



# **INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA**

---

---

**TEMA:**

**Prototipo de un generador de gas HHO  
como combustible sustentable**

**TESIS PROFESIONAL**

Para obtener el grado de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTA:**

**MARCO ARMANDO PÉREZ ZACARÍAS**

**DIRECTOR**

**M.C. DANIEL AGUAYO SIQUEIROS**

**CO-DIRECTOR**

**M.I. ALAN ANTONIO RICO BARRAGÁN**

**MISANTLA, VERACRUZ**

**JUNIO DE 2019**

# Hoja de autorización



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

FECHA: 31 de Mayo de 2019.

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS PROFESIONAL.

## A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente hago constar que el (la) C:

MARCO ARMANDO PÉREZ ZACARÍAS

pasante de la carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL con No. de Control 132T0147 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el **Manual de Procedimientos para la Obtención del Título Profesional de Licenciatura** bajo la opción Titulación Integral (Tesis Profesional)

Por tal motivo se Autoriza la impresión del **Tema titulado:**

**“PROTOTIPO DE UN GENERADOR DE GAS HHO COMO COMBUSTIBLE SUSTENTABLE”**

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del Acto de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE

  
\_\_\_\_\_  
ING. GERBACIO TLAXALO ESPINOZA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



Archivo.

La tesis titulada **“PROTOTIPO DE UN GENERADOR DE GAS HHO COMO COMBUSTIBLE SUSTENTABLE”**.

Fue realizada por **MARCO ARMANDO PÉREZ ZACARÍAS**, bajo la dirección del Comité Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de

### **INGENIERIO AMBIENTAL**

#### Comité Particular

Director de Tesis	M.I. Daniel Aguayo Siqueiros	
Co-Director de Tesis	M.C. Alan Antonio Rico Barragán	
Revisor	M.Sc. Elizabeth Salazar Hernández	
Revisor	M.B. Guadalupe Corelly Salazar Salazar	

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por acompañarme hasta donde hoy me encuentro, por presentarme en el camino a personas de las que he aprendido el valor de la vida.

A Rene, Faustino y Juan Carlos, mi familia, por ser mi motor en todo momento, brindándome incondicionalmente hasta lo que no poseían, sin ellos no sería esto una realidad.

A Tlaxali por compartir hasta este momento un tercio de su vida conmigo, estando en las mejores y peores situaciones, su familia por apoyar mi causa de todo corazón.

Mis maestros, quienes han sido mis guías académicos, quienes también me han enseñado la paciencia y el valor de la educación, quienes me ofrecieron sus críticas para crecer, no para humillar.

A mis amigos y compañeros, por ser quienes compartieron junto a mí el recorrido de este camino.

A quienes no creyeron en mí.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>vii</b>
<b>CAPITULO I. GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objeto General	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b>	<b>4</b>
2.1 Situación de los energéticos en el mundo	4
2.2 Situación de los energéticos en México	4
2.3 Energías renovables	5
2.4 Energía solar	6
2.4.1 Energía solar Térmica	6
2.4.2 Energía solar Fotovoltaica	7
2.5 Bioenergía	7
2.5.1 Sólidas	8
2.5.2 Líquidas	8
2.5.3 Gaseosas (Biogás)	9
2.6 Energía Eólica	9
2.7 Energía Hidráulica	10
2.8 Energía geotérmica	10
2.9 Energía Mareomotriz	11
2.10 Hidrógeno	12
2.10.1 Usos del hidrógeno	13
2.10.2 Usos no energéticos	13
2.10.3 Usos energéticos	14

	<b>Página</b>	
2.10.4	Plantas de generación fijas o estacionarias	14
2.10.5	Plantas portátiles	14
2.10.6	Automóviles	14
2.10.7	Producción	15
2.10.8	Electrólisis	16
2.10.9	Almacenamiento	16
2.10.9.1	Almacenamiento de forma gaseosa	16
2.10.9.2	Almacenamiento de forma líquida	17
2.10.9.3	Almacenamiento mediante combinación química (hidruros metálicos)	17
2.10.9.4	Almacenamiento por absorción en sólidos porosos	17
	<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODO</b>	<b>18</b>
3.1	Diagrama metodológico	18
3.2	Ubicación del lugar de trabajo	18
3.3	Materia prima	19
3.4	Métodos	20
3.5	Pruebas de funcionamiento	21
3.6	Prueba estadística	22
	<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS</b>	<b>23</b>
4.1	Construcción de la celda a partir de láminas de aluminio	23
4.2	Pruebas de funcionamiento	26
4.3	Construcción de la celda a partir de acero inoxidable	27
4.4	Prueba de producción	30
4.5	Prueba de flama	31
4.6	Análisis estadístico (prueba de Kolmogorov-Smirnov)	34
	<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES</b>	<b>37</b>
	<b>CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>37</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Página</b>
Tabla 1	Composición porcentual del biogás	9
Tabla 2	Especificaciones del hidrógeno	12
Tabla 3	Materiales y herramientas utilizadas en la construcción de la celda	20
Tabla 4	Producción de gas	31
Tabla 5	Valores de salida de la prueba de Kolmogorov-Smirnov	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

		<b>Página</b>
Figura 1	Métodos de obtención del hidrógeno	15
Figura 2	Metodología de trabajo	18
Figura 3	Área de construcción del generador de gas HHO	19
Figura 4	Diseño de la placa propuesta para la celda	23
Figura 5	Lámina de aluminio posteriormente cortada en placas	23
Figura 6	Modificación realizada en la celda, A) pestaña B) orificios.	24
Figura 7	A) soportes de tuercas y tornillos utilizados. B) tornillos soporte aislados	24
Figura 8	Aspecto final de las láminas ensambladas e intercaladas.	25
Figura 9	Vista frontal, tuercas, rondanas y tornillos que soportan y ajustan la celda.	25
Figura 10	Celda en funcionamiento con producción de gas	26
Figura 11	Nata producida posterior a la reacción.	27
Figura 12	Láminas adecuadas listas para ensamble.	28

		<b>Página</b>
Figura 13	Placa con bandas aislantes acomodadas en 3 posiciones	28
Figura 14	Aspecto final de la celda. A) vista perfil. B) vista perfil superior	29
Figura 15	A) Recipiente de la celda B) vista interior.	29
Figura 16	A) Producción de gas en una probeta de 100 mL. B) Gas producido.	30
Figura 17	Producción de gas en función del tiempo	31
Figura 18	Cables de toma a corriente con apagador y fusible de seguridad	32
Figura 19	A) Celda armada y colocada en contenedor. B) Cortaflama.	33
Figura 20	Celda instalada para prueba de flama.	33
Figura 21	Prueba de flama	34



## RESUMEN

En el presente trabajo, se presenta el desarrollo de la experimentación de un generador de gas hidrógeno como una fuente de combustible alternativo, éste parte de la utilización de materias primas reutilizadas en su mayoría, siendo láminas de aluminio, acero inoxidable y contenedores de diferentes grosores así como de volúmenes diferentes como principales elementos. Inicialmente, se construyó la celda generadora de gas con láminas de aluminio inmersas en un electrolito compuesto por cloruro de sodio (NaCl), como resultado de esta prueba se observó la producción un sólido en suspensión en la superficie del electrolito, esta retenía parcialmente los gases provenientes de los electrodos durante la electrólisis, evitando así el escape completo de los gases producidos, uno de los componentes de estos gases es el  $\text{Cl}_2$  (g), altamente tóxico, este hecho motivó a la decisión de la utilización de otro electrolito y de otro material para la construcción de la celda generadora. Posteriormente se construyó la celda generadora con láminas de acero inoxidable calibre 322, convenientemente este material presenta una gran resistencia a la corrosión ante la presencia de agentes altamente corrosivos, en este caso sería la utilización de hidróxido de sodio (NaOH), a su vez, este es comparado con la utilización de agua común como medio. Los valores de prueba de producción presentaron mayor cantidad de gas producido en las repeticiones de agua con hidróxido de sodio en la misma cantidad de tiempo que las repeticiones de la prueba de agua, notoriamente el medio con hidróxido de sodio mejora considerablemente la producción de gas en comparación con el agua utilizada como medio. Adicionalmente se realizaron pruebas de flama para corroborar que la producción de este gas fuese la correcta, para ello se construyó un cortaflamas interconectado al contenedor de la celda electrolítica y a una válvula cuya función sirve como soplete. Puesta en marcha se observó una flama color naranja capaz de fundir la válvula. De forma general, la funcionalidad de la celda requiere la utilización de instrumentos especializados como lo es una fuente de poder variable en óptimas condiciones para evaluar específicamente de forma amplia, el funcionamiento de la celda se vio obligado a probar de forma intermitente con tiempos de 60 y 120 segundos para evitar el sobrecalentamiento de la fuente de poder. El funcionamiento de la celda ha sido el esperado, aunque se deben de realizar más experimentos en la búsqueda de presentar mejores resultados.

