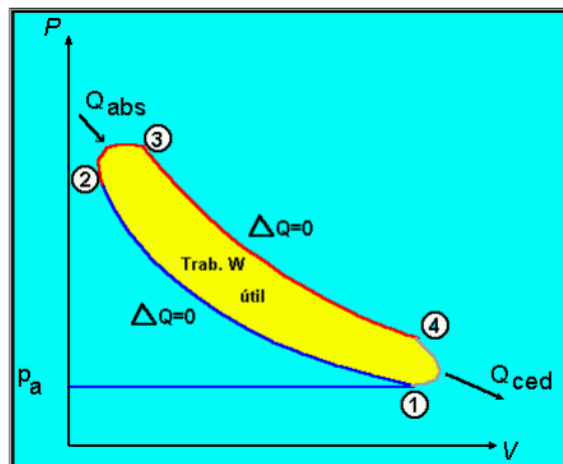
### 2.3.1. Ciclo Otto.

El ciclo del motor Otto se llama ciclo Otto. Es uno de los ciclos termodinámicos más comunes que se pueden encontrar en los motores de los vehículos y describe el funcionamiento de un motor de pistón de encendido por chispa típico.

### 2.3.2. Ciclo Otto Ideal.

Una característica clave de los motores de combustión interna es que en cada ciclo se aspira aire fresco, luego se adiciona el combustible y se quema en el interior del motor. Luego los gases quemados son expulsados del sistema y se debe aspirar nueva mezcla o aire. Por lo tanto, se trata de un ciclo abierto

### Ilustración 11. Ciclo genérico de un motor de combustión interna



Nota: ciclo otto presión contra volumen Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi [T-UTC-0813.pdf](#)

El ciclo genérico de un motor de combustión interna consta de las siguientes partes generales:

Existe una presión mínima en el sistema equivalente a  $P_a$ . Desde 1 hasta 2 se realiza una compresión, en teoría adiabática sin roce. Entre 2 y 3 se realiza la combustión, con un aporte de calor  $Q_{abs}$ . Entre 3 y 4 se realiza la expansión de los gases calientes. Normalmente es en esta etapa donde se entrega la mayor parte del trabajo. Esta expansión es también, en teoría, adiabática y sin roce. En 4 se botan 11 los gases quemados a la atmósfera. El ciclo es realmente abierto, pero (para efectos de análisis) se supone que se cierra entre 4 y 1, volviéndose el estado inicial. Se introduce, por lo tanto, el concepto de Ciclo de aire equivalente. Esto significa que suponemos que el ciclo lo describe solo aire, al cual lo hacemos pasar por una sucesión de estados tal que se reproduce el ciclo real. Esto implica las siguientes suposiciones y simplificaciones: Las propiedades del aire se suponen constantes para todo el ciclo (no varían ni  $C_p$  ni  $C_v$ , aunque en el caso real sí lo hacen por variación de temperatura y porque en parte del ciclo se trabaja con gases quemados). Se supone un sistema cerrado. Es decir, el aire está cerrado dentro del sistema y se somete a las evoluciones equivalentes. Entre 2 y 3 se supone que se aporta calor externamente para lograr la evolución equivalente. En forma análoga, entre 4 y 1 se supone que se enfría el aire en forma equivalente.

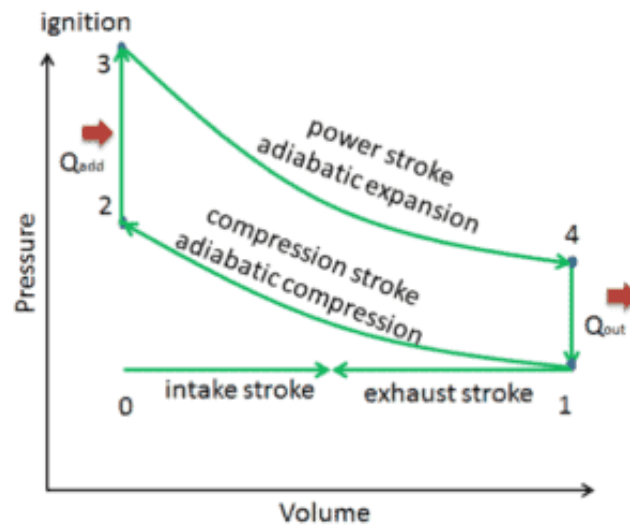
En un ciclo Otto ideal, el sistema que ejecuta el ciclo se somete a una serie de cuatro procesos reversibles internamente: dos procesos isentrópicos (adiabáticos reversibles) alternados con dos procesos isocóricos:

1. **Compresión isentrópica** (carrera de compresión): el gas (mezcla de combustible y aire) se comprime adiabáticamente del estado 1 al estado 2, a medida que el pistón se mueve desde el punto muerto inferior al punto muerto superior. Los alrededores trabajan con el gas, aumentando su energía interna (temperatura) y comprimiéndolo. Por otro lado, la entropía permanece sin cambios. Los cambios en los volúmenes y su relación ( $V_1 / V_2$ ) se conocen como la relación de compresión.
2. **Compresión isocórica** (fase de encendido): en esta fase (entre el estado 2 y el estado 3) hay una transferencia de calor de volumen constante (el pistón está en reposo) al aire desde una fuente externa mientras el pistón está en reposo en el punto muerto superior. Este proceso está destinado a representar la ignición de la mezcla de combustible y aire inyectada en la cámara y la posterior combustión rápida. La presión aumenta y la relación ( $P_3 / P_2$ ) se conoce como la “relación de explosión”.
3. **Expansión isentrópica** (golpe de poder): el gas se expande adiabáticamente desde el estado 3 al estado 4, a medida que el pistón se mueve desde el punto muerto superior al punto muerto inferior. El gas funciona en el entorno (pistón) y pierde una cantidad de energía interna igual al trabajo que abandona el sistema. Nuevamente, la entropía permanece sin cambios. La relación de volumen ( $V_4 / V_3$ ) se conoce como la relación de expansión isentrópica, pero para el ciclo de Otto, es igual a la relación de compresión.
4. **Descompresión isocórica (carrera de escape)**: en esta fase, el ciclo se completa con un proceso de volumen constante en el que el calor se rechaza del aire mientras el pistón está en el punto muerto inferior. La presión del gas de trabajo cae instantáneamente desde el punto 4 al punto 1. La válvula de escape se abre en el punto 4. La carrera de escape se

produce directamente después de esta descompresión. A medida que el pistón se mueve desde el punto muerto inferior (punto 1) al punto muerto superior (punto 0) con la válvula de escape abierta, la mezcla gaseosa se ventila a la atmósfera y el proceso comienza de nuevo.

(Connor, 2020)

**Ilustración 12. Diagrama PV del ciclo Otto. El área delimitada por la ruta completa del ciclo representa el trabajo total que se puede hacer durante un ciclo.**



Nota: en la imagen se representan los procesos de un ciclo otto Nick Connor 2020 [Qué es el ciclo de](#)

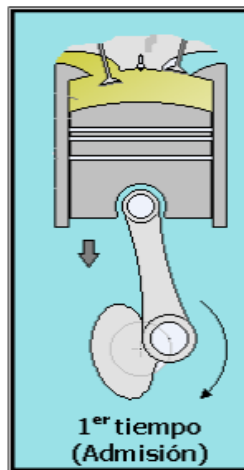
[Otto - Motor de Otto - Definición \(thermal-engineering.org\)](#)



### Primer tiempo:

Admisión La primera fase se produce cuando se abre la válvula de admisión y el émbolo desciende del punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI), produciéndose así una depresión en el cilindro, debido al aumento del espacio que va dejando el émbolo, esto hace que la mezcla aire-combustible pase a llenar ese espacio, cerrándose la válvula de admisión al finalizar la carrera de descenso del émbolo. Hasta este momento el cigüeñal ha girado media vuelta.

