



**Centro de Investigación y de Estudios Avanzados  
del Instituto Politécnico Nacional**



**Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad**

**Reporte Escrito para Examen PRE- DOCTORAL**

**Título del proyecto: ANÁLISIS CRÍTICO DE LA OBTENCIÓN DE  
HIDROGENO A PARTIR DE AGUAS RESIDUALES**

Alumna: I.Q Rivera Vargas Griselda Argelia.

**Sinodales del proyecto**

Dr. Germán Buitrón Méndez

Investigador Titular, Unidad Académica Juriquilla, Instituto de Ingeniería  
De la Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Fray de Landa Castillo Alvarado

Investigador Titular Escuela Superior de Física y Matemáticas  
Del Instituto Politécnico Nacional

Dr. Miguel Ángel Pérez Angón

Investigador Titular Departamento de Física,  
Del Centro de Investigación y estudios Avanzados

Vo.Bo

Directores de Tesis.

Dr. Yasuhiro Matsumoto Kuwabara

Investigador Titular Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Del Centro de Investigación y estudios Avanzados

Dr. Rafael Baquero Parra

Investigador Titular Departamento de Física,  
Del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

## Contenido

Introducción.....	3
Antecedentes.....	4
Problema de los energéticos en México .....	5
Energías renovables.....	6
Situación de las energías Renovables en México .....	6
Agua .....	10
Definición de contaminación del agua .....	10
Tipos de contaminación del agua. ....	10
El hidrogeno. ....	13
Aplicaciones Industriales del hidrogeno.....	15
Ventajas y desventajas del uso de hidrogeno como energético.....	17
Procesos comerciales de obtención de hidrogeno .....	18
Agave (pulque) .....	21
Generalidades .....	21
Justificación .....	23
Objetivo general .....	25
Objetivos particulares .....	25
Metodología.....	26
Sujetos .....	26
Instrumento.....	26
Procedimiento.....	26
Análisis de Resultados parciales .....	27
Conclusiones parciales .....	27
Aportaciones esperadas .....	28
Cronograma de actividades futuras. ....	29

## **Introducción.**

Actualmente los hidrocarburos son la principal fuente para la obtención de energía, de forma directa como en los automóviles o indirecta como el reformado para obtención de hidrogeno; esta dependencia energética es nociva para el país debido a que al tratarse de un no renovable encarece los precios al ser más difícil su obtención. México se sitúa entre los países más dependientes de petróleo el 91% de la energía consumida es suministrada por este recurso, y es una de las principales fuentes de ingresos del país, es por ello que las nuevas políticas en energía se están enfocando a el uso de energías renovables para amortiguar el impacto de los precios del petróleo y gas natural así como el incremento en la demanda de energía por el crecimiento de la población; Para resolver los problemas asociados con el uso del petróleo como una fuente de energía, la comunidad científica realiza investigaciones para mejorar el rendimiento del combustible con un nivel mínimo de efluentes tóxicos.

Una posible solución es el uso del Hidrogeno como energético el cual se puede obtener a partir de recursos renovables como la biomasa y generar energía limpia para pequeñas ciudades; el H<sub>2</sub> es considerado como un combustible limpio, ya que en la combustión sólo se genera agua. Por lo tanto puede ser utilizado en diversas aplicaciones, entre ellas; a) el uso como combustible no contaminantes en los vehículos, b) combustible doméstico, etc.

Se ha demostrado la obtención de hidrogeno a partir de desechos orgánicos con ciertas características fisicoquímicas, analizando estas características y comparándolas con las encontradas en el pulque bebida tradicional mexicana se propone este como opción para la obtención de hidrogeno.

El desarrollo sostenible está definido como desarrollo que cubre las necesidades presentes sin comprometer la necesidad de cubrir las necesidades de las futuras generaciones, y en el marco de esta definición fueron evaluados cuatro indicadores del desarrollo sostenible de los diferentes ciclos de combustible en la producción de hidrógeno en México.

Estos indicadores toman en consideración las emisiones de dióxido de carbono en la atmósfera (ambiente), la disponibilidad de los recursos energéticos (tecnología), los impactos en el uso de suelo (social) y los costos de producción de los ciclos (economía) [1]

## **Antecedentes**

El hidrógeno es una de las primeras moléculas que se sabe y es ampliamente utilizado por muchas industrias para una variedad de aplicaciones. El hidrógeno fue descubierto por el científico británico Henry Cavendish, en 1776, quien informó de un experimento en el que había obtenido agua a partir de la combinación de oxígeno e hidrógeno, con la ayuda de una chispa eléctrica. Como estos elementos, no eran conocidos los denominó “aire sustentador de la vida” y “aire inflamable” respectivamente.

El químico francés Antoine Laurent Lavoisier consiguió repetir con éxito el experimento en 1785 y dio el nombre de oxígeno al “aire sustentador de la vida” y el de hidrógeno al “aire inflamable”.

El hidrógeno es un energético secundario y puede producirse por una gran variedad de métodos, cada uno de ellos se caracteriza por la fuente de energía primaria utilizada para obtenerlo.

El método de obtención de hidrógeno será una decisión crítica en la apuesta por un modelo energético sostenible [2].

El estudio del impacto para la obtención de hidrógeno; debe incluir el costo ambiental y social debido a que dentro de las fuentes primarias para su obtención están incluidos recursos fósiles como el gas natural y el carbón, también se incluyen fuentes renovables como la biomasa, la energía solar, la eólica, la hidráulica y la nuclear.

Las tecnologías de producción también representan una gran cantidad de alternativas, existen procesos químicos, biológicos, electrolíticos, foto líticos y termoquímicos.

La mayor parte de su uso se basa en su reactividad y no que sus propiedades físicas. Su uso en el petróleo refinación ha estado creciendo muy rápidamente debido a una combinación de los factores relativos a los cambios en el crudo, el medio ambiente normas como los límites de azufre en el diesel, los límites permisibles de azufre y nitrógeno, de las emisiones de gases de la atmósfera, las concentraciones de hidrocarburos aromáticos y de la luz en la gasolina, etc.