## SUMMARY

This research, the development of the experimentation of a hydrogen gas generator as an alternative fuel source is presented, this part of the utilization of reused raw materials in its majority, being sheets of aluminum, stainless steel and containers of different thicknesses. As of different volumes as main elements. Initially, the gas generating cell was built with aluminum sheets immersed in an electrolyte composed of sodium chloride (NaCl). As a result of this test, the production of a solid in suspension on the surface of the electrolyte was observed, this partially retained the gases coming from of the electrodes during the electrolysis, thus avoiding the complete escape of the produced gases, one of the components of these gases is  $\text{Cl}_2$  (g), highly toxic, this fact motivated the decision of the use of another electrolyte and other material for the construction of the generating cell. Subsequently, the generating cell was built with 322 stainless steel sheets, conveniently this material presents a great resistance to corrosion in the presence of highly corrosive agents, in this case it would be the use of sodium hydroxide (NaOH), in turn, this is compared to the use of common water as a medium. The production test values showed a greater quantity of gas produced in the repetitions of water with sodium hydroxide in the same amount of time than the repetitions of the water test, notably the sodium hydroxide medium considerably improves gas production in comparison with the water used as a medium. In addition, flame tests were carried out to corroborate that the production of this gas was the correct one, for this purpose, an interconnected flare was built into the container of the electrolytic cell and a valve whose function serves as a torch. Start-up was observed an orange flame capable of melting the valve. In general, the functionality of the cell requires the use of specialized instruments such as a variable power source in optimal conditions to specifically assess in a broad manner, the operation of the cell was forced to test intermittently with times of 60 and 120 seconds to avoid overheating the power source. The operation of the cell has been as expected, although more experiments should be carried out in the search to present better results.

## **CAPITULO I. GENERALIDADES**

### **1.1. Introducción**

En la presente investigación se llevó a cabo una propuesta para la construcción de un dispositivo generador de gas oxhídrico (HHO), dado a que hoy en día la creciente contaminación, aunado a los constantes incrementos en el precio de los productos derivados del petróleo y los efectos negativos provocados en el medio ambiente, como una fuente de energía alternativa; siendo las energías renovables un área que cobra cada vez más importancia en la actualidad.

La propuesta comienza en el establecimiento de los objetivos de este trabajo, definiendo los puntos a cumplir, seguido de una revisión bibliográfica sobre el entorno de las energías renovables y no renovables, así como los tipos, clasificación y formas de producción.

La tecnología utilizada como referencia para la obtención del gas HHO destaca la electrólisis, que se plantea como alternativa; utilizando dicha tecnología se realizaron pruebas respectivas de funcionamiento de este dispositivo, entre éstas se encuentran: pruebas de funcionamiento del dispositivo, pruebas de fuga como medida de seguridad y prueba de flama.

### **1.2. Planteamiento del problema**

Debido a la creciente demanda de los recursos derivados de los hidrocarburos, se han generado problemáticas de interés mundial, tomando en cuenta que alrededor del mundo se consumen millones de barriles diarios (mbd) de petróleo, que han dado paso a que las grandes economías desarrolladas se sometan a cierta reflexión sobre la necesidad de encontrar fuentes de energías renovables. De acuerdo con la Organización de Países Exportadores de Petróleo, en el año 2015 y 2016 se estimaba un incremento de la demanda mundial del petróleo.

Esta situación se repite en todos los sectores productivos de cualquier país, principalmente se debe a que no hay otra fuente de energía tan fácil de producir, almacenar y utilizar en la actualidad. Por ello, surge la necesidad de desarrollar un método que pueda tener la capacidad de producir energía que cubra la mayor parte de las necesidades en los distintos sectores productivos de cualquier zona, alrededor del mundo.

Cabe mencionar, que estos energéticos se encuentran de forma finita en el planeta; por lo que un dispositivo generador de hidrógeno es una opción que puede contribuir a la obtención de este energético alternativos teniendo como meta la disminución e incluso el cese del consumo de hidrocarburos.

Por otro lado han surgido problemas relacionados con el consumo de combustibles provenientes de hidrocarburos, como es la contaminación atmosférica originada en la combustión, aumentando aceleradamente de forma directa e indirectamente; consecuentemente conlleva al efecto invernadero siendo causa del cambio climático que se hace que los climas se vuelvan más extremos cada año (Yndurain, 2005).

Con respecto al contexto social, en las grandes zonas urbanas han surgido problemas de salud pública causada por los altos niveles de contaminación proveniente de la combustión de automóviles particulares que circulan diariamente. De igual manera en las grandes industrias se generan grandes cantidades de contaminantes, ya sea por combustión por productos derivados de hidrocarburos y otros.

### **1.3. Justificación**

La realización de un dispositivo generador de gas HHO, como combustible alternativo que pueda ser probado en distintas utilidades presenta ventajas que impactan favorablemente en los diversos aspectos como el económico, social, ambiental, tecnológico y científico; contemplando la construcción del generador con materiales reutilizados por lo que su costo es considerablemente bajo; por otro lado,

el uso de gas HHO (oxhídrico, es una mezcla de gases de hidrógeno y oxígeno) como combustible alternativo no genera gases de efecto invernadero (GEI's), consecuentemente provocaría una disminución de los gases resultantes de la combustión de productos derivados del petróleo que daña gravemente la salud de las personas a su vez conlleva a un costo indirecto al estado relativamente caro. Al reducir los GEI's, reduce el impacto que genera el calentamiento global y el cambio climático (CC), por lo que esta propuesta es una estrategia de adaptación y mitigación al Cambio Climático. Con el desarrollo de este generador se incrementa el aporte a la ciencia y la tecnología para posiblemente buscar un registro de propiedad intelectual.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Elaborar un prototipo generador de gas HHO utilizando material reutilizable.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Diseño de un dispositivo generador de hidrógeno.
- Evaluación del diseño propuesto mediante pruebas de funcionamiento (de fuga y de flama).

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Combustibles fósiles en el mundo**

Desde los principios de la civilización, el ser humano ha tenido la necesidad de utilizar fuentes de energía para poder moverse a sí mismo, así como también hoy en día mejorar la calidad de vida (generación de energía eléctrica, medios de transporte y producción de alimentos principalmente).

Como definición, la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI (2005) define a los combustibles fósiles líquidos o gaseosos como el gas natural y los derivados del petróleo tales como: gasolinas, turbosina, diesel, combustóleo, gasóleo y gas L.P. Durante el año 2015 la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) publicó un informe correspondiente al mes de agosto, donde el consumo total de petróleo alrededor del mundo fue de 92.70 mbd y se esperaba un consumo récord de 94.04 de mbd para el año 2016.

Recientemente autores afirman que el final de la era del petróleo se encuentra a la vuelta de la esquina pues los precios del petróleo han caído como nunca antes, empresas petroleras han hecho inversiones multimillonarias al invertir en energías renovables como es el caso de Shell, que entre el año 2011- 2014 tuvo una inversión de más de 100,000 millones de dólares para la producción alternativa, pues estas energías se vuelven menos costosas (Mendoza, 2015)

### **2.2. Combustibles fósiles en México**

En México el 88% de la energía primaria proviene de una fuente no renovable, es decir, de petróleo, desde la fabricación de insumos como: telas, medicinas plásticos, por mencionar algunos; hasta la producción de la energía eléctrica (es la principal fuente para producirla) (INEGI, 2005).

Actualmente se consumen en México 1.67 millones de barriles de petróleo diariamente (SENER, 2016) y es el país número 12 en la escala de consumidores

de petróleo a nivel mundial y el segundo en América Latina, donde la gasolina es casi la mitad de consumo petrolero, cabe mencionar que al igual que México, en países como China, India y Estados Unidos están acelerando el consumo global del petróleo (La Jornada, 2016).

México ha tenido grandes beneficios debido a la gran explotación de petróleo dentro de su territorio, los cuales han sido parte fundamental para el aporte del producto interno bruto (PIB) en la economía del país, a su vez, es una de las principales fuentes de energía a nivel nacional e internacional y que además juega un rol esencial en las economías y las relaciones internacionales.

El territorio mexicano cuenta con más de 12 mil 350 millones de barriles de petróleo de reservas probadas, sin tomar en cuenta que al día de hoy se siguen encontrando más y más yacimientos, lo cual convierte a la nación en uno de los que cuentan con mayor cantidad.

En los últimos años, se ha venido registrando una importante caída del precio del petróleo alrededor del mundo, la cual, trae consecuencias negativas para los distintos sectores, desde el económico hasta el sector social un ejemplo es la depreciación del peso mexicano frente al dólar impactando negativamente en la economía nacional (UNAM, 2016).

### **2.3. Energías renovables**

Las energías renovables son la alternativa ante la creciente demanda energética alrededor del mundo pues estas no presentan riesgos como los que se generan al producirlas, ni residuos tras la utilización, por lo que no representa un riesgo para la salud del medio ambiente así como también ala de la población en general.

Las energías renovables se pueden definir como: “aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana, aunque habría que decir que,

para fuentes como la biomasa, esto es así siempre que se respeten los ciclos naturales” (Merino, 2017).

## **2.4. Energía solar**

La energía solar es la potencia que irradia del sol como resultado de las reacciones nucleares de fusión que se llevan a cabo en el sol y que llegan al planeta Tierra a través del espacio en forma de cuantos de energía, estos son llamados fotones e interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre. El planeta Tierra recibe una cantidad anual de energía de  $5.4 \times 10^{24}$  J, esta cantidad representa 4500 veces el consumo mundial de energía (Melchor, 2002)

La irradiación solar que obtiene la Tierra es una fuente de energía ilimitada, aunque actualmente se han desarrollado tecnologías para el aprovechamiento de ésta, ha sido lento el cambio para el uso de energías renovables por la sustitución de combustibles fósiles como medios generadores de energía por ejemplo. De la energía solar derivan tres tipos de energías generadas a partir de esta, a continuación se muestran.