### Ilustración 13. Primer tiempo admisión

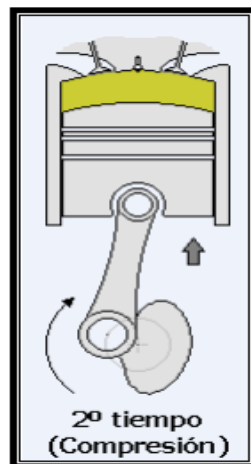


Nota: se muestra el proceso de admisión en la cámara de combustión Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi [T-UTC-0813.pdf](#)

**Segundo tiempo:**

Compresión Tanto la válvula de admisión como la válvula de escape están cerradas, el émbolo empieza a subir del punto muerto inferior (PMI) al punto muerto superior (PMS) comprimiendo progresivamente la mezcla aire-combustible hasta reducir su volumen al espacio que forma la cámara de compresión y el cigüeñal ha girado otra media vuelta.

**Ilustración 14. Segundo tiempo (compresión).**

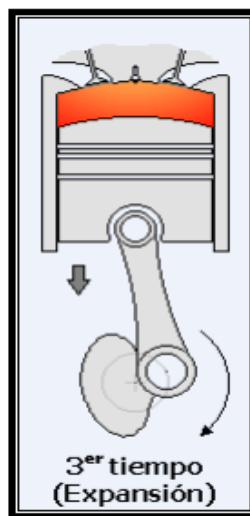


Nota: se muestra el proceso de compresión en la cámara de combustión Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi [T-UTC-0813.pdf](#)

### Tercer tiempo:

Explosión- Expansión Con la mezcla comprimida en la cámara se produce el salto de la chispa producida por la bujía, que enciende la mezcla y provoca la explosión de la misma. La combustión de la mezcla es muy rápida, generando gran cantidad de calor que aumenta la temperatura de los gases y eleva mucho más la presión que había al final de la compresión. Estando el émbolo en el punto muerto superior (PMS), comienza a bajar empujando con fuerza por la expansión de los gases calientes. A medida que va descendiendo el émbolo aumenta el volumen que ocupan los gases, y estos se van enfriando y perdiendo presión. Esta carrera descendente, que hace girar al cigüeñal otra media vuelta, es la que proporciona la fuerza para que funcione el motor.

### Ilustración 15. Tercer tiempo (Explosión expansión)



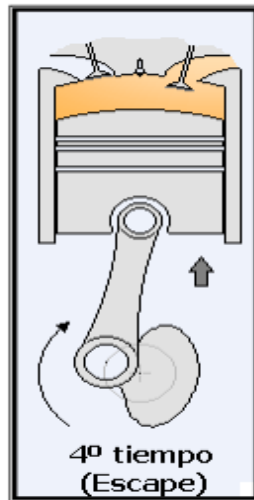
Nota: se muestra el proceso de explosión en la cámara de combustión Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi [T-UTC-0813.pdf](#)

### Cuarto tiempo:

Escape Al llegar el émbolo al punto muerto inferior (PMI), se abre la válvula de escape y a través de ella el émbolo que ya sube expulsa los gases quemados al exterior, completándose así el ciclo al girar el cigüeñal otra media vuelta, ya que al bajar otra vez el émbolo se producirá una nueva admisión. Con cada ciclo del motor de gasolina de cuatro tiempos el émbolo realiza cuatro carreras y el cigüeñal gira dos vueltas.

(EL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA, s.f.)

### Ilustración 16. Cuarto tiempo (escape)



Nota: se muestra el proceso de escape en la cámara de combustión Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi [T-UTC-0813.pdf](#)

## **2.4. Análisis de emisiones de gases contaminantes.**

Los vehículos automotores propulsados por motores de combustión interna producen, en general, dos tipos principales de emisiones de gases contaminantes: emisiones evaporativas y emisiones por el tubo de escape.

Los principales contaminantes del aire que respiramos emitidos por los vehículos son:

- Monóxido de carbono, (CO), gas venenoso que combinado con la hemoglobina de la sangre; reduce, en última instancia, el flujo de oxígeno necesario para las actividades corporales.
- Hidrocarburos, (HC), moléculas orgánicas precursoras de la formación de ozono, que pueden ser tanto tóxicas como carcinógenas y los hidrocarburos quemados parcialmente que originan el hollín.
- Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), reacciona con la humedad para generar lluvia ácida y partículas que afectan las vías respiratorias. Este gas reduce también la eficiencia del catalizador instalado en los vehículos.
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), precursores del ozono e irritantes de las vías respiratorias; reaccionan con la humedad para formar lluvia ácida y propician la generación de partículas. Los hidrocarburos quemados parcialmente y los compuestos derivados de los óxidos de azufre y nitrógeno dan origen a partículas que, por su tamaño menor a 10 micras, penetran los alvéolos pulmonares, con lo cual agravan las enfermedades respiratorias y cardiovasculares además pueden desencadenar efectos carcinógenos.

Las partículas menores a 2.5 micras dispersan la luz y por ello reducen la visibilidad. Las emisiones vehiculares suelen clasificarse en dos categorías: evaporativas y de escape. En México las normas para los vehículos nuevos, estipuladas a partir de pruebas que se efectúan en fábrica, sólo incluyen las emisiones de escape y establecen un límite expresado en gramos por kilómetro en las emisiones de CO, HC y NOx. El límite es el mismo sin importar la cilindrada. Sin embargo, en las pruebas obligatorias de verificación vehicular se establece un límite que se expresa en porcentaje del volumen, por lo que, si dos vehículos de diferente cilindrada arrojan la misma concentración de HC y CO, el de mayor cilindrada arroja una mayor cantidad de contaminantes que el otro.

A continuación, se describen de manera muy breve su importancia específicamente en términos de sus impactos en la salud y el ambiente (INESEMARNAT, 2005):

- Hidrocarburos (HC): Las emisiones de hidrocarburos resultan cuando no se quema completamente el combustible en el motor. Existe una gran variedad de hidrocarburos emitidos a la atmósfera y de ellos los de mayor interés, por sus impactos en la salud y el ambiente, son los compuestos orgánicos volátiles (COV). Estos compuestos son precursores del ozono y algunos de ellos, como el benceno, formaldehído y acetaldehído, tienen una alta toxicidad para el ser humano.

- Monóxido de carbono (CO): El monóxido de carbono es un producto de la combustión incompleta y ocurre cuando el carbono en el combustible se oxida sólo parcialmente. El monóxido de carbono se adhiere con facilidad a la hemoglobina de la sangre y reduce el flujo de oxígeno en el torrente sanguíneo ocasionando alteraciones en los sistemas nervioso y cardiovascular.

- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): Bajo las condiciones de alta temperatura y presión que imperan en el motor, los átomos de nitrógeno y oxígeno del aire reaccionan para formar monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y otros óxidos de nitrógeno menos comunes, que se conocen de manera colectiva como NO<sub>x</sub>. Los óxidos de nitrógeno, al igual que los vehículos automotores como fuente de emisión hidrocarburos, son precursores de ozono. Así mismo, con la presencia de humedad en la atmósfera se convierten en ácido nítrico, contribuyendo de esta forma al fenómeno conocido como lluvia ácida. La exposición aguda al NO<sub>2</sub> puede incrementar las enfermedades respiratorias, especialmente en niños y personas asmáticas. La exposición crónica a este contaminante puede disminuir las defensas contra infecciones respiratorias.

(Los vehículos automotores como , s.f.)

dispositivos para reducir la contaminación

Como medida de protección al ambiente, la industria automotriz se ha dado a la tarea de diseñar algunos dispositivos que ayuden en la reducción de agentes contaminantes. Estos pueden añadirse al combustible o participar en el proceso de combustión de forma eficaz.

Dentro de los más usados se encuentran:

- Uso de un Catalizador: Este es uno de los más conocidos y consiste en reducir los efectos de la emisión de gases al ejecutar reacciones catalíticas de oxidación o reducción. Es eficaz frente al monóxido de carbono, hidrocarburos y NO<sub>x</sub>.
- Filtro antipartículas: Se trata de un dispositivo que permite retener el humo, hollín y todos los elementos resultantes de la combustión en motores diésel.

- Válvula EGR: Hace referencia a una válvula que reenvía parte de los gases de escape al colector de admisión cuando el motor trabaja a carga parcial. Con ello, logra reducir las emisiones hasta en un 50%.
- Otro modo efectivo es mantener el funcionamiento del vehículo en perfecto estado, incluyendo el tubo de escape. Esta sencilla medida, evita una combustión incorrecta y con ella un exceso en la emisión de gases que contaminan

### **Capítulo 3. El oxihidrógeno como combustible en un motor de combustión interna.**

#### **3.1. Gas HHO (Oxhídrico).**

El gas oxhídrico u oxihidrógeno es una mezcla de hidrógeno diatómico y oxígeno en una relación molar 2:1. Su proceso de combustión produce agua y 142.35 KJ de calor por cada gramo de hidrógeno. Dentro de sus propiedades destacan su energía mínima de ignición, la cual está alrededor de los 0.02 mJ, y su inflamabilidad en condiciones de temperatura de 298 k y presión de 1 atm en aire seco va desde 4% hasta 94% de HHO. Su método de obtención es mediante el proceso de electrólisis del agua.

El proceso de electrólisis para la obtención del HHO consiste en la descomposición de las moléculas de agua ( $2H_2O$ ) en oxígeno ( $O_2$ ) e hidrógeno ( $2H_2$ ), mediante la circulación de una corriente eléctrica en el agua.



La producción de gas está directamente relacionada con la corriente que circula por la celda, esto según la ley de la electrólisis de Faraday. El volumen producido de HHO se puede calcular utilizando la ecuación de Faraday para la electrólisis y la ecuación de los gases ideales.

$$m = \frac{EIt}{F}$$

$$pv = nRT$$

Donde m representa la masa de la sustancia producida en el electrodo (g), E el peso equivalente (g/mol), I la intensidad de corriente (A), t el tiempo (s) y F es la constante de Faraday (96500 C/mol), P representa la presión (atm), v el volumen (L), n es el número de moles, R la constante universal de los gases (0,082 atm L/mol°K) y la temperatura °K.

(A. O. Diaz Rey, s.f.)

### **3.2. Cambios sugeridos para un óptimo funcionamiento al vehículo.**

Como ya se ha visto en los puntos anteriores el oxihidrógeno tiene muchas propiedades físicas y químicas favorables para usarlo como combustible en un motor de combustión interna, sin embargo, es necesario hacer algunos cambios al motor de combustión interna que conocemos actualmente para así poder aprovechar al máximo esta energía limpia. A continuación, se muestran algunos problemas y soluciones que se presentan al usar el HHO como aditivo al combustible principal.

#### **3.2.1. Bujías.**

El primer cambio que se considera importante es referente a las bujías, estas deberán ser de tipo frías y no deberán disponer de punta de platino, debido a que el platino es un catalizador, promoviendo la ignición. Los conectores de tipo frío están diseñados para enfriarse rápidamente

y, por lo tanto, evitar la posibilidad de actuar como bujía incandescente causando la pre ignición. Las bujías con punta de alambre fino de iridio son las que mejor actuarían en los motores de combustión interna de hidrógeno. Las bujías deberán situarse con espacios en torno a 0,0381 cm., aunque se han realizado pruebas colocándolas a distancias de tan solo 0,0178 cm del pistón. No obstante, no se recomiendan distancias superiores a 0,0635 cm o más, aunque el motor seguiría funcionando correctamente.

### 3.2.2. Aceite.

El segundo cambio se refiere al tipo de aceite lubricante utilizado. Deberá utilizarse aceite sintético con el fin de evitar la, pirólisis, causado por pequeñas zonas calientes de la cámara de combustión, que llegaron a provocar la pre ignición del combustible. La, pirólisis es un proceso de descomposición térmica que puede llegar a destruir el aceite y descomponerlo. Con el fin de evitar que suceda esto, deberán instalarse sistemas de ventilación del cárter y separadores de aceite. Además, para reducir la posibilidad de que se filtre aceite en la cámara de combustión se recomienda aplicar recubrimiento de diamante en los asientos de las válvulas, mientras que los pistones deberán fabricarse de material hipereutéctico y deberán ser de tipo “faldón” con tolerancias mucho menores a las normales. Realizando un control en los gases de escape para detectar la presencia de hidrocarburos nos indicará el buen sellado del motor (en lo que se refiere a no permitir que el aceite pase a la cámara de combustión). (Rodrigo, 2016)

### 3.2.3. Problemas y soluciones del pre-encendido.

El principal problema que ha surgido con el desarrollo de los motores que operan con oxihidrógeno es la ignición prematura del mismo. La ignición prematura es un problema mucho mayor en motores de hidrógeno que en cualquier otro tipo de motores de combustión interna,

debido a la menor energía de ignición del hidrógeno, un mayor rango de inflamabilidad y una menor distancia de apagado. Tanto en los motores alimentados por gasolina como en los que funcionan a base de hidrógeno, el mecanismo por el cual se produce el pre-encendido es el mismo.

Gracias a una serie de experimentos, se ha logrado eliminar algunas de estas posibles causas del pre-encendido en motores de combustión interna. En primer término, la posibilidad de que los gases de escape sean los responsables de este problema se desecha debido a que el tiempo durante el cual coexisten estos gases con la nueva mezcla entrante en el cilindro no es lo suficientemente largo como para que se produzca la ignición. Debido a esto, se ha tratado de eliminar las zonas calientes de la cámara de combustión por medio de la refrigeración de válvulas con sodio o incluyendo bujías construidas con materiales que tengan elevados coeficientes de conductividad térmica.