El hidrógeno es una molécula muy importante con una enorme amplitud y alcance de la aplicación y uso. Es actualmente se utiliza en muchas industrias, desde la química y de refinación de vidrio metalúrgica y electrónica.

Se utiliza principalmente como reactivo. Pero también se utiliza como combustible en aplicaciones espaciales, en el calor el tratamiento de los metales y por su baja viscosidad y densidad [2].

## **Problema de los energéticos en México**

México inicio su historia como un país petrolero desde 1862. Cuando Antonio del Castillo, ingeniero de minas, dirigió una de las primeras perforaciones en México para obtener una mezcla de agua y petróleo crudo de buena calidad [3]. Desde ese periodo el país se ha visto cobijado por una falta de cultura energética; que se manifiesta en una actividad casi exclusiva en la explotación y venta de petróleo y no hace énfasis en una política de desarrollo sostenido para su tratamiento y con ello la obtención de bienes, en el año 2008 México exportó una media de 1.4 millones de barriles diarios, lo que significó una caída de 16.8% respecto del 2007[4], lo que reflejan la falta de un plan claro y efectivo de aprovechamiento de recursos energéticos.

La segunda fuente de Energía más importante en el país es la eléctrica, la generación de Energía eléctrica para febrero del 2011 fue de 17,993 GWh lo que significa un aumento de 8.8% con respecto al mismo periodo en el año anterior [5]; esto dividido entre las termoeléctricas con una generación del

6,672 GWh, los productores independientes 6,395 GWh con participaciones en porcentaje de 37.1% y 35.5%; en tanto las hidroeléctricas con 13.4%, las carboeléctricas 7.9% las geotérmicas 3.2%, la central nuclear 2.8% y las centrales eólicas 0.1%. Estos datos muestran que la generación de energía eléctrica a partir de recursos renovables es muy pequeña.

## **Energías renovables.**

### **Situación de las energías Renovables en México**

Dentro de estos tipos de energía se encuentran: la solar, la eólica (viento), la minihidráulica (ríos y pequeñas caídas de agua), la biomasa (materia orgánica), la geotermia (calor de las capas internas de la Tierra) y la oceánica.

La biomasa principalmente es la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Para poder hacer distinción entre las formas de uso de esta materia se propone una forma de división en biocombustibles y bioenergéticos.

Los biocombustibles son aquellos combustibles que se derivan de la biomasa tratada por un proceso físicoquímico en donde entra el H<sub>2</sub> en forma de biohidrogeno. Los bioenergéticos es la biomasa que se usa directamente como combustible sin ningún cambio químico, solamente físico [6]

Tabla 1: Con secciones para Generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables [5]

Energético	Permisos	Capacidad (MW)	Energía (GWh/a)
Viento	7	956.73	3,645.31
Agua	12	159.08	736.33
Bagazo de caña	4	70.85	205.30
Biogás	3	19.28	120.80
Híbridos	28	248.68	475.40
Total	54	1,454.62	5,183.14

Los datos presentados en la tabla anterior son pertenecientes a los permisos (CRE, 2005) dados al sector privado ahora estos datos son del año 2004 a un cuando su publicación fue posterior; en el año 2007 se pronosticaba una inversión en el Istmo de Tehuantepec, para un parque eólico de 2,000 MW, cuya propiedad y operación sería totalmente de la iniciativa privada, este campo está en operación en la actualidad por dos grandes empresas Cemex y Bimbo.

En el sexenio del presidente calderón se pretendió en un plan de aprovechamiento energético adicionar más de 4,200 MW a la capacidad existente, con proyectos hidroeléctricos, geotérmicos y eólicos.

La situación actual de las fuentes alternas de energía en México según un reporte de la secretaria de energía en el año 2006 nos da los siguientes datos:

**Energía Solar**, de 1993 a 2003, la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos se incrementó de 7 a 15 MW, generando más de 8,000 MWh/año en electrificación rural, bombeo de agua y refrigeración. Para sistemas termosolares, al 2003 se tenían instalados más de 570 mil metros cuadrados

de calentadores solares planos, con una radiación promedio de 18,841 kJ/m<sup>2</sup> al día, generando más de 270 Gigajoules para calentar agua

**Para la energía eólica**, en el 2004 se tenían instalados 3 MW; 2MW en la zona sur-sureste y 1 MW en la zona noreste, con los que se generaron 6 GWh de electricidad. A esto sumamos los esfuerzos por la puesta en marcha del proyecto de Tehuantepec con 1250 MW para el año 20013 según estudios de CFE [7]

**Energía Hidráulica**, se están operando en los estados de Veracruz y Jalisco tres centrales minihidráulicas con una capacidad instalada de 16 MW, que generan un total de 67 GWh/año. Adicionalmente están en operación tres centrales híbridas (minihidráulicas-gas natural) en los estados de Veracruz y Durango [5].

**La bioenergía** representa el 8% del consumo de energía primaria en México. Los principales bioenergéticos empleados son el bagazo de caña (usado para la generación eléctrica y/o térmica en la industria azucarera) y la leña (fundamentalmente usada para calefacción y cocción de alimentos). En 2004 se consumieron 92 Petajoules de bagazo de caña y 250 de leña<sup>15</sup>. México produce al año en la industria cañera, 45 millones de litros de bioetanol<sup>16</sup> que actualmente no se usan como combustible sino en la industria química.

Al 2005 la Comisión Reguladora de Energía autorizó 19 MW para generar 120 GWh/año con biogás, 70 MW para generar 105 GWh/año con bagazo de caña y 224 MW para generar 391 GWh/año con sistemas híbridos (combustóleo-bagazo de caña).