### **2.4.1. Energía solar térmica**

La energía solar térmica es aquella que convierte la energía que irradia el sol en forma de calor, uno de los principales componentes de esta tecnología es el captador, en él circula un fluido que absorbe la energía radiada del sol. De acuerdo con la temperatura de aprovechamiento ésta se puede clasificar en: baja (hasta 100°C de temperatura), media (de 100°C hasta 300°C) y alta (temperaturas mayores a 300°C).

Este tipo de sistemas solares térmicos son grandes instalaciones donde una torre paraboloide o un campo de heliostatos que concentran la radiación solar en la torre central que pueden alcanzar temperaturas superiores a los 4000°C. Normalmente



son sistemas conectados con una caldera central donde obtiene vapor a alta temperatura para usos térmicos o producción de electricidad (Secretaría de Energía de la República de Argentina, 2008).

#### **2.4.2. Energía solar fotovoltaica**

La energía fotovoltaica es una de las tecnologías solares que más crecimiento tiene actualmente. Esta tecnología está constituida de celdas solares, las cuales se basan en un efecto fotovoltaico en donde la luz solar incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas que produce una diferencia foto-voltaica o del potencial entre las capas. Este voltaje forma una corriente que es capaz de conducirla a través de un circuito externo de modo que puede producir un trabajo útil (Estrada & Arancibia, 2010).

#### **2.5. Bioenergía**

La bioenergía es la que se obtiene a partir de la biomasa, residuos forestales, pecuarios y de los agrarios, así como también los residuos sólidos urbanos y otras fuentes de desechos orgánicos. Estos desechos pueden ser utilizados para producir de forma directa electricidad, calor o para generar combustibles, pueden ser sólidos líquidos o gaseosos.

Las tecnologías que se utilizan para este tipo de procesos son muy diversas así como su grado de madurez técnica considerablemente puesto que algunas ya han sido comercializadas como calderas de pequeño o gran tamaño, sistemas de calefacción central por gránulos o la producción de etanol a partir de la caña de azúcar y almidón.

Un ejemplo de ello son las centrales de energía avanzada de ciclos combinados de gasificación integrada a partir de biomasa y los combustibles para el transporte obtenido de la lignocelulosa; estas son tecnologías no comercializadas, mientras

que la producción de biocombustibles líquidos a partir de algas y otros métodos de conversión biológica se encuentran en investigación y desarrollo.

Estos proyectos dependen generalmente de la cantidad de combustible disponible a nivel local y regional pero al parecer actualmente la biomasa sólida y los combustibles líquidos se encuentran cada vez más presentes alrededor del mundo facilitando el uso y consumo de ellos (IPCC, 2011).

### **2.5.1. Sólidas**

La bioenergía en forma sólida hace referencia a la biomasa, la cual abarca todo un conjunto heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza. El término de biomasa se emplea para denominar las fuentes de energías renovables que se origina por procesos biológicos. Ésta es de carácter renovable debido a que la obtención de ésta proviene como última de la energía del sol al ser fijada por las plantas en sus procesos fotosintéticos. Esta energía es liberada al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en los procesos de combustión.

Los productos procedentes de la biomasa utilizados para la producción de energía son denominados como biocombustibles por su estado sólido (Fernández, 2007)

### **2.5.2. Líquidos**

Éstos provienen de materias primas vegetales mediante transformaciones biológicas y físico-químicas. Los dos diferentes tipos de bio-carburantes son: *Biodiesel*: Se obtiene por medio de la transesterificación de aceites vegetales y grasas animales con un alcohol ligero como metanol o etanol. *Bioetanol*: Es obtenido principalmente de semillas ricas en azúcares, caña de azúcar, remolacha o sorgo dulce que por su alto contenido de azúcares produce etanol mediante fermentación (García & García, 2006).

### 2.5.3. Gaseosas (Biogás)

Es producido a partir de la biodegradación de los desechos orgánicos por la acción de microorganismos en ausencia del aire (Ruiz, 2015) comúnmente se puede encontrar en basureros, fosas sépticas fuera de uso.

Tabla 1: Composición porcentual del biogás.

<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	50-75
<b>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	25-45
<b>Vapor de agua (H<sub>2</sub>O)</b>	1-2
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>	0-0.3
<b>Nitrógeno (N<sub>2</sub>)</b>	1-5
<b>Hidrógeno (H<sub>2</sub>)</b>	0.3
<b>Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)</b>	0.1-0.5
<b>Oxígeno (O<sub>2</sub>)</b>	0.1-1.0

Fuente: ALTERCEXA (2010).

### 2.6. Energía eólica

La energía eólica es la que se produce por la fuerza de los vientos, éstos a su vez, son generados por la radiación del sol que absorbe la atmósfera de forma irregular que hace que haya masas de aire de diferentes temperaturas y como consecuencia, diferencia de presiones, estas presiones provocan que el aire se mueva de las zonas de altas presiones hacia las de baja presión, estos movimientos de aire son los que generan al viento del cual se aprovecha para producir energía mediante aerogeneradores. Estas máquinas se colocan sobre una torre debido a que la velocidad del viento aumenta con la altura (Mosquera, 2007)

Los aerogeneradores de hoy en día, permiten alcanzar un rendimiento del 50% en comparación con los primeros aerogeneradores antiguos (molinos de viento) que tenían solo un 12% de rendimiento. Tomando en cuenta los valores demostrados por el físico alemán Albert Betz en el año 1919 que la fracción máxima de la energía

del viento que puede capturar un aerogenerador es de un 59.3%, por lo que capturar el 50% es una cantidad de energía considerablemente alta (López, 2012)

## **2.7. Energía hidráulica**

La energía hidráulica es la que se genera por la acción de caída del agua, a su vez es aprovechada la energía cinética (UNESCO, 2002).

Esta es la principal fuente de energía renovable alrededor del mundo, a finales del 2015 el total de estas correspondía al 23.7%, del cual el 16.6% corresponde a la energía hidráulica (Sawin, Seyboth & Sverrisson, 2016). Una central hidroeléctrica clásica (generadora de energía hidráulica) se divide en tres partes principales: una central eléctrica donde se produce la electricidad; una presa donde pueden cerrarse o abrirse compuertas para controlar el paso del agua y un depósito donde se pueda almacenar el agua. Este tipo de energía es la más barata en la actualidad debido a que una vez construida la presa e instalados todos los componentes necesarios para ésta, la fuente de energía es gratuita pues sólo depende del movimiento del agua que pasa entre las palas de las turbinas, esta energía es limpia y se renueva cada año (National Geographic, 2013).

## **2.8. Energía geotérmica**

La energía geotérmica tiene su origen en el interior de la Tierra pues hay una enorme diferencia de temperaturas que existen en el interior de la Tierra (4000°C) y la superficie de ésta. Tal diferencia de temperaturas recibe el nombre de gradiente térmico, está originada por un flujo continuo de calor que va desde el interior de la Tierra a la superficie. La Tierra está fragmentada en varias placas tectónicas, cada una de las cuales se mueven anualmente algunos centímetros, produciendo roces, choques, y deformaciones en las placas (por tal motivo, la corteza terrestre no es un envoltorio homogéneo), estos impactos ocasionan que la superficie se agriete, que se formen pliegues, terremotos y erupciones de lava volcánicas donde se

producen flujos de calor anormalmente elevados. Tomando en cuenta que la temperatura de la Tierra aumenta entre 2 y 4°C cada 100 metros de profundidad, en zonas donde se registran movimientos de placas y se generan choques, se pueden registrar aumentos de más de 30°C en apenas 100 metros.

Las zonas donde se presentan estos tipos de variaciones térmicas son de gran importancia para la obtención de energía (Barrero, 2007).

## **2.9. Energía mareomotriz**

Dentro de los mares y océanos se almacenan inmensas cantidades de energía, éstas pueden ser aprovechadas mediante alternativas tecnológicas, cabe mencionar que existen distintas formas en las que se manifiesta la energía, como en la energía cinética que poseen las corrientes, mediante estructuras submarinas similares a los aerogeneradores, estas mediante turbinas mueven mecánicamente un alternador que genera energía eléctrica, es considerada una energía renovable y limpia pues no produce desechos, otro tipo de energía con grandes potenciales de aprovechamiento es la mareotérmica se generan gradientes de térmicos de al menos 20° Celsius entre la temperatura del agua superficial y la temperatura del agua de las profundidades, como resultado de estas diferencias térmicas se generan corrientes de agua, la energía undimotriz que actúa a partir de grandes masas de agua a causa del rozamiento con el viento (González & González, 2015)

Las instalaciones que producen este tipo energías son ubicadas en ríos profundos, desembocaduras de ríos hacia el océano y en el mar aprovechando las corrientes marinas. Aunque también la acción de gravedad entre la luna y la Tierra afectan considerablemente a éstas, pues provocan una atracción entre estas dos masas, la fuerza de atracción que ejerce la luna sobre la Tierra es más fuerte en las zonas más cercanas que en las que están más lejos. Esta atracción irregular que produce la luna sobre la Tierra produce las mareas debido a que el agua sufre más variación

al ser más afectada por la cercanía de la luna que las partes terrestres de los continentes (Wynyard, 2012)

## 2.10. Hidrógeno

El hidrógeno es el elemento más abundante del universo, el 88.6% de los átomos del universo son de Hidrógeno, seguido del Helio con un 11.3% (Carey, 2006). Este es particularmente propenso a fugas debido a su baja viscosidad y a su bajo peso molecular. El hidrógeno es un muy atractivo elemento para su utilización como fuente de energía renovable al ser el material más abundante en todo el universo, aunque también es un verdadero reto adaptarlo al servicio de las actividades humanas ya que debido a su alta volatilidad es complicado almacenarlo y su alta inflamabilidad hace riesgosa su manipulación (Gasque, 2006).