La mejor solución consiste en reducir el volumen de la cámara de combustión sin variar de forma significativa la superficie de esta. Supongamos que se reduce en un 30% el volumen de una determinada cámara de combustión sin cambiar significativamente el área de la superficie del cilindro. Pues bien, entonces los gases residuales serán enfriados un 30% más rápido que antes. Gracias a esto, además, habremos aumentado la relación de compresión en un 37,5%, lo cual implicaría, en un ciclo Otto, un aumento del rendimiento termodinámico del 5%.

Así pues, se ahorraría combustible y se conseguiría un descenso de la temperatura de los gases de escape mediante la reducción de las pérdidas de calor y la mejor conversión de la energía del combustible en trabajo, además de solucionar el problema del pre-encendido.

Otro sistema que se ha ideado para evitar los problemas del pre-encendido es utilizando técnicas de disolución térmica, tales como la recirculación de gases de escape (EGR) o la inyección de agua.

#### **3.2.4. Cambios estructurales.**

Debido al aumento de la compresión, deberemos realizar una serie de cambios estructurales para que los motores puedan funcionar con hidrógeno, por ejemplo:

- Reforzar todos aquellos elementos que transmitan fuerza, como bulones de los pistones, cigüeñal y bielas.
- Es posible que se deba modificar también la posición de los segmentos debido a estas sobrepresiones.

#### **3.3. Sistemas de suministro de combustible.**

Existen tres sistemas de suministro de hidrógeno al motor: carburación, por conducto y de inyección directa.

##### **3.3.1. Carburación.**

El método más simple de entregar combustible al motor es utilizando un carburador. Además de resultar el método más simple, es el que mejor permite pasar de un motor de gasolina a un motor de hidrógeno. Otra ventaja que supone emplear la carburación en un motor de combustión interna de hidrógeno es que no se requiere una presión de suministro del combustible tan elevada como en otros métodos de suministro.

El inconveniente de la carburación es que resulta más susceptible a la combustión irregular, problemas de pre-encendido y retroceso de llama.

La mayor cantidad de mezcla aire/hidrógeno dentro del conducto de admisión agrava los efectos del pre-encendido.

#### Capítulo 4. Desarrollo del proyecto

Para realizar el proyecto se eligió una motocicleta Italika RC 150cc 2019 cuyos datos técnicos y características nos da a conocer el fabricante y se muestran en la siguiente tabla:

##### Motor

<b>Calibre Y Carrera</b>	<b>56.5 X 49.5</b>
<b>Relación De Compresión</b>	9.5: 1
<b>Cilindrada</b>	124 cm <sup>3</sup>
<b>Bujía</b>	DPR8EA-9(NGK)
<b>Estándar</b>	X24EPR-U9 (DENSO)
<b>Para circular prolongadamente a altas velocidades</b>	DPR9EA-9(NGK) X27EPR-U9(DENSO)
<b>Huelgo De Bujía</b>	0.8-0.9mm
<b>Velocidad De Ralentí</b>	1.400 +- 100min <sup>-1</sup> (rpm)
<b>Cilindrada</b>	149.0 cc
<b>Tipo De Motor</b>	Motor mono cilíndrico, 4 tiempos
<b>Potencia</b>	11.4 cv (8.3 KW) a 8500 RPM

<b>Par Motor</b>	10.0 Nm (1.0 Kgf-m o 7.4 ft.lbs) a 6500 RPM
<b>Transmisión final</b>	Cadena
<b>Capacidad de combustible</b>	15.50 litros (4.10 galones)
<b>Capacidad de aceite</b>	1 lt (4.10 galones)
<b>Velocidad máxima</b>	100.0 km/h (62.1 mph)

**Tabla 2. Datos técnicos de la motocicleta dados por el fabricante**

**Ilustración 17 Motocicleta Italika RC 150CC**



Nota: Motocicleta utilizada para este proyecto ::[Choppers: \(italika.mx\)](http://Choppers.italika.mx)

#### **4.1. Diseño y construcción de la celda de gas oxihidrógeno.**

Toda la construcción de la celda se realizó en el laboratorio L1” Diseño y Manufactura”.

En el diseño de la celda se consideró lo siguiente:

- El espacio disponible en la motocicleta.
- La forma más eficiente de transportar el gas al vehículo.
- La seguridad para que el sistema no ocasione lesiones.

Este tipo de dispositivo (celda seca); está compuesto por dos tapas en sus extremos y entre ellas se encuentran placas de acero inoxidable 1316 que hacen de electrodos separadas entre ellas por juntas de neopreno.

Las tapas de los extremos son de metal, el diseño de la celda está configurado de tal forma que las tapas de los extremos nunca son energizadas y se mantienen aisladas de la corriente de alimentación de la celda esto se logró utilizando separadores de neopreno. Como se puede observar el generador está conformado de varias partes por tal motivo se diseñará cada una de las piezas, especificando su tamaño, material y forma.

La primera pieza en fabricar son las tapas de los extremos las cuales serán piezas rectangulares con orificios para los tornillos que servirán para sellar la celda.

la tapa trasera tiene medidas de 6cm de ancho x 20cm de alto, así mismo la tapa delantera tiene medidas de 6cm de ancho x 17cm de alto.

**Ilustración 18. Tapa trasera de la celda**



Los agujeros más pequeños son de 1cm de diámetro servirán para poder insertar los tornillos, como también ayudará a ajustar las placas y juntas, consiguiendo así la hermeticidad en el sistema, además la placa delantera tendrá agujeros de 2.5cm de diámetro; el agujero de la parte superior será para la salida de oxígeno e hidrógeno así como el de la parte inferior será para la entrada del electrolito; para poder transportar el gas desde el generador a él carburador se utilizaron niples de campana para gas que serán fijadas en el metal por medio de una pieza maquinada en el área de torno del laboratorio L1 “Diseño y manufactura” de nuestra facultad, con un Coll roll y cuerda de ¼ NPT soldado a la tapa de metal junto con niples en forma de codo, todo con espiga para manguera de 1/4.

#### **Ilustración 19. Tapa delantera de la celda**



Para poder ordenar las placas de acero inoxidable se debe tener en cuenta la configuración; en nuestro caso se ordenó de la siguiente manera:

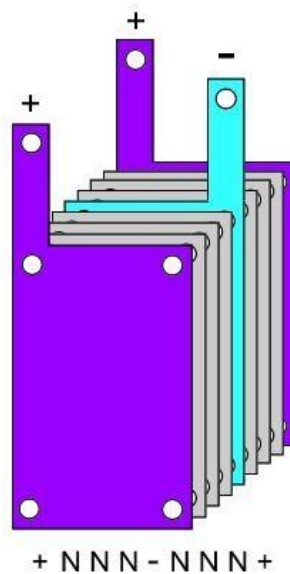
Las placas neutras sirven para reducir la diferencia de potencial que hay entre los electrodos. Si solo ponemos dos electrodos, uno positivo y uno negativo, la diferencia de potencial que hay entre ellos, será el voltaje suministrado es decir los 12v. En cambio, si colocamos placas neutras entre los electrodos la diferencia de potencial será menor. En este caso, la tensión entre los electrodos sería de 2 volts aproximadamente, ya que la tensión es de



12 volts, entre el positivo y el negativo hay 5 placas neutras, si dividimos los 12 volts entre 5, nos da la diferencia de potencial que es de 2 volts aprox.

Acercándonos a los 1.73 volts necesarios para comenzar la electrólisis de forma eficiente.