El potencial bioenergético de México se estima entre 2,635 y 3,771 petajoules al año [6], aunque la producción actual es 10 veces menor. El potencial estimado indica que 40 por ciento proviene de los combustibles de madera, 26 por ciento de los agrocombustibles y 0.6 por ciento de los subproductos de origen municipal. Sin embargo, se piensa que el país tiene un potencial de 73 millones de toneladas de residuos agrícola-forestales que pudieran ser explotables y que los residuos sólidos municipales de las 10 principales

ciudades pueden aprovecharse en la generación de electricidad, a partir de su transformación térmica. [6]

**Energía Geotérmica;** la mitad de la energía eléctrica consumida en el estado de Baja California y el 3% de la consumida en México en 2006 se produjo gracias a la geotermia. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) opera actualmente los campos geotérmicos de Cerro Prieto, Los Azufres, Los Humeros y Las Tres Vírgenes, donde 37 unidades geotermoeléctricas con una capacidad instalada conjunta de 958 megawatts (MW) son alimentadas por 230 pozos con profundidades de 600 a 4 mil metros, que extraen del subsuelo más de 72 millones de toneladas de vapor al año. Debido a ello, México ha venido ocupando el tercer lugar mundial de acuerdo a su capacidad geotermoeléctrica en operación [7].

Un dato importante es que México promulgo la *Ley de promoción desarrollo de los bioenergéticos*, propone estrategias en favor de la producción, comercialización y utilización de biocombustibles al igual que la *Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética*, con lo cual se publicó el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables que busca:

Impulsar el desarrollo de la industria de energías renovables en México, ampliar el portafolio energético del país, y ampliar la cobertura del servicio eléctrico en comunidades rurales utilizando energías renovables. Esto con el fin de impulsar las energías renovables y sustentables en mayor proporción los bioenergéticos para fomentar el uso de insumos provenientes del sector agrario [10].

**Hidrogeno.** El hidrogeno es un combustible secundario debido a que para su obtención se requiere de fuentes primarias de energía acompañadas de procesos fisicoquímicos. El estudio del impacto para la obtención de hidrogeno; debe incluir el costo ambiental y social debido a que dentro de las fuentes primarias para su obtención están incluidos recursos fósiles como el gas natural y el carbón, también se incluyen fuentes renovables como la biomasa, la energía solar, la eólica, la hidráulica y la nuclear. Las tecnologías de

producción también representan una gran cantidad de alternativas, existen procesos químicos, biológicos, electrolíticos, foto líticos y termoquímicos.

En México se encuentran instaladas 36 plantas para la generación del hidrogeno, se cuenta con una capacidad instalada de 16,797 Toneladas por año. De estas plantas, 25 de ellas operan con Gas Natural, 6 plantas operan con propano al 97%, por último 5 operan por vía electrólisis

Las plantas que generan hidrogeno vía reformación catalítica de hidrocarburos, entregan un hidrogeno producto, típicamente a 14.7 Kg/cm<sup>2</sup> y a 28 °C, en estado gaseoso. La pureza típica de diseño es de 99.99% en volumen Las impurezas son básicamente CO, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

Las plantas que generan hidrogeno vía electrolisis, entregan un hidrogeno producto, típicamente a 2 Kg/cm<sup>2</sup> y a 28 °C, en estado gaseoso. La pureza es típicamente de 99.99% en volumen, las impurezas son básicamente O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O [11].

## **Agua**

### **Definición de contaminación del agua**

La acción y el efecto de introducir materias, o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológico (Ley de Aguas).

### **Tipos de contaminación del agua.**

La contaminación del agua puede estar producida por:

Compuestos minerales: pueden ser sustancias tóxicas como los metales pesados (plomo, mercurio, etc.), nitratos, nitritos. Otros elementos afectan a las propiedades organolépticas (olor, color y sabor) del agua que son el cobre, el

hierro, etc. Otros producen el desarrollo de las algas y la eutrofización (disminución de la cantidad de O<sub>2</sub> disuelto en el agua) como el fósforo.

Compuestos orgánicos (fenoles, hidrocarburos, detergentes, etc.) Producen también eutrofización del agua debido a una disminución de la concentración de oxígeno.

La contaminación microbiológica se produce principalmente por la presencia de fenoles, bacterias, virus, protozoos, algas unicelulares. La contaminación térmica provoca una disminución de la solubilidad del oxígeno en el agua.

Tipos de agua en función del origen de su contaminación.

- Aguas residuales urbanas: aguas fecales, aguas de fregado, agua de cocina. Los principales contaminantes de éstas son la materia orgánica y microorganismos. Estas aguas suelen verterse a ríos o al mar tras una pequeña depuración.
- Aguas residuales industriales: contienen casi todos los tipos de contaminantes (minerales, orgánicas, térmicos por las aguas de refrigeración). Estas aguas se vierten a ríos u mares tras una depuración parcial.
- Aguas residuales ganaderas: el tipo de contaminantes va a ser materia orgánica y microorganismos. Pueden contaminar pozos y aguas subterráneas cercanas.
- Aguas residuales agrícolas: los contaminantes que contienen son materia orgánica (fertilizantes, pesticidas). Pueden contaminar aguas subterráneas, ríos, mares, embalses, etc.
- Mareas negras. La causa de éstas es el vertido de petróleo debido a pérdidas directas de hidrocarburos (solo un 9%), siendo las fuentes de contaminación marina por petróleo más importantes las constituidas por las operaciones de limpieza y lastrado de las plantas petrolíferas.

La gran variedad de procesos industriales genera un amplio abanico de efluentes, que requiere en cada caso una investigación individual y frecuentemente un proceso de tratamiento específico.

Además es necesario conocer el sistema de producción de la industria en concreto y los sistemas de organización de los procesos involucrados. Hay cuatro tipos de efluentes industriales a considerar:

1. Efluentes de los procesos generales de fabricación. La mayoría de procesos aumentan la contaminación de los efluentes por el contacto que tienen con gases, líquidos o sólidos. Los efluentes pueden ser continuos o intermitentes. Algunos sólo se producen algunos meses al año (campañas en la industria agroalimentaria). Generalmente la producción es regular, produciendo flujos de contaminantes conocidos. Sin embargo para determinados sectores (química sintética, farmacéutica, etc.) Es muy dificultoso analizar los efluentes ya que cambian constantemente.
2. Efluentes específicos. Algunos efluentes son separados de corrientes específicas del proceso tal es el caso: Baños de electro platinado, sosa cáustica gastada, licores de amonio de plantas de carbón. Condensados de la producción de papel, líquidos madres de la industria alimentaria. Efluentes tóxicos y concentrados.
3. Efluentes procedentes de servicios generales.
4. Efluentes intermitentes. No deben olvidarse y pueden provenir de vertidos accidentales de productos, durante su manejo o almacenamiento.

