

Evaluación de la producción y aumento de la pureza de hidrógeno en el tratamiento electroquímico de aguas superficiales, empleando energía fotovoltaica

Aguilar Valencia Ana Patricia¹, Pavón Silva Thelma B.¹, Roa Morales Gabriela²

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Paseo Colón Intersección Paseo Tolloca s/n, Toluca, Estado de México, CP 50120.

²Centro de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM.

tbpavons@uaemex.mx

Fecha de aceptación: 20 de julio de 2015

Fecha de publicación: 23 de septiembre de 2015

RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos de la producción simultánea de Hidrógeno y el tratamiento electroquímico de aguas superficiales. El volumen del reactor empleado fue de 2.5 L, el flujo de trabajo de 250 mL/min, y la duración de las pruebas fue de 5 horas. Se llevó a cabo el empleo de energías renovables, en este caso la energía fotovoltaica suministrada por un panel con una superficie aproximada de 1.00 m² y un par de electrodos de Aluminio de formas cilíndricas y concéntricas.

La pureza obtenida en el Hidrógeno fue del 94.6%, encontrándose como impureza principal al Oxígeno, a su vez los parámetros obtenidos en el agua tratada (DQO, Turbidez, pH y Conductividad) se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normatividad mexicana.

Palabras clave: tratamiento electroquímico, hidrógeno, energía fotovoltaica.

ABSTRACT

This paper presents the results of the simultaneous production of hydrogen and the electrochemical treatment of surface water. The reactor volume was used of 2.5 L, the workflow 250 mL / min, and the test duration was 5 hours. Conducted the use of renewable energies, in this case the power supplied by a photovoltaic panel with a surface area of 1.00 m² and a pair of aluminum electrodes and concentric cylindrical shapes.

The purity was obtained in 93% Hydrogen, Oxygen meeting as the main impurity, turn the parameters obtained in the treated water (COD, turbidity, pH and conductivity) are within the ranges established by Mexican standards.

Key words: electrochemical treatment, hydrogen, photovoltaics.

INTRODUCCIÓN

La energía es indispensable para el desarrollo de nuestra especie. En nuestro planeta la mayor parte de nuestra energía está totalmente basada en los combustibles fósiles contexto que ha contribuido a dos situaciones, primero el aumento de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero influyen en el cambio climático y segundo, la creciente demanda de energía por el aumento poblacional viene acompañada con la disminución en las reservas de petróleo. (Alatorre, 2009)

Ante estas situaciones se han generado búsquedas de fuentes alternativas de energía, como la energía solar, la eólica y la geotérmica, por mencionar algunas. Aunque estas energías renovables se producen a baja escala porque presentan el problema de la aleatoriedad.

El hidrógeno como combustible

Casi cualquier persona conoce algo sobre gases como oxígeno, dióxido de carbono y nitrógeno, gases famosos por su relevancia para la biósfera por lo que reciben gran atención y desde la infancia aprendemos algunos aspectos importantes de ellos, sin embargo el hidrógeno es poco conocido.

A pesar de ello actualmente el hidrógeno es el elemento que se asocia por excelencia con la energía, las ventajas y desventajas del hidrógeno derivan de sus propiedades físicas básicas: la molécula de hidrógeno es la más ligera, la más pequeña y está entre las moléculas más simples, además, es relativamente estable y tiene el más alto contenido de energía por unidad de peso que cualquier otro combustible y, en caso de accidente, se dispersaría rápidamente. También presenta altas eficiencias en máquinas de combustión interna. (Mendoza, 2006)

Sin embargo aunado a todas las ventajas que dicho gas nos puede ofrecer, el principal problema para utilizarlo como fuente de energía, es que solamente se encuentra en la Tierra combinado con otros elementos ya que su densidad representa apenas el 7% de la del aire y cualquier cantidad que se llegue a producir y a liberar escapa inexorablemente hacia el espacio exterior, por lo que para utilizarlo como fuente de energía es preciso obtenerlo a partir de algún compuesto que lo contenga. (Carbajal *et al.*, 2010)

En este contexto la principal fuente de hidrógeno, potencialmente accesible es el agua, compuesto que se encuentra en cantidades prácticamente inagotables en los océanos.