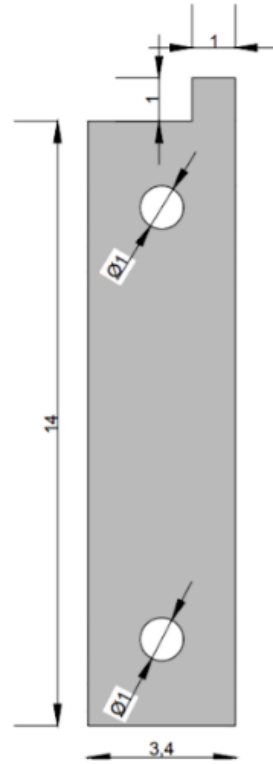
**Ilustración 20. Configuración de los electrodos de la celda electrolítica para nueve placas.**



Nota: se muestra la configuración de una celda seca de 9 placas [\(39\) Pinterest](#)

La siguiente pieza en construir serán las placas de acero inoxidable de calidad 1316 tanto neutras como con polaridad, son 7 placas metálicas de dimensiones de 3.4x 14 cm con una pestaña de .5x1 cm para poder realizar la conexión de la corriente como se muestra

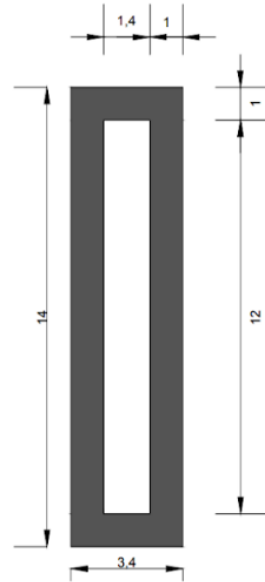
**Ilustración 21. Forma de los electrodos de la celda**



Nota: en la imagen de la derecha se puede apreciar la forma física del electrodo y en la izquierda se puede observar el diseño en AutoCAD con las medidas necesarias.

El siguiente elemento son los separadores entre cada placa, utilizamos neopreno de 1.5mm de espesor y de medidas 3.4 x 14 cm como se muestra.

## Ilustración 22. Neopreno o separadores de la celda



Nota: En la imagen de la derecha se puede observar la forma real de la junta de neopreno y en la imagen de la izquierda se puede apreciar el diseño en AutoCAD con sus respectivas medidas.

## Ilustración 23. Celda electrolítica



#### **4.2. Fabricación de arresta llamas.**

Se fabricaron arresta llamas para seguridad ante un retroceso de la llama hacia la celda y evitar una explosión.

Se eligió arena silica para sand blast, se utilizó un tubo de cobre de 10, el cual se llenó de arena y vidrio molido se colocaron niples de espiga para manguera de ¼.

**Ilustración 24. Arresta llamas**



#### **4.3. Depósito del electrolito.**

Para realizar el depósito se utilizó un tubo de PVC de 3 pulgadas con su conector y sus tapas. Se colocaron espigas de plástico de ¼ para manguera y se realizó la unión de los materiales con un pegamento epóxico, también se colocó una manguera por dentro del depósito en la entrada de gas esto con la finalidad de que el gas producido por la celda este burbujeando en el interior del mismo, esto es por seguridad y para que el nivel del agua no exceda y se pase

al carburador, también se le colocó una capa de fibra de vidrio alrededor de todo el depósito para evitar fugas.

**Ilustración 25. Depósito para el electrolito**



Nota: En la imagen de la izquierda se aprecia la forma final del depósito y en la imagen de la derecha se puede observar la manguera en el interior del depósito para hacer burbujear el gas.

#### 4.4. Selección del electrolizador.

Una vez diseñado y construida la celda se tomó la decisión de trabajar con hidróxido de sodio (sosa caustica NaOH) en presentación de micro perlas esto debido a las características químicas del mismo también una tabla comparativa que mostramos a continuación, el costo se evaluó con 1kg, así como su accesibilidad y el nivel de corrosión que provoca en los electrodos:

<b>ELECTROLIZADOR</b>	<b>COSTO</b>	<b>ACCESIBILIDAD</b>	<b>NIVEL DE CORROSIÓN</b>
<b>KOH</b>	410	Es más difícil de conseguir	Baja
<b>NAOH</b>	209	Se pueden conseguir en cualquier parte	Media
<b>NACL</b>	32	Se pueden conseguir casi en cualquier parte	Baja

**Tabla 3. Comparación de accesibilidad y costo de diferentes electrolitos**

#### 4.5. Pruebas y resultados de la celda de HHO.

Todas las pruebas de la celda electrolítica se realizaron en el laboratorio L2 “Térmica y fluidos”.

##### Ilustración 26. Pruebas de celda electrolítica



Nota: pruebas realizadas para medir la producción de gas de la celda en el laboratorio “L2”.

Existen variables que influyen en la producción de gas oxihidrógeno:

1. El tamaño o la sección transversal de los electrodos por el cual circula la corriente eléctrica; debido a que nos vemos limitados por el espacio disponible en la motocicleta para poder adaptar el dispositivo el tamaño de los electrodos está en función del espacio disponible.
2. El PH de la solución. Esto estará en función del agua y del electrolito usado.
3. La temperatura; Se necesita tener una temperatura ambiente y no rebasar este límite,

Se realizan diferentes pruebas bajo las mismas condiciones de molaridad y pH, así como de temperatura en la solución y se mide la cantidad de gas producido mediante el método de desplazamiento de líquido.

Se realiza una mezcla de 1 litro de agua destilada y 8 gramos de sosa caustica, el electrolito se pesa en una balanza electrónica., se realiza la mezcla. Se realizan mediciones del flujo de gas producido en función de la corriente aplicada a la celda. esta corriente se mide con un multímetro y además en la caratula de la fuente utilizada también es apreciable la corriente suministrada por la misma. Las variaciones de corriente están sujetas a la concentración y tipo de electrolito.

Por medio del método de desplazamiento líquido, se mide la cantidad de oxihidrógeno producido por la celda. Para ejecutar esta medición, se coloca una probeta con una resolución de 500ml colocada en un soporte universal verticalmente invertida sobre el tanque de agua y se introduce la manguera dentro de la probeta para extraer el aire; cuando la probeta está totalmente llena de agua, entonces se le inyecta oxihidrógeno, el cual desplaza el agua. Se toma la cantidad de agua desplazada en un tiempo de un minuto, para obtener la producción en mililitros por unidad de tiempo.

#### Producción de gas (l/m)

Se realizaron pruebas con diferentes configuraciones de la celda, es decir, con diferentes cantidades de polos negativos, positivos y neutros esto en función del número de celdas por cada configuración

Las pruebas se realizaron bajo las mismas condiciones de PH, temperatura y molaridad así mismo se utilizó una fuente de alimentación para energizar la celda como se muestra en la imagen.



### Ilustración 27. Pruebas realizadas en el laboratorio I2 “Térmica y fluidos”



Nota: En la imagen se puede apreciar el experimento para medir el gas con el método de desplazamiento de líquido.

- El electrolito usado fue la sosa caustica (NaOH) disuelta en 1 lt de agua, Se utilizo una cantidad baja de sosa 24.38g, es decir con una concentración molar del 20%
- La temperatura tomada antes de la electrólisis de la solución fue de 25.1 °C
- El PH del agua se obtuvo con un medidor de PH digital como el que se muestra en la ilustración 28.