Para conocer qué tipo de agua se está manejando es necesario conocer los métodos normalizados para análisis de aguas; entre los más importantes se encuentran:

- Determinación de parámetros físico-químicos: turbidez, color, olor, sólidos totales.
- Determinación de contaminantes inorgánicos específicos: metales, aniones.

- Determinación de contaminantes orgánicos: DQO, DBO, COT.
- Elementos insolubles separables físicamente con o sin floculación. Se incluyen en este grupo tanto las materias grasas (grasas, hidrocarburos, aceites, etc.) como los posibles sólidos en suspensión (arenas, óxidos, hidróxidos).
- Elementos separables por precipitación. En este caso encontramos los metales como Fe, Cu, Ni, Cr, etc., y aniones como su sulfatos, fosfatos, fluoruros, etc.
- Ácidos y bases. Como ácido clorhídrico, sulfúrico, y bases como hidróxido sódico que deben previamente neutralizarse.
- Elementos que pueden necesitar reacciones de oxido-reducción. Como cianuros, cromo hexavalente, sulfuros, cloro, etc.
- Elementos orgánicos tratables biológicamente. En este grupo se incluiría todos los elementos biodegradables como azúcares, proteínas, fenoles, etc.
- Elementos que pueden eliminarse por intercambio iónico. Entre estos se encuentran los radionucleidos y las sales.
- Elementos separables por desgasificación o "stripping". Como ácido sulfhídrico, amoníaco, etc [12].

## **El hidrogeno.**

Formas de obtención de hidrogeno Las tecnologías y procesos de producción del hidrógeno se pueden clasificar en:

- Reformado: es el procedimiento más usado actualmente, aproximadamente el 95% de la producción mundial. En este proceso el metano, a partir de gas natural, reacciona con vapor de agua (reformado con vapor de agua) o con oxígeno (reformado por oxidación parcial) o mediante una combinación de ambos (reformado auto-térmico). En cualquiera de estos procesos el CO<sub>2</sub> aparece como uno de sus subproductos.

- Pirólisis: consiste en la descomposición controlada de carbón o biomasa mediante la acción de calor en ausencia de oxígeno para generar gas de síntesis rico en hidrógeno.
- Gasificación: consiste en una combustión de carbón o biomasa pobre en oxígeno cuya posterior manipulación consigue generar hidrógeno de gran pureza.
- Termólisis: proceso en el que el calor de una fuente externa como por ejemplo: la energía solar que es capaz de extraer el hidrógeno de una molécula.
- Electrolisis: proceso en el que se usa la corriente eléctrica para romper la molécula de agua y dissociar el hidrógeno y el oxígeno que contiene; se estima que aproximadamente el 5% de la producción mundial se obtiene mediante este método.
- Fermentación: consiste en la producción de hidrógeno mediante la producción de etanol (fermentación alcohólica) o biogás (fermentación anaerobia) a partir de biomasa.
- Fotólisis: procedimiento de carácter experimental que emplea la luz solar usando organismos (procesos foto-biológicos) o semiconductores de diseño específico (procesos foto-electroquímicos) para la producción de hidrógeno.

Del análisis del estado actual de las tecnologías de producción anteriores, sus costos y desarrollo se deduce que, a corto plazo, el hidrógeno se seguirá produciendo a partir de fuentes energéticas fósiles, si bien tras un periodo de transición, a medio plazo, en el que las tecnologías renovables vayan alcanzando una cierta madurez, su producción se basará masivamente en el empleo de fuentes renovables lo que contribuirá a un modelo energéticamente sostenible [13]

## Aplicaciones Industriales del hidrogeno

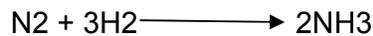
El hidrógeno es una de las primeras moléculas que se sabe y es ampliamente utilizado por muchas industrias para una variedad de aplicaciones.

La mayor parte de su uso se basa en su reactividad y no que sus propiedades físicas.

Recientemente, su uso en el petróleo refinación ha estado creciendo muy rápidamente debido a una combinación de los factores relativos a los cambios en el crudo, el medio ambiente normas como los límites de azufre en el diesel, los límites permisibles de Óxidos de N y S (NOX y SOX), de las emisiones de gases de la atmósfera, las concentraciones de hidrocarburos aromáticos y de la luz en la gasolina, etc. [3]

Algunos usos Industriales del hidrógeno:

- En el proceso de síntesis del amoniac o proceso Haber:



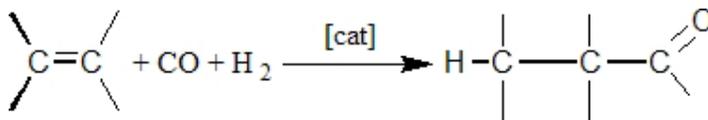
- Proceso de síntesis de metanol:

[cat] = cobalto



Este proceso adquirió gran importancia sobre todo en los años de la crisis del petróleo, como síntesis de combustibles alternativos.

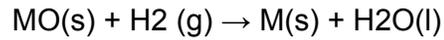
Procesos de Hidroformilación de olefinas:



En este proceso se forma un aldehído que contiene un átomo de carbono más que la olefina de partida.

- La hidrogenación catalítica de aceites vegetales insaturados para producir grasas sólidas comestibles.

· El hidrógeno se utiliza también para transformar diferentes óxidos metálicos en metales (como los de plata, cobre, plomo, bismuto, mercurio, molibdeno y wolframio):



La gran ventaja del hidrógeno líquido es que su densidad a presión atmosférica y a 20 °K es 76,4 kg/m<sup>3</sup> (850 veces mayor que la del gas en condiciones normales) lo que permite confinarlo en recipientes especiales no muy voluminosos y de paredes delgadas, lo que es esencial para su uso como fluido energético en cohetes y vehículos de todo tipo.