Electrólisis

El proceso mediante el cual se obtiene el Hidrógeno empleando como compuesto principal al agua se conoce como electrolisis, dicho proceso consta de dos electrodos que están conectados a un flujo de energía eléctrica y que se encuentran sumergidos en la solución, el que está conectado al polo positivo es conocido como ánodo y el conectado al polo negativo como cátodo, cada electrodo atrae a los iones opuestos, así el ánodo atrae a los iones negativos y es el lugar donde aparece el oxígeno, mientras que en el cátodo se atraen a los positivos haciendo que el hidrógeno aparezca allí. (Chang y Williams, 2002). El proceso se puede observar en la figura 1.

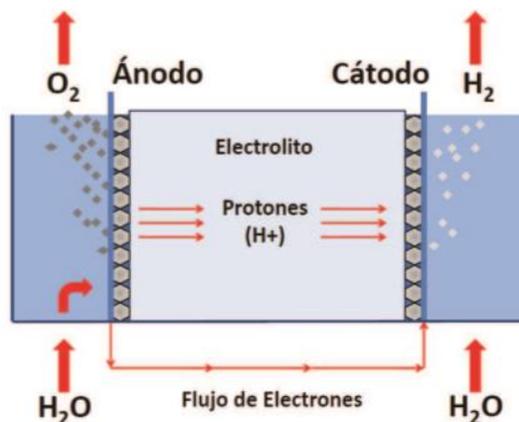
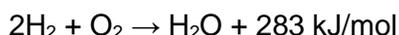


Figura 1. Proceso de electrólisis.

Si la formación de agua a partir de hidrógeno y oxígeno es un proceso que libera energía, el proceso inverso (hidrólisis) tiene un costo energético de igual magnitud.



Por ello se ha buscado implementar energías sustentables que sean capaces de suministrar la energía necesaria para el proceso de electrólisis, reduciendo así los grandes costos económicos que dicho proceso implica, ya que el hidrógeno es una de las energías portadoras más prometedoras del futuro.

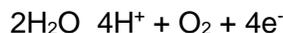
Una de estas energías sustentables es la denominada energía fotovoltaica, la cual consiste en hacer que la luz solar incida sobre la superficie de las celdas solares para ser transformada en energía eléctrica de corriente directa. Esta energía es recogida y conducida hasta un controlador de carga. El controlador tiene la función de enviar toda o parte de esta energía hasta el banco de baterías. La energía almacenada es utilizada para abastecer las cargas durante la noche o en días de baja insolación. Si las cargas a alimentar son de corriente directa, esto puede hacerse directamente desde el arreglo fotovoltaico o desde la batería.

Los elementos principales para hacer uso de dicha energía son las celdas solares, las cuales están elaboradas a base de silicio puro, el carácter de semiconductor se logra con la adición de impurezas de ciertos elementos químicos como el boro y el fósforo. Estas celdas son capaces de generar una corriente de entre 2 y 4 A, a un voltaje de 17.9 V. Las celdas se montan en serie y orientadas siempre hacia el sur para conseguir un voltaje adecuado, esto en el Estado de México por su ubicación geográfica. (Valero *et al.*, 2008)

Además del empleo de energías renovables es preciso diseñar métodos que permitan aumentar la eficiencia en la extracción del gas, uno de estos métodos implican la utilización de un compuesto que se encuentra presente en la gran mayoría de los seres vivos, la Melanina.

Las funciones precisas de la melanina durante este proceso son desconocidas. Sin embargo se ha notado que la melanina tiene la notable capacidad de convertir la radiación de baja energía en una forma más útil de energía. Las observaciones de sus efectos biológicos permiten observar su efecto sobre el agua liberando hidrógeno y oxígeno.

La separación de la molécula de agua por fotopigmentos se denomina fotólisis. La formación de una molécula de oxígeno durante la fotólisis, al parecer, requiere la pérdida simultánea de cuatro electrones a partir de dos moléculas de agua de acuerdo a la reacción:



Un centro de reacción sólo puede generar una carga positiva o su equivalente oxidante a la vez. Este problema hipotéticamente se resuelve por la presencia de 4 átomos de nitrógeno en el centro de reacción de la molécula de melanina, cada uno de los cuales transfiere un solo electrón. (Solis, 2009)

Por otra parte la contaminación atmosférica en las ciudades principales de la zona metropolitana del país muestra altos índices de contaminación por emisión de contaminantes derivados de los combustibles fósiles.