Es un gas con un alto contenido energético con una proporción de 28.669 Kcal por cada gramo en comparación con el gas natural con 11.953 Kcal/gr, gasolina con 10.780 Kcal/gr, butano con 10.932 Kcal/gr y 10.079 Kcal/gr de propano (AMT Solar, 2013).

Tabla 2. Especificaciones del hidrógeno

<b>Peso atómico</b>	1.00794
Temperatura crítica	-147 °C / 126 K
Presión crítica	34 atm.
Poder calorífico inferior	120 MJ/kg
Poder calorífico superior	141,86 MJ/kg
Capacidad calorífica específica	$C_p=14,199 \text{ KJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ $C_v=10,074 \text{ KJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Densidad	0,0899 kg/Nm <sup>3</sup> (gas) 0,0708 kg/l (liquido)
Coeficiente de difusión	0,61 cm <sup>2</sup> /s
Límite de detonación	18,3 - 59,0 % (concentración de H <sub>2</sub> en aire)

Fuente: Asociación Española del Hidrógeno (2017).

En la naturaleza hay 3 isótopos hidrógeno: 1. Protio: este no tiene ningún neutrón en algún orbital y es el 99.98% del total, 2. Deuterio: tiene un neutrón tiene una proporción del 0.015% del total y 3. Tritio: posee 2 neutrones uno de los más complicados de manipular, este es altamente corrosivo y se encuentra una proporción muy pequeña, es  $10^{-15}$ % del total, este isótopo es muy raro (Brown, LeMay & Bursten, 2004).

### **2.10.1. Usos del hidrógeno**

En la carrera por los desarrollos de fuentes de energía alternativas, por la sustitución de los perjudiciales derivados de los hidrocarburos y tras grandes esfuerzos por acuerdos entre naciones, han surgido numerosas investigaciones para obtener los provechosos atributos de este elemento, de forma específica puede considerarse este elemento el energético del futuro ya que se realizan distintos tipos experimentos, ya sea para encontrar las formas más sencillas de obtener así como los usos para los que se podrían solucionar los daños que hasta el momento han sido irreparables a escala humana, por lo tanto cabe recalcar algunos de los usos que han estado predominando en la actualidad (Matas, 2010).

### **2.10.2. Usos no energéticos**

El hidrógeno ha sido un elemento muy importante desde el inicio de la era industrial como materia prima de la producción de fertilizantes amoniacos mediante la reacción de nitrógeno e hidrógeno sometidos bajo presión, la obtención de tintes, la fabricación de drogas, plásticos como material de ignición en soldadura e incluso para obtener combustibles líquidos provenientes del carbón, se usa en combinación con el oxígeno líquido como un combustible de naves espaciales, la extracción de oxígeno en la metalurgia y en el tratamiento térmico de materiales ferrosos. El consumo del hidrógeno en el mundo es mínimo en comparación con el potencial de producción energético.

### **2.10.3. Usos energéticos**

Hasta nuestros días, la principal tecnología que puede ser considerada como productora de hidrógeno como energético es la celda de combustible, este dispositivo genera energía mediante la transformación de energía química en eléctrica tras una combinación del hidrógeno y el oxígeno, dejando como resultado agua y calor. La producción de hidrógeno en celdas de combustibles pueden ser aplicadas en tres tipos:

### **2.10.4. Plantas de generación fijas o estacionarias:**

Principalmente usados para la producción de energía eléctrica de lugares aislados y donde no es posible llevar líneas de energía eléctrica

### **2.10.5. Plantas portátiles:**

La utilización de celdas de producción de hidrógenos portátiles pueden ser utilizadas en bicicletas motorizadas, carritos de golf por mencionar algunos. Así como posiblemente a equipos de emergencia, artefactos de pequeñas dimensiones que requieren energía y equipos médicos, muchas de estas aplicaciones se encuentran en investigación actualmente.

### **2.10.6. Automóviles**

El uso del hidrógeno como combustible es un muy atractivo pues el costo económico es realmente bajo en comparación con el uso de combustibles convencionales. Los vehículos que utilizan esta fuente de combustible tienen de dos a tres veces mejor eficiencia que los automóviles movidos por combustibles convencionales (gasolina) (Solano, 2004).



### 2.10.7. Producción

El hidrógeno se encuentra abundantemente en la naturaleza, pero es necesario llevar a cabo procesos químicos para su obtención a gran escala. Debido a ello, la producción de hidrógeno ha sido un procedimiento que se ha vuelto muy común en la industria química.

Actualmente, se producen en el mundo aproximadamente 41 millones de toneladas de hidrógeno, que representan un valor energético de 5.000 TJ [GONZ06]. La demanda de energía primaria mundial en 2003 fue de 9.741 Mtep  $\approx 4 \times 10^8$  TJ. En la figura 1 continuación se presentan algunos métodos con los que pueden ser obtenidos (Hurtado & Soria, 2007).

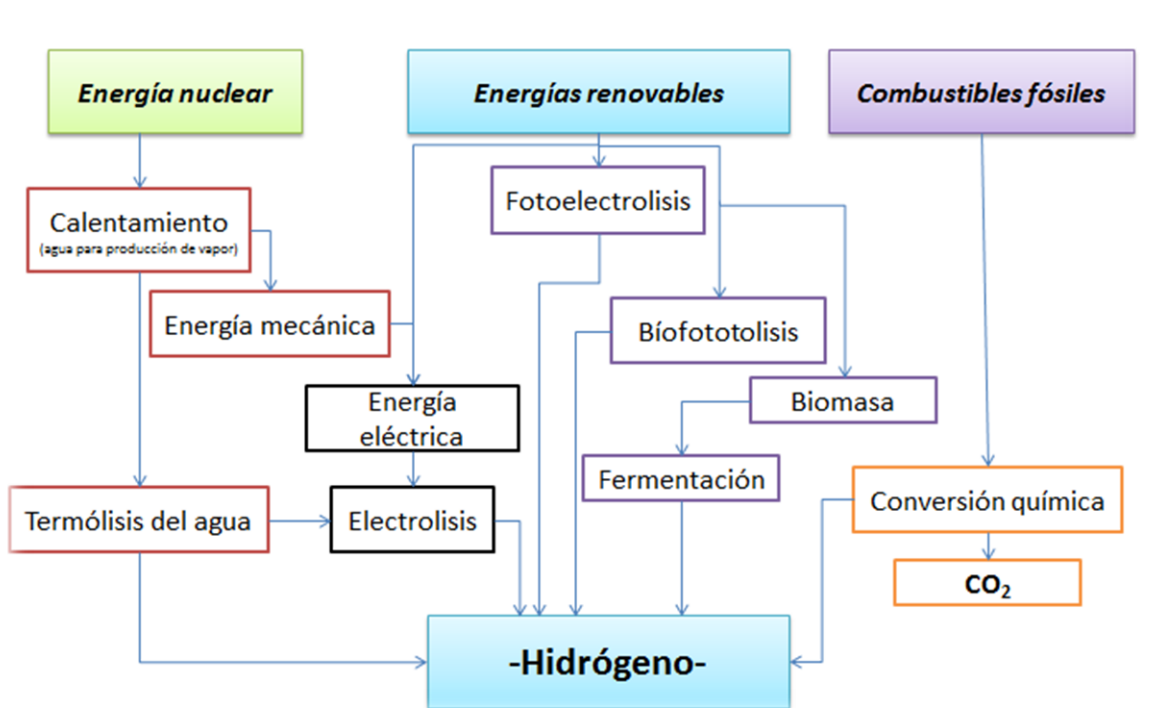
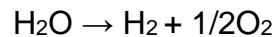


Fig. 1. Métodos de obtención del hidrógeno.

### **2.10.8. Electrólisis**

La electrólisis es un procedimiento cuya característica principal es la ruptura de las moléculas del agua, es decir, la disociación de esta en moléculas diatómicas de hidrógeno (H<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>) al ser añadida una corriente eléctrica continua (Brown, LeMay & Bursten, 2004), siendo 237.75 KJ a 25°C para un mol de agua.

Donde la reacción química es la siguiente:



Para poder disociar un mol de agua (H<sub>2</sub>O) en estado líquido a 25°C son necesarios 237.75 kJ, dado que se consumen 237.75kJ por cada 241.82 kJ contenidos en el hidrógeno, entonces se producen 1.02 kJ de hidrógeno por cada kJ eléctrico consumido. Pero si se hace con vapor de agua a 1000°C se producen 1,36 kJ de hidrógeno por cada kJ eléctrico consumido (Hurtado & Soria, 2007).

Una ventaja de utilizar la electrólisis como método de obtención es que el hidrógeno obtenido de esta reacción no necesita un proceso de purificación debido a que es altamente puro (>99%) (Weissermel & Arpe, 1981).