Sus principales aplicaciones como reactivo son:

1. Con el nitrógeno para producir amoníaco
2. Con el CO y el CO<sub>2</sub> para producir metanol
3. Con hidrocarburos insaturados y aromáticos para saturar sus dobles enlaces
4. Con hidrocarburos sulfurados para desulfurarlos produciendo sulfuro de hidrógeno
5. Para reducir numerosos productos químicos en procesos de síntesis de otros.
6. Como reactivo en los procesos de hidrogenación, aquí átomo de hidrógeno se utiliza para producir molecular inferior compuestos de peso o para saturar los compuestos o hidrocarburos "crack" o para eliminar el azufre y el nitrógeno compuestos [13].
7. Como O<sub>2</sub>, limpiador para remover químicamente traza cantidades de O<sub>2</sub>, para evitar la oxidación y la corrosión.
8. Como refrigerante en generadores eléctricos, para aprovechar de sus propiedades físicas únicas [13].

## **Ventajas y desventajas del uso de hidrogeno como energético**

### *VENTAJAS*

Las ventajas del uso del hidrógeno son las siguientes:

- El hidrógeno es un combustible extraído del agua, la cual es un recurso muy abundante e inagotable en el mundo.
- La combustión del hidrógeno con el aire es limpia, evitando así la contaminación del medio ambiente; esto es debido a que los productos de la combustión del hidrógeno con aire son: vapor de agua y residuos insignificantes donde la máxima temperatura es limitada. Algunos óxidos de nitrógeno son creados a muy altas temperaturas de combustión (2000 °C), afortunadamente, la temperatura de auto ignición del hidrógeno es solamente de 585 °C y los productos de la combustión son en su mayoría vapores de agua, los cuales son productos no contaminantes.
- Altas eficiencias en la utilización del combustible. El hecho de la conversión directa del combustible a energía a través de una reacción electroquímica, hace que las pilas de combustible puedan producir más energía con la misma cantidad de combustible si lo comparamos con una combustión tradicional. El proceso directo hace que las eficiencias puedan alcanzar entre 30% y 90%, dependiendo del sistema de pila de combustible y además se puede emplear el calor adicional producido.
- Reducción del peligro medioambiental inherente de las industrias extractivas. Si se produce un escape de hidrógeno, éste se evaporará de forma instantánea debido a que es más ligero que el aire.
- Funcionamiento silencioso. Al carecer de partes móviles, se ha estimado que el nivel de ruido a 30 metros de una pila de combustible de tamaño medio es únicamente de 55 decibelios. Es por ello que podrían usarse pilas de combustible en recintos urbanos

– *DESVENTAJAS*

Las desventajas del uso del hidrógeno son las siguientes:

- Como no es un combustible primario entonces se incurre en un gasto para su obtención.
- Requiere de sistemas de almacenamiento costoso y poco desarrollado.
- Elevado gasto de energía en la licuefacción del hidrógeno.
- Elevado precio del hidrógeno puro.
- Alto peso de pilas de combustible para los prototipos actuales; Se estima que un coche con pila de combustible cuesta un 30 % más que uno de gasolina o diesel con prestaciones similares.
- Al tratarse de una tecnología en desarrollo y contar todavía con una baja demanda de unidades, su precio no puede, hoy en día, competir con el de las tecnologías convencionales.

**Procesos comerciales de obtención de hidrogeno**

El Hidrogeno es producido en la actual por procesos de reformado catalítico la mayoría de las fuentes económicas de hidrógeno son el carbón y el gas natural, con un costo estimado de 1.83 \$ / kg y 3.17 \$ / kg para cada fuente de energía, respectivamente.

Reformado de Gas natural. Específicamente, la metodología más extendida de producción de H<sub>2</sub> es el reformado con vapor de agua conforme a la reacción:



$$(\Delta H^\circ = 206 \text{ kJ/mol})$$

El gas natural reacciona con vapor de agua en catalizadores de Ni en un reformador primario a temperaturas próximas a 1200 K y presión total de 20-30 bar. Aunque la estequiometria de la reacción solamente requiere 1 mol de H<sub>2</sub>O por mol de CH<sub>4</sub>, se incorpora un exceso de H<sub>2</sub>O (usualmente 2.5-5.0) para reducir la formación de carbón. La conversión de CH<sub>4</sub> a la salida del

reformador está en el orden 90-92% y la composición de la mezcla se acerca a la que predice el equilibrio termodinámico.

A la salida del reformador primario se coloca un segundo reformador autotérmico en el que 8-10% del CH<sub>4</sub> no convertido reacciona con oxígeno en la parte superior del tubo. La composición del gas se equilibra con un catalizador de Ni colocado en la zona de combustión.

Para la producción de H<sub>2</sub> (amoníaco, uso en refinería, petroquímica, metalurgia, pilas de combustible), el CO presente en la corriente de salida se convierte en H<sub>2</sub> adicional en sendos reactores de desplazamiento a elevada y baja temperatura, respectivamente. La reacción del gas de agua:



$$(\Delta H^\circ = -41.1 \text{ kJ/mol})$$

Ajusta la relación H<sub>2</sub> /CO. Si el gas de síntesis se convierte a H<sub>2</sub>, son precisos dos reactores: uno de alta temperatura (HTS) que opera a 670 K y otro de baja temperatura (LTS) a 470 K. El proceso de reformado con vapor (SMR) produce gas de síntesis con cerca de 75 vol% (base seca) a elevada presión.

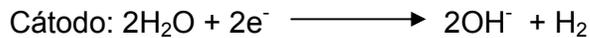
El hidrógeno se purifica después en unidades PSA (pressure swing adsorption), en las que se alcanza una pureza típica de 99.99 vol%. En estas unidades PSA, los gases diferentes al H<sub>2</sub> que vienen del reformador y los reactores de desplazamiento se adsorben a elevada presión sobre zeolitas o carbón activo. Estos gases que no contienen H<sub>2</sub> se desorben por expansión hasta presión próxima a la atmosférica y posteriormente se reinyectan en el reformador como fuente de energía térmica.

Estudios han demostrado que, las plantas sin retención tienen un costo de 1.15 \$ / kg de hidrógeno, y si se incluye el secuestro, el aumento de los costos de 1.36 \$ / kg.