### Ilustración 28. Medidor de PH digital.



Nota: Medidor seleccionado para realizar las mediciones de PH

El PH del agua utilizada fue de 7.45 y después de realizar la disolución de la sosa caustica en el agua se obtuvo un PH de 11.18

	<i>7 placas</i>	<i>9 placas</i>	<i>13 placas</i>
<i>Amperaje</i>	.330	2.42	3.51
<i>(Imp)</i>			
<i>caudal</i>	50	180	240
<i>(Lt/min)</i>	ml/min	ml/min	ml/min

**Tabla 4. Producción de gas HHO producidos por la celda electrolítica**

#### **4.6. Adaptación de la celda a la motocicleta.**

Se localizo el lugar más óptimo para poder adaptar la celda y el depósito sin quitar espacio y sin modificar nada en el vehículo, además se buscó tener una buena refrigeración para que la celda no eleve su temperatura con su funcionamiento y se mantenga a una temperatura optima.

#### **Ilustración 29 Adaptacion del sistema en la motcicleta**



Nota: En la imagen se puede apreciar la forma de en la que se instalo en la motocicleta.

Se coloco el arresta llamas dentro del depósito del filtro de aire y se sujetó con la rejilla que esta antes del carburador para estar lo más cerca posible de la mariposa del mismo; No se necesita colocar dentro del carburador ya que el motor al tomar aire del medio ambiente

aspira también el HHO sin necesidad de acercarlo tanto al carburador y exponer menos a una explosión por la combustión, mejorando la seguridad ante un retroceso de la llama.

**Ilustración 30. Adaptación para la entrada del gas en el filtro de aire en la motocicleta.**



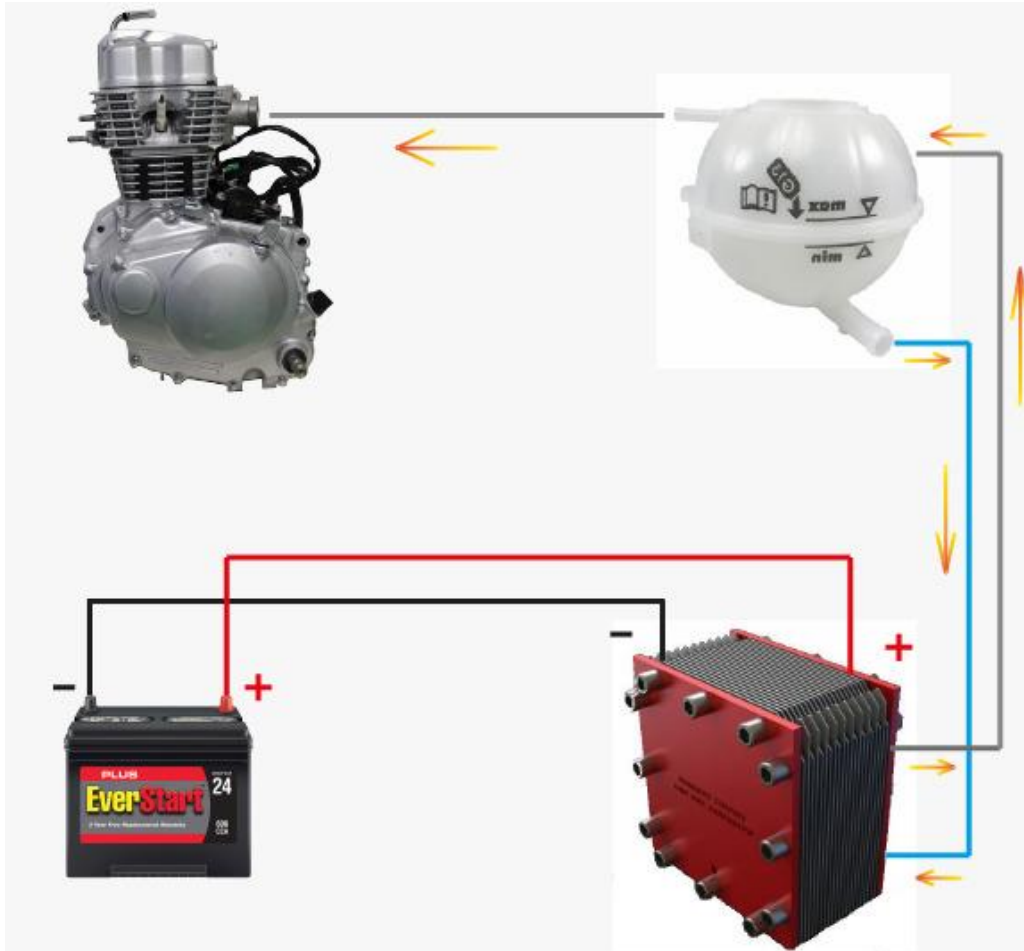
Nota: La forma en la que se colocó la manguera con el gas y el arresta llamas en el extremo de la misma, quedo instalada en el filtro de aire para que el motor absorba el gas con el aire del medio ambiente.

**4.7. Conexiones eléctricas de la celda en la motocicleta.**

Se realizó un circuito con un relevador y un swich conectado a la batería para poder dar energía a la celda y tener una forma de conectar y desconectar el dispositivo cuando se requiera.

Diagrama del sistema

**Ilustración 31. Esquema de producción de gas HHO**



#### **4.8. Análisis y resultados de la eficiencia del gas HHO usado como aditivo en un motor de combustión interna.**

El análisis del rendimiento de la gasolina se realizó de la siguiente manera: se hicieron recorridos con y sin la celda bajo las mismas condiciones de velocidad promedio, distancia y revoluciones en el motor teniendo un recorrido normal en la ciudad.

La distancia de recorrido para las 3 pruebas fue de aproximadamente de 33km a una velocidad promedio de 50km/h con unas revoluciones de entre 7000 a 8000 revoluciones/min.

Para realizar la medición del consumo de combustible se fabricó un dispositivo que nos permitió tener un nivel de llenado del tanque de gasolina para las 3 pruebas; posteriormente se efectuó el recorrido de la prueba y una vez finalizado se volvió a llenar hasta el nivel del dispositivo fabricado, durante el llenado del tanque se midió la cantidad en ml de gasolina usados. Con una probeta de un litro para saber exactamente la cantidad de combustible usado en ml.

**Ilustración 32. Dispositivo creado para la medición de la gasolina usada por cada recorrido de prueba.**



Nota: El dispositivo fue creado para tener una referencia del nivel de gasolina para poder tener una referencia para obtener el consumo de gasolina en el vehículo.

Para obtener el cálculo de rendimiento en km/lt se dividió los kilómetros recorridos entre los ml de gasolina utilizados dando como resultado los siguientes datos mostrados para diferentes configuraciones de la celdas y flujos constantes de gas.