### **2.10.9. Almacenamiento**

El almacenamiento de hidrógeno puede llevarse a cabo de diferentes formas, ya sean de forma estática o móviles, esto depende principalmente del uso que se le dará y de los costos que éste genera, a continuación se presentan algunas de las formas más comunes de almacenamiento

#### **2.10.9.1. Almacenamiento de forma gaseosa**

Esta es la forma de almacenamiento más simple, al igual que otros gases, el hidrógeno puede comprimirse a altas presiones. El almacenamiento de hidrógeno,

en comparación con otros combustibles no resulta ser competitivo por la baja densidad del hidrógeno, alto costo de recipientes y el proceso de compresión de éste (Gasque, 2006).

#### **2.10.9.2. Almacenamiento de forma líquida:**

Para poder llevar a cabo el almacenamiento líquido del hidrógeno se requiere alcanzar temperaturas menores a  $-251.95\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para alcanzar esta temperatura se requiere un gran consumo energético, como también una inevitable pérdida de hidrógeno por volatilización, haciendo que no sea viable el uso de este método, así como en el aspecto económico.

#### **2.10.9.3. Combinación química (hidruros metálicos):**

El hidrógeno puede ser almacenado mediante una reacción química entre hidrógeno y metales en transición y sus aleaciones, los hidruros se forman por una reacción con el hidrógeno, este último se absorbe en la estructura metálica, puede ser absorbido gracias a las variaciones de presión. El almacenamiento mediante este método no resulta viable debido al elevado peso del sistema y tiene un bajo nivel de almacenamiento.

#### **2.10.9.4. Adsorción en sólidos porosos**

Este tipo de almacenamiento principalmente se plantea mediante la adsorción del hidrógeno en un medio sólido poroso. Es una manera más fácil, segura y sencilla. En este caso el medio sólido para la adsorción está basado en nano estructuras de carbono, que son capaces de almacenar un 60% en peso, aunque pueden ser otros métodos como fibras y carbones activados (Botas *et al*, 2005).

## CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

Se describen los aspectos relacionados con la construcción de la propuesta de una celda generadora de gas HHO. Se detalla el área donde se llevó a cabo la construcción, aspectos de la misma, así como los distintos materiales con los cuales será realizada dicha propuesta y las herramientas necesarias.

### 3.1. Diagrama Metodológico

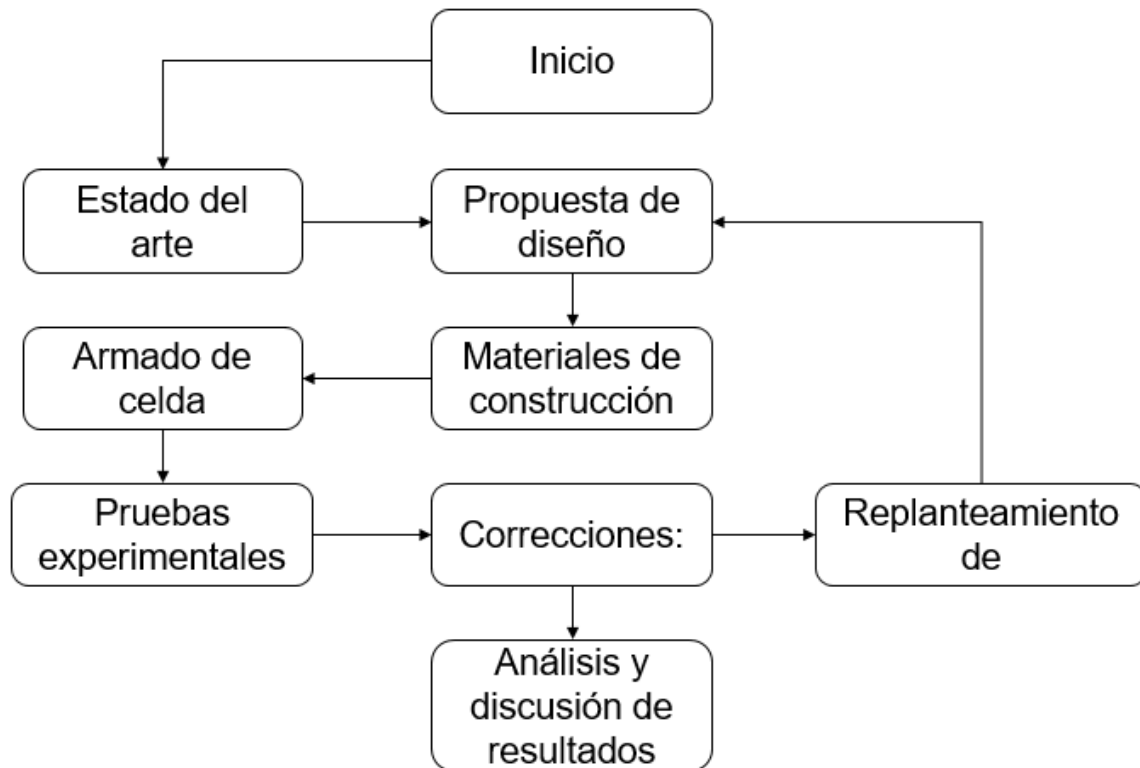


Fig. 2. Metodología de trabajo

### 3.2. Ubicación

La construcción de la presente propuesta fue llevada a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, específicamente en el área de proyectos de la carrera de Ingeniería Ambiental. La decisión de realizarlo en esta área es debido a que la construcción de la celda generadora de gas HHO conlleva la

utilización de herramienta que genera un riesgo para la integridad de las personas, así como las pruebas de ésta pueden poner en riesgo la salud personal y son capaces de causar accidentes aún tomando las medidas de seguridad necesarias. El área de proyectos de Ingeniería Ambiental posee las siguientes coordenadas: 19°56'59.9"N, 96°50'38.9"W (Fig. 3).



Fig. 3. Área de construcción del generador de gas HHO

### 3.3. Materia Prima

La construcción de la propuesta de un generador de gas HHO requiere de materiales específicos, a razón de que se llevan a cabo reacciones químicas que pueden dañar con gran facilidad algunos metales con los que se pueden construir, por ello, se optó por la utilización lamina de acero inoxidable. A continuación se muestran los materiales necesarios para la construcción de la celda (Tabla 3).

Tabla 3. Materiales y herramientas utilizadas en la construcción de celda

Material	Descripción
Lamina de acero inoxidable 316, 1.22 mm (marca “todo inoxidable”).	1 placa (4x10 ft)
Tuerca y tornillo 5/8 (Protor™).	2 unidades
Frasco de vidrio de 2.65 lts (marca juvasa)	2 frascos
Arandela plástica D. int. 8 mm grosor 2 mm (marca emico)	4 unidades
Cable (blanco y rojo) calibre 16 (marca IUSA)	2 m c/u
Tornillos plásticos 3/8	2 unidades
Acople para manguera tipo espina de pescado	1
Zapatas	1 par
Cortadora de metales 14”(Dewalt™)	1
Pulidora “ 4(Dewalt™)	1
Perica 1.5 in (Craftman™)	2
Silicón industrial (Presto™)	1
Taladro (Boshc™)	1
Mazo (Truper™)	1
Brocas de 3/8 y 5/8	2
Gafas de seguridad (Truper™)	1
Contenedor de filtro ROTOPLAS™	1
Plástico de polietileno de baja densidad (Ziploc®)	0.5 m
Tubo y tapones de PVC KIO™	3
Guantes de carnaza	1
Regla y escuadra	2

### 3.4. Fabricación de la celda

Tomando en cuenta las dimensiones del contenedor, resultó necesario ajustar las dimensiones de las láminas; se procedió a moldear las láminas con las medidas de 2.75 pulg de ancho y 5.75 pulg de largo respectivamente, dejando una pestaña sobresaliente en el extremo superior lateral.

Al inicio se realizaron 3 orificios en todas las láminas, debido a que brindan soporte a las celdas y a la conexión de corriente. Se ensamblaron las celdas insertando los 2 tornillos aislados en la parte central de la lámina como soporte principal, intercaladas una a una; entre éstas se inserta arandela de caucho para evitar su contacto, así mismo, conectando cada uno de los tornillos de acero en las pestañas que sobresalen para conectarlo con un par de zapatas para la toma de corriente.

Posteriormente, se realizó un adaptación para el frasco contenedor de la celda, de tal manera que éste tuviera una salida con un acople de tipo espina de pescado conectado con una manguera y dos entradas de cable de corriente. Para la realización de este paso fue necesario la utilización de un taladro con brocas correspondientes al tamaño de las conexiones de salida. Al finalizar el anterior paso, se ajustaron las tuercas, la tapa y se verificó que no hubiera contacto entre las láminas intercaladas.

En un segundo frasco, se realizaron 2 agujeros en la tapa rosca y se conectó una manguera de entrada y una de salida, éste se utilizó como corta flamas al momento de realizar las pruebas.

### **3.5. Desarrollo de pruebas de funcionamiento**

Para las pruebas se realizaron tres tipos de experimentos, de funcionamiento; es decir, se corrobora la funcionalidad de la celda generadora poniéndola en marcha; de producción, donde se contabilizó la cantidad de agua desplazada en un recipiente con tiempos de uno y dos minutos; de flama, la cual consistía en provocar la combustión de los gases producidos en la celda, de esta manera se corrobora la información consultada en la bibliografía.

### **3.6. Prueba Estadística**

Se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov a los valores obtenidos de la prueba de producción, teniendo como finalidad la observación de las diferencias entre las poblaciones, el programa utilizado fue el SPSS Statics.



## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados obtenidos en la fase de construcción y experimentación de un prototipo generador de gas a partir de materiales reutilizados.

### 4.1. Construcción de la celda a partir de láminas de aluminio

Como primer punto se desarrolló el diseño de las placas que componen la celda generadora de gas (Fig. 4)

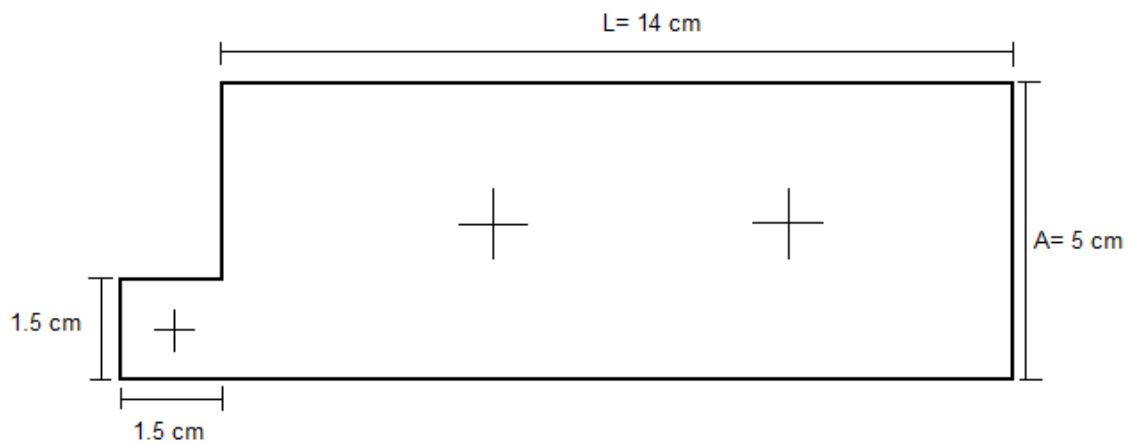


Fig. 4. Diseño de la placa propuesta para la celda

La construcción de la celda generadora de gas HHO comenzó con el corte de las láminas de aluminio cuyas dimensiones serían adecuadas a 5 cm de ancho y 14 cm de largo (Fig. 5). Las medidas se utilizaron de acuerdo a un contenedor de vidrio.



Fig. 5: Lámina de aluminio, posteriormente cortada en placas

La lámina se cortó con una longitud de 15.5 cm, posteriormente se realizó una modificación para obtener una pestaña que sirviera de conexión a la corriente, cuya dimensión es de 1.5 cm por cada lado, seguido de la realización de los orificios (diámetro = 3/8 pulg.) que dan soporte a la estructura.

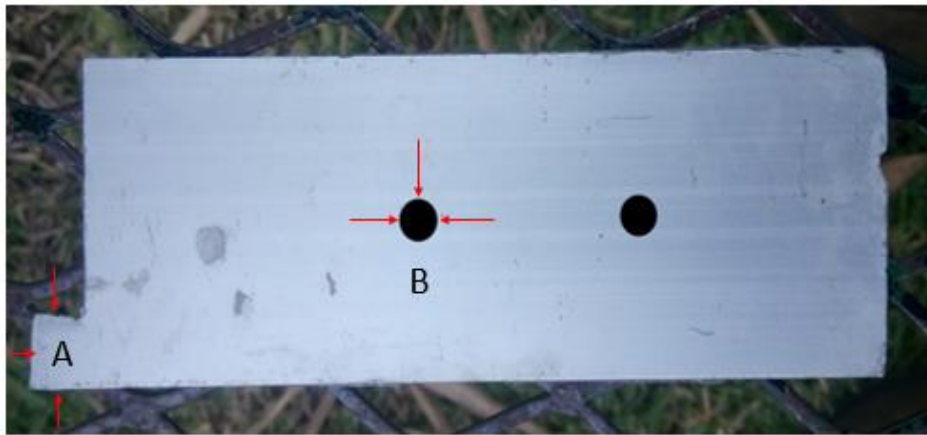


Fig. 6. Modificación realizada en la celda, A) pestaña B) orificios.

Se finalizó con el acondicionamiento de pestañas en las placas para la toma de corriente, así como el desbaste de las zonas cuyas esquinas presentaban filo. Posteriormente, se procedió con el armado, donde se adecuaron los soportes de las placas, se realizó a partir de tornillos, tuercas y rondanas, utilizando un revestimiento de polietileno de baja densidad marca Ziploc® (Fig. 7).



Fig. 7. A) Soportes de tuercas y tornillos utilizado B) Tornillos del soporte aislados.

Una vez armada la celda se realizó la configuración necesaria, presentando una relación 1:1, es decir, el intercalado de una lámina positiva y una negativa, para la separación de las celdas se utilizaron hilos y arandelas de caucho evitando el contacto entre estas.

En las Fig. 8 y 9 se observa el aspecto final de la celda, apreciando la configuración del intercalado de las celdas, las flechas rojas indican donde se encuentran cada una de ellas.



Fig. 8. Aspecto final de las láminas ensambladas e intercaladas.

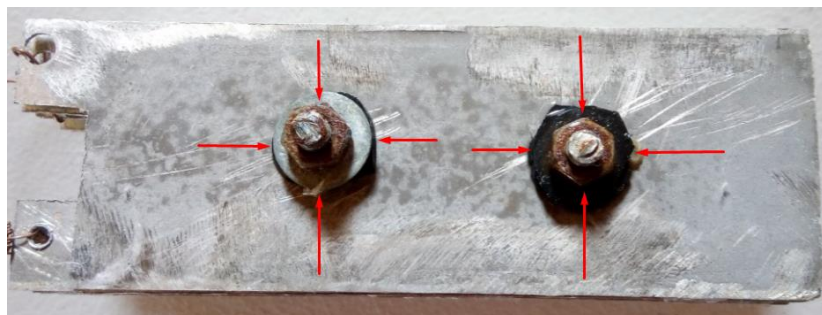


Fig. 9. Vista frontal, complementos que soportan y ajustan la celda.

## 4.2. Pruebas de funcionamiento

Una vez terminado el armado de la celda, se puso en marcha el funcionamiento de la celda generadora de gas. Al inicio se trabajó inicialmente con una corriente eléctrica de 12V y 1 A, utilizando para ello un eliminador marca Steren®, con electrolito compuesto por agua y cloruro de sodio (NaCl) fue posible observar el correcto funcionamiento de la celda con la producción de gas (Fig. 10.)



Fig. 10. Celda en funcionamiento con producción de gas.

Debido al funcionamiento continuo, se sobrecalentó la fuente de poder que suministraba la corriente eléctrica para llevar a cabo la reacción, por tal motivo se detuvo la prueba.

Analizando la producción de gas, los resultados obtenidos de la prueba han sido positivos, por otro lado, al utilizar como ánodo y cátodo láminas de aluminio se lleva a cabo una reacción no espontánea de óxido-reducción, donde el ánodo se oxida y el cátodo se reduce (Brown, LeMay & Bursten, 2004), en este caso se produce una nata con apariencia similar a la alúmina, siendo este el posible producto a partir de

la oxidación de las láminas de aluminio, este se acumuló en la superficie de la solución después de algunos minutos en operación (Fig. 11), adicionalmente fue posible la percepción de un olor a cloro producto de la descomposición del cloruro de sodio en sus formas elementales,  $\text{Cl}_2 (\text{g}) + 2\text{Na} (\text{l})$ .

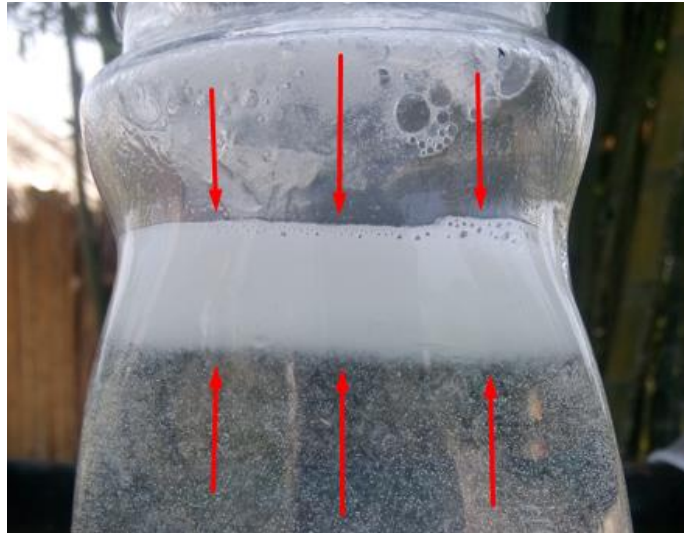


Fig. 11. Nata producida posterior a la reacción.

#### 4.3. Construcción de la celda a partir de láminas de acero inoxidable

Se optó por hacer un cambio del material del que se componen las placas de la celda, el material que se contempló es el acero inoxidable; presentando una importante resistencia a la corrosión.

El acero inoxidable utilizado fue de tipo 304 calibre 18, debido a que la lámina es de dureza considerable fue utilizada una máquina pulidora con disco de corte metálico para realizar los cortes pertinentes, la misma adecuación de las placas de aluminio fue aplicada para este diseño, con la diferencia del aumento de las dimensiones, siendo 15.5 x 5.5 cm de largo por ancho respectivamente.