Electrólisis del agua: El paso de la corriente eléctrica a través del agua, produce una disociación entre el hidrógeno y el oxígeno, componentes de la molécula del agua H<sub>2</sub>O. El hidrógeno se recoge en el cátodo (polo cargado

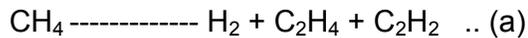
negativamente) y el oxígeno en el ánodo. El proceso es mucho más caro que el reformado con vapor, pero produce hidrógeno de gran pureza. Este hidrógeno se utiliza en la industria electrónica, farmacéutica o alimentaria.

De forma teórica se puede afirmar que la electrólisis del agua se produce cuando se hace pasar una corriente eléctrica entre dos electrodos sumergidos en un electrolito.



Si tenemos una planta que consume 30 MW y una capacidad de producción de hidrógeno de 14.500 kg / día el costo será es 4,36 \$ / kg.

La pirólisis catalítica del gas natural a elevada temperatura produce H<sub>2</sub> e hidrocarburos con dos átomos de carbono



y una pirólisis a temperatura media el CH<sub>4</sub> e hidrocarburos más largos en H<sub>2</sub> y un material de carbono mediante la reacción:



La reacción (a) es un proceso altamente endotérmico, conocido con detalle desde hace décadas debido a que es una de las fuente de producción de acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) en arco eléctrico o producción de H<sub>2</sub> en condiciones de no equilibrio mediante descarga de microondas o plasma.

Conforme a los cálculos termodinámicos, la formación de H<sub>2</sub> y de hidrocarburos C<sub>2</sub> ocurre preferentemente a temperaturas superiores a 1300K.

# Agave (pulque)

## Generalidades

En México existen diversas bebidas que producen etanol, metano y metanol en sus subproductos de procesos de su elaboración; entre ellas el pulque bebida del maguey rica en azúcares.

México es el centro de origen de la familia *Agavaceae*, a la cual pertenecen ocho géneros, entre ellos el género *Agave*. De las 273 especies descritas de esta familia que se distribuye en el continente americano -desde Dakota del Norte, EUA, hasta Bolivia y Paraguay- en México se encuentra la mayor diversidad con 205 especies, de las cuales 151 son endémicas. Los estados más ricos en número de especies son Oaxaca, Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Jalisco.

En los Valles Centrales de Oaxaca, en los distritos de Tlacolula, Etlá, Zaachila, Zimatlán, Ejutla y Miahuatlán, crecen varias especies de agave, entre ellas, *A. angustifolia* y *A. korwinskii*. La primera es la más utilizada para la elaboración de otro aguardiente muy característico de nuestro país, el mezcal.

El procedimiento de elaboración del mezcal es similar al del tequila: ambos casos incluyen cuatro procesos: cocimiento de la "piña", su machacado, fermentación y destilación pero el tequila se destila dos veces y el mezcal se destila solamente una.

Las especies de las cuales se obtiene el pulque son *Agavácea salmiana*, *Agavácea mapisaga*, *Agavácea atrovirens*, que se distribuyen principalmente en el Valle de México, en los estados de México, Tlaxcala, Hidalgo y Puebla.

Al igual que el maguey mezcalero y el tequilero, el maguey pulquero requiere aproximadamente diez años para alcanzar su madurez y poder ser aprovechado. La etapa productiva de un maguey pulquero comienza cuando éste es "capado", es decir cuando se le corta el conjunto de pencas más tiernas del centro de la planta para que, al cabo de cuatro meses, comience a dar sus primeros litros de aguamiel. El periodo de producción del aguamiel dura generalmente de tres a cuatro meses, y rinde en promedio unos 300 litros. De

la fermentación del aguamiel, que tarda menos de 24 horas, se obtiene la bebida alcohólica que conocemos como pulque.

El contenido alcohólico depende del tiempo que haya fermentado, la concentración en grados Gay Lussac varía entre los 6 grados para pulques tiernos y los 20 grados para pulques fuertes. (14)

**Tabla 1:** Características Físicas y Químicas del Pulque (Sánchez- Marroquí 1979)

Medio	Cantidad
PH	5.3
Acidez total (En ácido láctico)	0.279
Densidad 20° C	1.014
Solidos totales	4.63
Cenizas	0.25
Reductores directos en glucosa	Huellas
Gomas	0.398
Proteínas (NX6.25)	0.350
Índice de refracción 20° C (Inmersión)	45.38
Etanol	4.26
Humedad	97.0
Proteínas	0.30

---

Calcio	20
Fosforo	9
Hierro	No determinado
Tiamina	0.02
Niacina	0.40
Vitamina C	6.7

---

Por el grado de alcohol y de componentes orgánicos el pulque es una excelente opción para la obtención de biomasa y posterior extracción de hidrogeno por alguna de las técnicas antes mencionadas su estudio será una apuesta al futuro de los energéticos y se podría contribuir a la reutilización y siembra del agave pulquero en peligro de extinción; así como impulsar las zonas agrícolas cercanas a los valles de hidalgo Tlaxcala y Jalisco.

## **Justificación**

Sin duda el petróleo en nuestro país ha sido una fuente de recursos muy socorrida a lo largo nuestra historia que nos ha llevado a depender fuertemente de el siendo la 1 entrada de recursos al país; el petróleo cumple una triple función en la sociedad: como fuente de energía, materia prima y fuente de ingresos [15]

México es un productor de petróleo el sexto a nivel mundial 3.477 miles de barriles diarios (Las cifras provienen de la Agencia de Información de Administración de Energía (AIE) y su más reciente información estadística, publicada en junio del 2008, incluyendo datos de fines del 2007; y el 12 ° en exportaciones 1.455 miles de barriles diarios; PEMEX (Petróleos Mexicanos) se encuentra entre las empresas con mayor número de reservas de petróleo en esta lista ocupa el lugar número 11 con 12.849 millones de barriles pero otros datos muestran 16 mil millones de barriles, en tanto que la gerencia de

exploración de la paraestatal las sitúa en 65 mil millones de barriles y la US Geological Survey –que es una fuente más creíble– las ubica en 23 mil millones de barriles.[16] lo alarmante no es si se miente o no en la reservas de petróleo si no que el país ocupa un honroso 11° sitio entre los países más consumidores de petróleo a nivel mundial con 2.024 miles de barriles diarios.