<i>Tipo de prueba</i>	<i>Km recorridos</i>	<i>ml de gasolina utilizados</i>	<i>Rendimiento en km/lt</i>
<i>Sin HHO (sin celda)</i>	34.2	985	28.8
<i>Con 9 placas</i>	34.2	760	43.73
<i>Con 13 placas</i>	34.6	740	46.75

**Tabla 5. Resultados del rendimiento de la gasolina con y sin HHO.**

#### **4.9. Análisis de gases de escape.**

Es un diagnóstico que permite evaluar la cantidad de emisiones que está produciendo un vehículo. El motor lleva a cabo un proceso de combustión del que se obtienen diversos gases, como el monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, dióxido de carbono, nitrógeno y oxígeno, entre otros. En este sentido, este análisis nos permite establecer la proporción de cada gas, así como su concentración, dando lugar a una evaluación precisa sobre el desempeño del motor.

para realizar la prueba de emisiones se eligió un pre-verificentro el cual tiene un banco, así como el software específico para realizar las pruebas.

**Ilustración 33. Banco utilizado para las pruebas de emisiones.**



Nota: Las pruebas de emisiones se realizaron en un pre verificentro, se puede apreciar en la imagen el zonda que entra al escape para medir las emisiones producidas.



#### **4.10. Protocolo de pruebas de emisiones.**

La medición se realiza cuando el vehículo está en la temperatura de funcionamiento y la transmisión del mismo se encuentra en neutro. Para el estudio se realizaron dos pruebas, en bajas revoluciones (ralentí 1800 rpm) y en altas revoluciones (4000 rpm). El tiempo de medición es aproximadamente 30 segundos en cada prueba, para asegurarse de que el vehículo esté estable. La medición estática de gases se realizó para cuatro parámetros que son hidrocarburos no combustionados HC (ppm), monóxido de carbono CO (%V), dióxido de

carbono CO<sub>2</sub> (%V) y oxígeno O<sub>2</sub> (%V). Para la realización de las pruebas se sigue el protocolo que se describe en los siguientes nueve puntos:

(1) Revisar que accesorios del vehículo tales como luces, aire acondicionado, etc. no se encuentren funcionando;

(2) Verificar que el motor se encuentre a la temperatura normal de funcionamiento;

(3) Verificar que la transmisión del vehículo se encuentre en neutro;

(4) Introducir totalmente la sonda en el tubo de escape, verificando previamente la limpieza de la misma y asegurarse que quede fija dentro del sistema de escape durante la medición;

(5) Para tomar la medida en marcha mínima o ralentí, las revoluciones no deben ser mayores a 1500 rpm. Caso contrario la prueba no podrá realizarse;

(6) Acelerar hasta 4000 rpm y 40km/pH para efectuar la medición en altas revoluciones, mantener estable el acelerador y tomar la medida.

**Tabla 6. Resultado de prueba en ralentí sin celda.**

<b>HC</b>	<b>464</b>	<b>PPM</b>
<b>CO</b>	2.41	%
<b>CO2</b>	9.8	%
<b>O2</b>	3.66	%
<b>NOX</b>	47	PPM

**Tabla 7. Resultado de prueba en ralentí con la celda.**

<b>HC</b>	<b>452</b>	<b>PPM</b>
<b>CO</b>	2.29	%
<b>CO2</b>	9.8	%
<b>O2</b>	3.63	%
<b>NOX</b>	45	PPM

**Tabla 8. Resultados obtenidos de la prueba de emisiones a 4000RPPM y 60 km7h  
utilizando solo gasolina.**

<b>HC</b>	<b>932</b>	<b>PPM</b>
<b>CO</b>	4.60	%
<b>CO2</b>	10.5	%
<b>O2</b>	0.93	%
<b>NOX</b>	409	PPM

**Tabla 9. Resultados obtenidos de la prueba de emisiones a 4000RPPM y 60 km7h  
utilizando la gasolina y el HHO como aditivo.**

<b>HC</b>	<b>753</b>	<b>PPM</b>
<b>CO</b>	3.21	%
<b>CO2</b>	11.4	%
<b>O2</b>	0.93	%
<b>NOX</b>	449	PPM

## **RECOMENDACIONES.**

- El dispositivo debe instalarse en una parte de la motocicleta que no presente una elevada temperatura y tenga una correcta ventilación para evitar el calentamiento de la celda.
- La celda debe encenderse hasta que el motor esté en funcionamiento; esta misma se acciona mediante un botón independiente en la moto, se debe tener especial cuidado al apagar la motocicleta recordar también apagar la celda.
- La celda de oxihidrógeno requiere de un mantenimiento periódico para mantenerla en un estado óptimo el cual consiste en desarmarla para poder limpiar perfectamente con alcohol isopropílico tanto las placas como las juntas o neoprenos y de esta manera evitar mezclar cualquier resto de la solución anterior y así evitar alteraciones en la nueva solución que se coloque después de la limpieza de la celda.
- El electrolito no debe permanecer mucho tiempo en el dispositivo, se puede apreciar cómo se contamina y produce menos gas por tal motivo se debe cambiar regularmente la solución.
- Se debe considerar siempre mantener en buen estado el fusible del dispositivo, así como del switch y el relevador que sirven para energizar la celda para producir hidrogeno.

## Costo y evaluación del proyecto

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO
<b>Celda De HHO</b>			
Lamina de acero inox L316 de calibre 14 de espesor de 1m x 1m	m	1	1500
coplees en codo para gas de 1/4"	in		
Abrazaderas de 3/8" de acero inox	in	2	10
Tornillos de 2" con rondana de seguridad y tuerca	in	10	3
	m	198	1
Barra solida de 1/2 X 1 Metro			
<b>Depósito de electrolito</b>			
Tubo de PVC de 3" de 30cm de largo		1	20
Tapas de PVC de 3"		2	20

<b>Tubo 60 g pegamento para tubería de PVC bote amarillo</b>	m	<b>1</b>	<b>35</b>
<b>Lija de plomero</b>	m	<b>1</b>	<b>10</b>
<b>Espiga de manguera, 1/4" macho de plástico para manguera</b>		<b>3</b>	<b>10</b>
<b>Pegamento Pegatanke transparente</b>	46gr	<b>1</b>	<b>165</b>
<b>Manguera transparente de 1/4</b>	m	<b>3</b>	<b>20</b>
<b>Abrazaderas de 3/8" de acero inox</b>		<b>5</b>	<b>10</b>
<b>Arresta llamas</b>			
<b>Fibra de acero inoxidable</b>		<b>1</b>	<b>10</b>
<b>Conector rápido de acero cromado hembra tipo m</b>		<b>2</b>	<b>35</b>
<b>Tubo de cobre de 3/8"</b>	cm	<b>1</b>	<b>30</b>
<b>TOTAL</b>			<b>\$2268</b>

**Tabla 10. Costo del proyecto**

## **CONCLUSIONES.**

### **Pruebas de producción de HHO en la celda**

Al realizar el experimento se pudo apreciar que al tener un número de placas bajo se produce una buena cantidad de gas, con un bajo consumo de corriente; al ir incrementando el número de placas se pudo observar que, así como la producción de gas incremento también el consumo de corriente. La celda no presenta mucho calentamiento al estar operando y el consumo de corriente es constante no presenta mucha variación fue por ese motivo que no se necesitó utilizar un PWM para controlar la corriente que consume la celda.