Una vez terminados los ajustes, se procedió con la realización de los orificios con los se daría soporte a la celda. Para lo anterior, las láminas se perforaron realizando

los orificios mediante un taladro tipo banco, utilizando una broca de 3/8, obteniendo los orificios del soporte (Fig. 12).



Fig. 12. Láminas adecuadas listas para ensamble.

De igual forma que las láminas de aluminio, para el soporte de las de acero inoxidable se utilizaron un par de tuercas con tornillos como soporte, realizando el mismo procedimiento de aislamiento con poliestireno y así como arandelas de caucho. Posteriormente se procedió con el armado de celda; las láminas fueron separadas por bandas de caucho, siendo colocadas en 3 partes diferentes; extremos superiores e inferiores y el punto central de las placas (Fig. 14).



Fig. 13. Placa con bandas aislantes acomodadas en 3 posiciones.



Una vez colocadas las láminas, se ajustaron y se añadió un hilo de cable de cobre utilizado para la toma de corriente a través de pequeños orificios, con las cuales estaban interconectadas de acuerdo con la polaridad de la toma corriente: (Fig. 15).

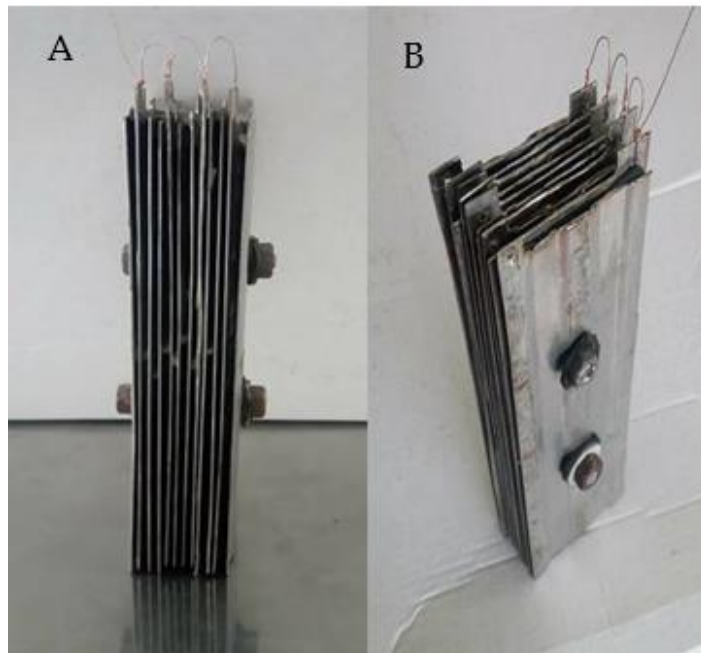


Fig.14. Aspecto final de la celda. A) vista perfil. B) vista perfil superior.

Ya finalizado el armado, éstas se introdujeron a un contenedor cuyo volumen correspondía a 2 L, teniendo en cuenta la entrada y salida de corriente, así como la salida de gas producido (Fig. 16).

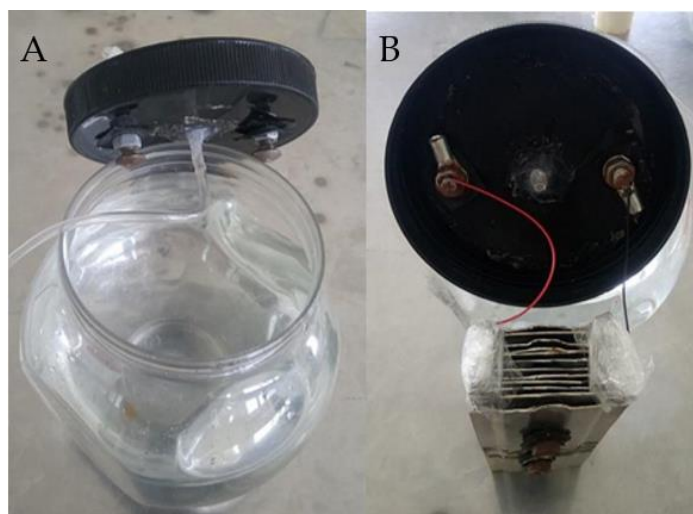


Fig. 15. A) Recipiente de la celda. B) Vista interior.

#### 4.4. Prueba de producción

Por último, se procedió con las pruebas correspondientes, es decir, se probó el funcionamiento de la celda con un eliminador de corriente a 12 V y 1000 mA, mismo que se utilizó para probar con la celda anterior de láminas de aluminio. Cabe señalar que una vez transcurrido el tiempo de funcionamiento continuo al que fue sometido, la fuente presentó un sobrecalentamiento, por tal motivo se suspendió el uso.

Este experimento se realizó en una probeta de 100 ml, ésta se encontraba de posición invertida y llena de agua. En un lapso de 2 minutos con 21 seg. Éste fue capaz de producir 57 mL de gas (Fig. 16).

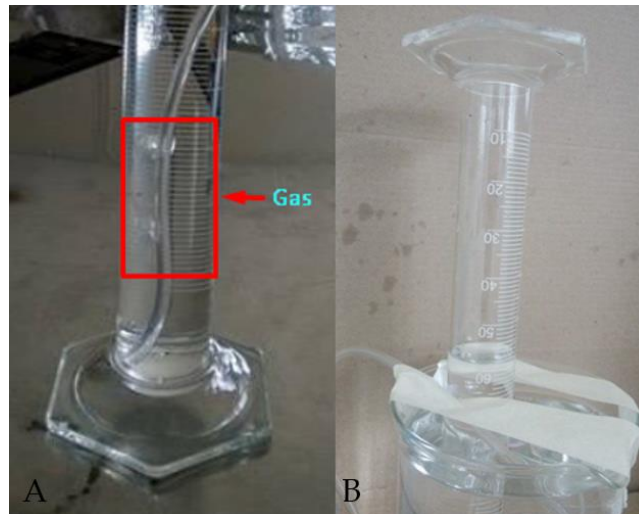


Fig.16. A) producción de gas en una probeta de 100 mL. B) Gas producido.

Tras observar que la prueba de funcionamiento debía ser intermitente a causa del sobrecalentamiento, se experimentó de diferentes maneras; es decir, con dos diferentes configuraciones de placas, dos diferentes electrolitos (agua y una mezcla de agua e hidróxido de sodio) y dos tiempos de producción, dichos resultados pueden observarse en la Tabla 4.



Tabla 4: Producción de gas

Condición	Corriente	Tiempo (seg)	Gas producido( ml de agua desplazado)	Energía consumida (KWh)
2 electrodo, 6 neutra	16.5 V – 1.5 <sup>a</sup>	60	12	2.475*10 <sup>-5</sup>
8 electrodos, 0 neutras	15.87 V – 2.25A	60	38	0.03570
		120	57	
<b>Agua con hidróxido de sodio</b>				
2 electrodo, 6 neutra	23 V – 2.13 A	01:02:54	47	0.04899
		02:01:91	95	
8 electrodos, 0 neutras.	15.78 V – 3.7 A	02:03:41	35	0.05838
			79	

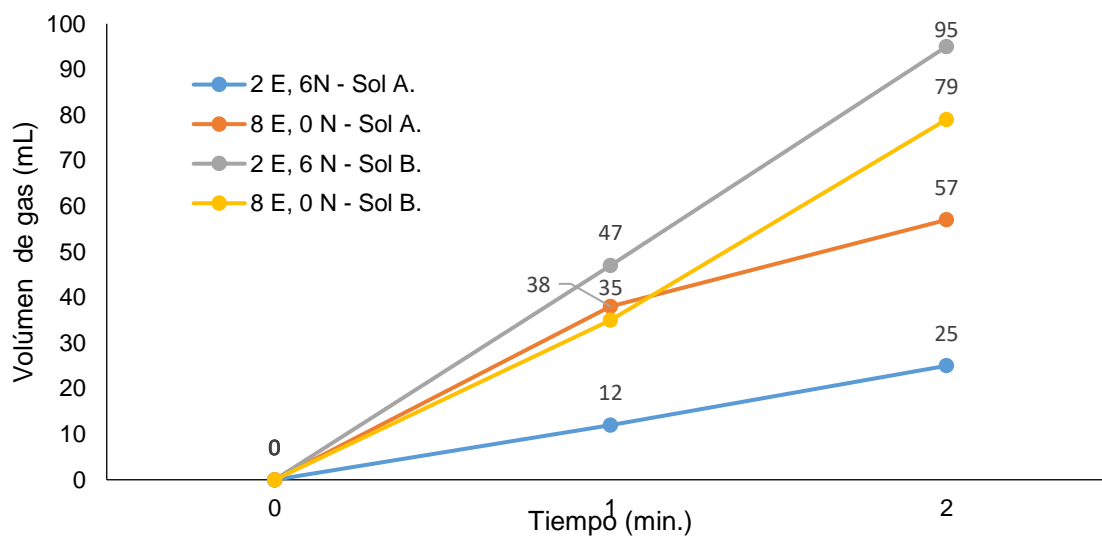


Fig. 17. Producción de gas en función del tiempo.

#### 4.5. Prueba de flama

Para las conexiones del tomacorriente se utilizaron un par de caimanes, fusibles y apagador para mayor seguridad (Fig. 19).



Fig. 18. Cables tomacorriente con apagador y fusible de seguridad.