Es visible que se requiere replantear la política energética bien esto se realizó en el año 2008 en los meses de Mayo a Julio y se publicó el viernes 28 de noviembre en el Diario Oficial de la Federación los siete decretos que integran la Reforma Energética, en la cual se ve ya una marcada presencia del uso de energías renovables.

El hidrogeno promete ser una alternativa viable para procurar la Energía de futuro comparando sus propiedades con la de los combustibles convencionales se puede apreciar su alto poder calorífico, nula toxicidad entre otras características como se muestran en la tabla 2.

	Hidrógeno	Gasolina	Metano
Poder calorífico inferior (kJ/gr)	120	43	50
Densidad gas (kg/Nm <sup>3</sup> )	0,090	-	0,717
Densidad energética gas	10,8	-	35,8
Densidad liquido (kg/l)	0,071	0,733	-
Densidad energética liq. (MJ/ l)	10,8	31,5	-
Limites de inflamabilidad (%)	4,0 - 75	1,0 - 7,6	5,3 - 15,0
Limites de detonación (%)	18,3 - 59	1,1 - 3,3	6,3 - 13,5
Mínima energía de activación (mJ)	0,02	0,24	0,29
Temp. de comb. espontánea (K)	858	501-744	813
Emisiones (mg CO <sub>2</sub> / kJ)	0	~ 80	55
Visibilidad de la llama	no	sí	sí
Toxicidad (combustible y emisiones)	no/no	sí/ sí	sí/ sí

**Tabla 2.** Características de algunos combustibles.

Cabe destacar que el hidrógeno es un combustible con un gran poder calorífico, es decir que un gramo de hidrógeno libera mucha más energía que un gramo de otros combustibles. Pero que representa el hidrogeno como energético bien algunos datos tomados del portal de la asociación española del hidrogeno [17]:

1 kg de H<sub>2</sub> ↔ 2,78 kg de gasolina ↔ 2,80 kg de gasóleo ↔ 2,40 kg de metano  
↔ entre 2,54 y 3,14 kg de gas natural (dependiendo de la composición del GN)  
↔ 2,59 kg de propano ↔ 2,62 kg de butano ↔ 6,09 kg de metanol.

En la investigación sobre hidrogeno se pueden encontrar trabajos como; Soria F. et al, muestran la obtención de hidrogeno a partir de biodigestores de líquidos orgánicos que producen metano y CO<sub>2</sub>; Buitron G. utiliza aguas residuales de la industria del tequila para la producción de hidrogeno mediante procesos anaerobios sin recurrir a la formación de metano; J. C. Vargas producen hidrogeno a partir de reformado de etanol el cual es un alcohol presente en los fermentos de bebidas alcohólicas y algunos destilados, C. Escamilla Alvarado y H. Poggi obtienen hidrogeno a partir de los desechos orgánicos de frutas y verduras[18,19, 20].

Basado en la literatura se puede asegurar que el proceso de obtención de hidrogeno es crucial para la sustentabilidad del mismo, para hacer un estudio crítico detallo se deben consideran los parámetros mencionados para la sustentabilidad; por ello se analizara bajo estos parámetros (económico, social, ambiental y tecnológico) la elección del método de obtención de Hidrogeno; Una vez analizando las posibles formas de obtención de hidrogeno podremos preguntarnos si es posible que este sea una opción energética por lo que la pregunta será ¿puede el hidrogeno ser una alternativa energética sustentable?

## **OBJETIVO GENERAL**

Hacer un análisis crítico del hidrogeno como posible solución energética para la ciudad de México; evaluando la implementación y puesta en marcha de una planta piloto para la producción de hidrogeno.

### **Objetivos particulares**

.Análisis y caracterización del pulque como posible fuente de hidrogeno,  
.Estudio exegético de la producción de hidrogeno por las vías comerciales y compáralo con el método propuesto.

## **Metodología**

- Estudio económico del agave pulquero
- Análisis físico químico del pulque
- Obtención de hidrogeno a partir del proceso adecuado según los datos arrojados por las muestras de pulque.
- Diseño de un proceso escalable para la obtención de hidrogeno.

## **Sujetos**

Estudio de las aguas residuales

Estudio de plantas agaváceas para producción de pulque

Pulque en diferentes etapas de fermentación

## **Instrumento.**

Entrevistas a productores

Muestreos en campo

Viscosímetro, Medidor de pH,

Cromatografía de dispersión de masas, programa origin-pro para manipulación de datos.

## **Procedimiento**

Análisis físico químico del pulque así como cromatografía de gases para determinar el contenido real de hidrogeno en diferentes etapas de fermentación.

Análisis de costos para escalamiento del proceso.

Implementación de un dispositivo de recuperación de hidrogeno.

## **Análisis de Resultados parciales**

Las aguas residuales plantean un gran reto para la producción de hidrogeno debido a sus múltiples componentes orgánicos como inorgánicos en particular en la ciudad de México donde sus efluentes son mixtos esto es que toda el agua de desecho se mezcla en los ductos de drenaje profundo por lo que es muy complicado determinar sus compuestos en periodos prolongados de tiempo y poder implementar una ruta de investigación para encontrar el método más adecuado de producción de hidrogeno datos en la literatura muestran un alto contenido en metales en especial de cromo F. M. Melo Sánchez, C. Márquez Estrada por lo que se descartan las aguas residuales como estudio de caso para la producción de hidrogeno.

El pulque por sus propiedades parece cumplir con características necesarias para la obtención de hidrogeno vía fermentación con lo cual se podría dar un uso a esta bebida casi olvidada.

Y con una baja producción y costo, el producto enlatado 17.50 pesos por 650ml y el natural 12 pesos el litro, para con ello darle un incentivo a los productores.