### **Resultados de las pruebas de rendimiento en la motocicleta con y sin HHO**

En términos de km/lt se puede apreciar un mayor rendimiento de gasolina al colocar más placas en la celda esto debido a la mayor producción de HHO, cabe mencionar que a más flujo constante de gas se debe volver a carburar la moto para obtener una mezcla estequiométrica y por ende una mejor combustión; (pero no es el objetivo de este trabajo ya que lo que se busca es no modificar ningún elemento de la moto); Al tener una configuración de 9 celdas la motocicleta nos dio 14km/lt más de rendimiento y al tener una configuración de 13 placas se incrementó en casi 18km/lt de consumo de gasolina, Podemos apreciar una clara reducción en el uso del gasolina por kilómetro recorrido dándonos más autonomía en la motocicleta.

## **Resultados de las pruebas de emisión de gases contaminantes con y sin HHO**

Al tener los resultados de emisiones, podemos diagnosticar el estado de la combustión, En las pruebas de ralentí podemos observar que no hay mucha variación en el resultado de las emisiones sin embargo al realizar la prueba a altas revoluciones existe una considerable reducción en los hidrocarburos no quemados durante la combustión así mismo se pudo apreciar un aumento en el CO<sub>2</sub> este gas al estar más elevado indica una mayor eficiencia en el motor.

De manera general el dispositivo funciona según lo esperado, pero para obtener mejores resultados en términos de eficiencia se deben realizar cambios en el motor, uno de los principales cambios debe ser la bujía para tener una mejor explosión, de igual forma se debe volver a carburar la moto para poder tener una mezcla estequiométrica, con estos cambios en el motor se puede mejorar la combustión del motor y obtener mejores resultados tanto en emisiones como en el rendimiento del motor y de la gasolina.



## BIBLIOGRAFÍA

A. O. Diaz Rey, J. E.-E. (s.f.). *Análisis de un generador de HHO de celda seca para su aplicación en motores de combustión interna*. Obtenido de Revista UIS Ingenierías:

<https://www.redalyc.org/journal/5537/553756967014/html/>

ARMIJO, J. I. (ENERO de 2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA*

*DEMOSTRATIVA PARA*. Obtenido de

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152701/Dise%C3%B1o-y-construcci%C3%B3n-de-una-celda-demostrativa-para-la-producci%C3%B3n-de-hidr%C3%B3geno-a-partir-de-la-electr%C3%B3lisis-del-agua.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Burns., R. A. (2002). *Fundamentos de química*.

CERVANTINO, C. D. (28 de AGOSTO de 2015). *La Electrólisis*. Obtenido de

<https://www.quimicas.net/2015/08/la-electrolisis.html>

Connor, N. (01 de OCTUBRE de 2020). *thermal-engineering*. Obtenido de Qué es el ciclo de

Otto – Motor de Otto – Definición: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-ciclo-de-otto-motor-de-otto-definicion/>

*EL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA*. (s.f.). Obtenido de

<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1155/1/T-UTC-0813.pdf>

*FISICA\_TERMODINÁMICA*. (s.f.). Obtenido de COMPONENTES DE UN MOTOR DE

GASOLINA (I): <https://techcri.wordpress.com/componentes-de-un-motor-de-gasolina-i/>

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18571/GENERACI%C3%93N%20DE%20ENERG%C3%8DA%20EL%C3%89CTRICA%20A%20PARTIR%20DE%20HIDR%C3%93GENO%20OBTENIDO%20POR%20MEDIO%20DE%20ELECTR%C3%93LISIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (2016).

*<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18571/GENERACI%C3%93N%20DE%20ENERG%C3%8DA%20EL%C3%89CTRICA%20A%20PARTIR%20DE%20HIDR%C3%93GENO%20OBTENIDO%20POR%20MEDIO%20DE%20ELECTR%C3%93LISIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>*. Obtenido de

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18571/GENERACI%C3%93N%20DE%20ENERG%C3%8DA%20EL%C3%89CTRICA%20A%20PARTIR%20DE%20HIDR%C3%93GENO%20OBTENIDO%20POR%20MEDIO%20DE%20ELECTR%C3%93LISIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Interlab. (2020). *Qué es la electrólisis del agua y cómo se produce*. Obtenido de <https://net-interlab.es/electrolisis-del-agua/>

Jalet, J. C. (Agosto, de 2016). *UTILIZACIÓN DEL OXIHIDRÓGENO COMO ADITIVO* .

Obtenido de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica:

<https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2017/05/Tesis-JuanCarlosSanchez.pdf>

Jorge, A. G. (2013). *Diseño y construcción de electrolizador de agua para obtención de oxihidrógeno como gas combustible*. Obtenido de

<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/11800/1/14.pdf>

Lopez, M. (s.f.). *Armado de celda seca*. Obtenido de <http://tecverde.mex.tl/frameset.php?url=/>

*Los vehículos automotores como* . (s.f.). Obtenido de Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares:

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/618/vehiculos.pdf#:~:text=La%20contri buci%C3%B3n%20de%20las%20emisiones%20de%20los%20veh%C3%ADculos,las%20emisiones%20totales%20estimadas%20de%20compuestos%20org%C3%A1nicos%20v ol%C3%A1tiles.>

M, Jose Font Mezquita Juan F. Dols Ruiz. (s.f.). *Tratado sobre automoviles* (Vol. I Tecnologia del automovil). (U. P. Valencia, Ed.)

Martínez, H. G. (s.f.). *Instituto de Física* . Obtenido de

[https://www.fisica.unam.mx/personales/hgriveros/docu/Emisiones\\_vehiculares.295183343.pdf](https://www.fisica.unam.mx/personales/hgriveros/docu/Emisiones_vehiculares.295183343.pdf)

Miano, L. (diciembre de 2019). Obtenido de IDOCPUB: <https://idoc.pub/documents/variacion-de-la-conductividad-con-la-concentracion-9n0kvvge5k4v>

Miguel, E. (s.f.). *Implementacion de un generador de hidrogeno de celda seca en un vehiculo chevrolet steem 1.6L*.

MORENO, A. (15 de SEPTIEMBRE de 2010). *ABEL MOJICA mecatrónica automotriz* .

Obtenido de <https://mektronikar.blogspot.com/2010/09/motor-de-combustion-interna.html>

*PARTES FUNDAMENTALES DE UN MOTOR DE GASOLINA (I)*. (s.f.). Obtenido de

Fisica\_termodinamica: <https://techcri.wordpress.com/2-partes-fundamentales-de-un-motor-de-gasolina-i/>

Rodrigo, R. V. (2016).

*<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18571/GENERACI%C3%93N%20DE%20ENERG%C3%8DA%20EL%C3%89CTRICA%20A%20PARTIR%20DE%20HIDR%C3%93GENO%20OBTENIDO%20POR%20MEDIO%20DE%20ELECTR%C3%93LISIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>*. Obtenido de

*<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18571/GENERACI%C3%93N%20DE%20ENERG%C3%8DA%20EL%C3%89CTRICA%20A%20PARTIR%20DE%20HIDR%C3%93GENO%20OBTENIDO%20POR%20MEDIO%20DE%20ELECTR%C3%93LISIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>*

V., G. B. (2018). *Electrólisis*. Recuperado el Abril de 22 de 2022, de EUSTON96:

<https://www.euston96.com/electrolisis/>

Writer, C. (1 de FEBRERO de 2018). *Copyright © 2022 Leaf Group Ltd*. Obtenido de

geniolandia: <https://www.geniolandia.com/13075526/como-calculiar-el-volumen-del-gas-de-oxigeno>