Posteriormente, para llevar a cabo la prueba de flama fue necesaria la utilización de un recipiente de mayor resistencia, ya sea por temperatura o por cuestiones de seguridad en caso de explosión alguna, por tanto fue utilizado el contenedor de un filtro de agua Rotoplas™, el cual se adecuó para poder tener 2 postes tomacorriente, posteriormente se construyó un cortaflamas, a fin de evitar una posible regresión de la flama (explosión) dentro del contenedor, como se observa en la figura número 20.



Fig. 19. A) celda armada y colocada en contenedor. B) cortaflama.

El aspecto final (Fig. 20) se muestra el contenedor del medio electrolítico que al añadir una corriente eléctrica a través de las celdas llevan a cabo la reacción de electrólisis, posteriormente la mezcla de gases resultantes es conducida a través de una manguera al contenedor cortaflama que en su interior contiene agua sin ningún electrolito. Por último el gas producido sale mediante una manguera hacia el soplete de salida para demostrar la flama en funcionamiento.



Fig. 20. Celda instalada para prueba de flama.

Para probar la flamabilidad del gas producido por la celda, se instaló un soplete posterior al corta flama, por último se encendió (Fig. 21).



Fig. 21. Prueba de flama.

#### 4.6. Análisis estadístico (Prueba de Kolmogorov-Smirnov)

Tras haber realizado la prueba de producción y múltiples repeticiones, los valores obtenidos fueron analizados estadísticamente para observar las diferencias poblacionales, para ello se aplicó una prueba de bondad de ajuste teniendo como base el modelo de Kolmogorov-Smirnov, la cual es utilizada para una o varias poblaciones de datos muestran tendencias de normalidad; dicho de otro modo, muestra las diferencias significativas y no significativas en la distribución de datos, es decir, presenta el comportamiento de ellos, si es que se considera de forma normal o presenta otro tipo de distribución.

Tabla 5. Valores de salida de la prueba de Kolmogorov-Smirnov

Prueba de Producción		
	N	8
Parámetros normales	Media	27.7
	Desviación estándar	15.5
Máximas diferencias	Absoluta	0.14
Extremas	Positiva	0.14
	Negativa	S/N
Estadístico de prueba		0.1480342
Sig. Asintótica (bilateral)	0	0.457

De acuerdo con los valores obtenidos a partir del estadístico de prueba, los datos resultantes de las pruebas de funcionamiento del prototipo generador muestran una distribución normal de la población de los datos, es decir, la generación del gas tiene un comportamiento de forma lineal, donde los datos muestran una tendencia consecutiva tomando en cuenta los dos tiempos en los que se realizaron las repeticiones.

## CAPITULO V. CONCLUSIONES

Usando material de reutilización se construyó una celda generadora de hidrógeno, donde fue necesario el empleo de un segundo material que constituye la celda (acero inoxidable) a causa de un funcionamiento anormal con resultados no favorables; por lo tanto se concluye lo siguiente.

- La celda de placas de acero inoxidable mostró un mejor funcionamiento, así como una mejor fiabilidad en las pruebas de funcionamiento.
- La prueba de flama tuvo un resultado óptimo, tomando en cuenta la flamabilidad que presentaba el gas al combustionar, así como al generar explosiones con bajas cantidades de gas.
- Respecto a la evaluación estadística de los valores de producción de gas, el conjunto de datos muestran normalidad, es decir, no se presentan variaciones relevantes. Por lo tanto, la producción de gas oxhídrico es de comportamiento lineal.
- El comportamiento lineal puede no serlo transcurrido determinado tiempo debido al incremento de la temperatura, así como el rendimiento de producción de gas, donde simultáneamente se puede estar produciendo vapor de agua.

### **Recomendaciones**

- Utilizar herramienta especializada para poder construir la celda.
- Llevar a cabo pruebas de funcionamiento con fuentes de poder en óptimas condiciones
- Realizar pruebas de funcionamiento con tiempos de funcionamiento prolongados para evaluar a largo plazo el funcionamiento de la celda, así como la producción de gas.
- Analizar la causa del sobre calentamiento de la fuente de poder o batería que se esté utilizando al momento de poner en marcha la celda generadora.

## CAPITULO VI. REFERENCIAS

- AMT Solar. (2013). *¿Que es el hidrógeno?*. Recuperado el 26 de septiembre de 2016, de <http://www.amt-solar.com/index.php/es/hidrogeno/que-es-el-hidrogeno>
- Barrero, A. (2007). Energía geotérmica. *Energías Renovables Para Todos*, 2° edición, P 20.
- Brown, T. L., LeMay Jr, H. E., Bursten, B. E., & Burdge, J. R. (2004). *Química*. México. Pearson Educación.
- Bulnes, E. G. (2010). *revista.unam.mx*. Recuperado el sabado 21 de septiembre de 2016, de <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num10/art96/#up>
- Carey, F. (2006). *Química Orgánica* 6ª edición. México, Distrito Federal. McGraw-Hill.
- Secretaría de Energía de la República de Argentina, (2008). Energía solar. *Energías Renovables Argentina*. Recuperado de <http://www.energia.gov.ar>.
- Estrada, C. y Arancibia, C. (2010). Las energías renovables: la energía solar y sus aplicaciones. *Revista Digital Universitaria*. Recuperado de: <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num10/art96/#up>.
- Fernández, J. (2007). Biomasa. *Energías Renovables Para Todos*, p. 20.
- García Camús, J. M. & García Laborda, J. A. (2006). Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol. CITME y CIEMAT. Madrid.
- Gasque L. (2006). Hidrógeno el combustible del futuro. Cómo ves?. Recuperado de <http://www.comoves.unam.mx/numeros/indice/93>.
- González, J. R. Q. & González, L. E. Q. (2015). Energía mareomotriz: potencial energético y medio ambiente. *Gestión y Ambiente*, 18(2), 121-134.
- La Jornada. (2016). Crece consumo de petróleo en México 1.67 millones de barriles diarios: Sener. *La Jornada*. Recuperado el 25 de septiembre de 2016, de <http://www.jornada.unam.mx/2016/05/18/economia/021n1eco>
- Hurtado, J. I. L., & Soria, B. Y. M. (2007). El hidrógeno y la energía. Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI.
- Informe del Grupo de trabajo III del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2011). Fuentes de energía renovables y

- mitigación del cambio climático. Recuperado de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren\\_report\\_es-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf)
- INEGI (2005). El petróleo. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/petroleo/default.aspx?tema=S>
- López, M. V. (2012). Ingeniería de la energía eólica (Vol. 5). Marcombo.
- Matas, J. A. V. (2010). El espejismo de una energía social. La economía del hidrógeno. *Revista Internacional de Sociología*, 68(2), 429-452.
- Melchor, E. F. (2002). *Energía Solar y Arquitectura*. Recuperado el 24 de septiembre de 2016, de <http://www.revista.unam.mx/vol.3/num1/art2/>
- Merino, L. (2007). Energías Renovables . *Energías Renovables Para Todos*, p. 20.
- Mendoza, V. (2015). 2025, el año del adiós al negocio del petróleo. *Forbes*. Recuperado de: <https://www.forbes.com.mx/2025-el-ano-del-adios-al-negocio-del-petroleo/>
- UNAM (2016). Dirección general de comunicación social. Recuperado de [http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2016\\_625.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2016_625.html)
- Mosquera, P. (2007). Eólica. *Energías Renovables Para Todos*, p. 20.
- NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 (2006). Especificaciones de los combustibles fósiles para la Protección Ambiental. Diario oficial de la Federación (30 de enero de 2006)
- National Geographic. (2010). Energía hidroeléctrica. España. Recuperado de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>
- OGANIZACIÓN DE PAISES EXPORTADORES DE PETRÓLEO (2015). Monthly Oil Market Report. Recuperado de [https://www.opec.org/opec\\_web/en/publications/2941.htm](https://www.opec.org/opec_web/en/publications/2941.htm)
- Rifkin J., (2002). La economía del hidrógeno. *La creación de la red energética mundial y la redistribución del poder en la Tierra*. Barcelona: Editorial Paidós, pp. 324. ISBN 84-493-12-80.
- Ruiz, G. (2015). Biogás: el gas combustible alternativo. *Erenovable.com*. Recuperado de: <https://erenovable.com/biogas-el-gas-combustible-alternativo/>.



- Sawin, J. L., Seyboth, K., & Sverrisson, F. (2016). Energías renovables 2016 reporte de la situación mundial. Renewable energy policy network for the 21st century.
- SENER. (2016). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 30 de septiembre de 2016, de <http://www.gob.mx/sener>
- Solano, J. R. (2004). Hacia una economía basada en el hidrógeno. In *Anales de la Universidad Metropolitana* (Vol. 4, No. 1, pp. 165-180).
- UNESCO. (2002). *Agua y energía*. Recuperado el 25 de septiembre de 2016, de [http://webworld.unesco.org/water/wwap/facts\\_figures/agua\\_energia.shtml](http://webworld.unesco.org/water/wwap/facts_figures/agua_energia.shtml)
- Weissermel, K., & Arpe, H. J. (1981). *Química orgánica industrial*. Reverte.
- Wynyard, H. R. (2012). *Evolución de Costos ERNC*. Recuperado el 24 de septiembre de 2016, de [http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/D.\\_Mare.html](http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/D._Mare.html)
- Yndurain, F. (2005). *Energía: Presente y futuro de las diversas tecnologías*. Academia Europea de Ciencias y Artes.