## **Conclusiones parciales**

México basa su energía en recursos no renovables aun cuando su producción petrolera cayo en los últimos años, lo cual implica recurrir a fuentes alternas de energía actualmente la energía eólica es digna de mencionar por la gran inversión que se está haciendo en ese sector por parte de empresarios, la propuesta del hidrogeno como energético es al igual una forma real de obtención de energía en México está; ya se trabaja mediante reformado de gas natural, pero la propuesta en este trabajo es su obtención mediante recursos renovables y sustentables como la biomasa.

Las Naciones Unidas sugiere que a para la protección de la atmósfera, las estrategias deben abordarlas desde el sector de la energía mediante el aumento de la eficiencia y el cambio de sistemas de energía benigna para el ambiente.

## **Aportaciones esperadas**

Favorecer el estudio económico y social del hidrogeno como energético a partir de recursos propios de México.

Hacer un análisis real de los grupos de investigación y las tecnologías empleadas para la producción de Hidrogeno en México.

Implementación de un proceso real y escalable para la obtención de hidrogeno para pequeñas comunidades.

### Cronograma de actividades futuras.

Año	2010		2011		2012		2013		2014	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Semestre/Actividad										
Revisión Bibliográfica	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Análisis de datos de agua	x									
Procesos comerciales de obtención de hidrógeno, características.		x	x							
Análisis de costos de los procesos para obtención de hidrógeno en general.			x							
Estudio de caso de reformado de gas natural para la obtención de hidrógeno y Electrólisis.			x	x						
Información de la situación actual, características y costo del Agave pulquero				x						
Elección de insumos				x						
Recolección de datos en campo			x	x	x	x	x	x	x	x
Determinación de propiedades físico químicas				x						
Análisis cromatográficos				x	x					
Análisis de datos					x	x				



## Referencias

1. R. Navarro, F. del Valle, *et al.*, "Photocatalytic water splitting under visible light: Concept and catalysts development", *Advances in Chemical Engineering* 36 (2009) pp111.
2. J.C, *Hydrogen Energy*, Vol. 23, No. 7, pp. 593-598, 1998 Q 1998 Published by Elsevier Science Ltd on behalf of the Pergamon International Association for Hydrogen Energy PII: SO360-3199(97)00112-2 ].
3. Colegio de México 2011, disponible en, <http://petroleo.colmex.mx/index.php/component/content/article/57>
4. Periódico Actualidades México "Prevén caída en producción petrolera mexicana", 28 de junio 2009 , Disponible en, [http://www.actualidadesmexico.com.mx/2009/06/preven-caida-en-produccion-petrolera - mexicana/](http://www.actualidadesmexico.com.mx/2009/06/preven-caida-en-produccion-petrolera-mexicana/)
5. B. Bösl, J. C. Mata Sandoval, A. Eckermann, "Energías renovables para el desarrollo sustentable en México", Secretaria de Energía, México 2006
6. Energías Renovables, Abril2011, Disponible en [http://www.anes.org/anes/index.php?option=com\\_wrap\\_per&Itemid=11](http://www.anes.org/anes/index.php?option=com_wrap_per&Itemid=11).
7. R. Aracely, T Acosta., "Proyecto Parque Eólico en el Istmo de Tehuantepec", Septiembre 29, 2006, 4
8. M. G. Ávila,"Producción de bioenergía en el norte de México: Tan lejos y tan cerca...", *Frontera norte* v.21 n.41 México ene./jun. 2009.
9. R.Maya, I. Gutiérrez," Recursos geotérmicos para generar electricidad en México" *Revista Digital Universitaria*, vol. 8 n.12, dic. /10. 2007

10. Políticas y medidas para fomentar la integración nacional de equipos y componentes para el aprovechamiento de las energías renovables y el uso sustentable de la energía. Secretaria de Energía Agosto 2009, Abril de 2011,
11. Disponible en, [http://www.energia.gob.mx/res/0/Politicasy\\_Medidas\\_Integracion.pdf](http://www.energia.gob.mx/res/0/Politicasy_Medidas_Integracion.pdf)
12. Comisión Nacional de Ahorro de Energía [http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_2080\\_hidrogeno?page=6](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_2080_hidrogeno?page=6)
13. E. Ortega Valencia, J. L. François Lacouture, Producción de hidrógeno mediante energía nuclear, un escenario sostenible en México *Simposio LAS/ANS 2007 / 2007 LAS/ANS Symposium, XVIII Congreso Anual de la SNM*
14. R. Ramachandran, R. K. Menont, J. Hydrogen Energy, Vol. 23, No. 7, pp. 593-598, 1998
15. Gonçalves de Lima, O. Pulque, Balché y Pajuaru en la Etnobiología de las bebidas y de los alimentos fermentados. Fondo de Cultura Económica, México, 1990
16. Claudia Sheinbaum Pardo, Análisis y alternativas de política energética nacional. Argumentos (Méx.) v.21 n.58 México sep./dic. 2008.
17. J.C. Vargas, F. Sternenberg, A.C. Roger, A. Kiennemann "Steam reforming of bioethanol on Co<sup>o</sup>/Ce-Zr-Co and Co<sup>o</sup>/Ce-Zr catalysts. A comparison between cobalt integration and cobalt impregnation" *Chem. Eng. Trans.* 4 (2004) 262-268
18. Española de Hidrógeno, abril 2011, Disponible en <http://www.aeh2.org/>

19. Soria F., Ferrera C., Etchevers J., Gonzales. A., Trinidad J, Borges  
“Biodigestion of Hog Slurry to Produce Biomanure”, Terra Volumen 19  
Número 4, 2001
20. Buitrón G. Carvajal M.” Producción de hidrógeno a partir de aguas  
residuales”, Revista Digital Universitaria, 10 de agosto 2009 • Volumen  
10 Número 6

## **Anexos**

### **Legislación**

- Decreto por el que se expide la Ley de Petróleos Mexicanos; se adicionan el artículo 3o. de la Ley Federal de las Entidades Paraestatales; el artículo 1 de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas y un párrafo tercero al artículo 1 de la Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público.
- Decreto por el que se expide la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.
- Decreto por el que se expide la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.
- Decreto por el que se expide la Ley de la Comisión Nacional de Hidrocarburos.
- Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo.
- Decreto por el que se reforma y adiciona el artículo 33 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía

Ley de Energías Renovables y transición energética.