Por ello con este proyecto se pretende contribuir a los inicios de la resolución del problema de la creciente demanda de energía, sobre todo en comunidades donde la producción de ésta sea condicionada por el empleo de combustibles fósiles, brindando además la ventaja de que el tratamiento electroquímico de las aguas proporcionará el abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales.

METODOLOGÍA

Tratamiento electroquímico

Para el tratamiento por electrolisis, se utilizó una celda electroquímica en batch (Figura 2) y finalmente se adicionaron llaves de entrada y salida para la recolección de muestras de agua superficial tratada, empleando electrodos de aluminio de formas cilíndricas y concéntricas, las dimensiones de los electrodos son 3.1 y 2.1 cm de diámetro, grosor de 1mm, altura de 10 cm y una distancia entre ánodo y cátodo 6mm.

Ambos electrodos se conectaron a un panel fotovoltaico que suministra corriente directa, utilizando un multímetro digital para medir la corriente y el voltaje suministrados por el sistema.



Figura 2. Reactor experimental para los tratamientos electroquímicos.

Los experimentos se realizaron con una muestra inicial de 2.5 L, las condiciones de operación fueron: tiempo de residencia de 45 min, temperatura ambiente entre 18 y 20°C, concentración del electrolito soporte 0.02 M (Na_2SO_4) y agitación constante.

Medición de los parámetros del agua superficial

Las muestras de agua superficial se obtuvieron de una presa ubicada en la comunidad de San Cayetano de Morelos del Estado de México, junto a la autopista Libramiento Ruta de la Independencia de Toluca. El muestreo no se realizó en toda la presa, se tomaron muestras en el mismo lugar y se recolectaron en garrafones de 20 litros, los cuales fueron trasladados al CCIQS UAEM-UNAM.

- a) Medición del pH.
Se empleó un equipo Conductronic con un sensor de pH, ajustando con una solución buffer de pH 4 y 7 para calibrar. En un vaso pequeño se coloca la muestra y se toman las mediciones.
- b) Medición de la conductividad.
Del medidor Conductronic se desconecta el sensor pH y se conecta el sensor de conductividad.
- c) Medición de la Temperatura.
Se desconecta el sensor de conductividad del medidor Conductronic y se conecta el de temperatura, oprimiendo el botón °C, se procede a realizar la medición en la muestra.
- d) Medición de la turbiedad.
Se hizo uso del espectrofotómetro Hach DR3000, para realizar las mediciones se ajusta a una longitud de onda de 450nm.
- e) Medición de DQO.
Se utiliza el espectrofotómetro Hach DR5000 y viales Hach con una solución preparada para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno, empleando 2mL de muestra para cada determinación.

Electrocoagulación-producción de Hidrógeno en continuo acoplado al sistema fotovoltaico

Las muestras de agua superficial, con una concentración de Na_2SO_4 0.02 M, se vacían en un contenedor con una llave de salida que se acopla al reactor conectado al panel fotovoltaico, se colocan los multímetros en serie y en paralelo al reactor para medir el voltaje y la corriente total. Se regulan los flujos de entrada y salida del agua (250mL/min). Una vez transcurrido el tiempo de residencia se recolectaron muestras cada 15 minutos que fueron analizadas en los parámetros descritos para la muestra de agua superficial, sumando en estos análisis el COT (Carbono Orgánico Total), utilizando el equipo Apollo 9000 empleando una curva de 1-400ppm de C.

Al terminar las pruebas se llevaron las muestras del gas Hidrógeno al cromatógrafo de gases VARIAN CP-3800 donde previamente se establecieron los parámetros del método: temperatura del horno TCD 230°C, flujo de la columna 0.9 mL/min, presión de la columna 3.5 psi, volumen de inyección 200 μL y tiempo de retención 15 min; para la determinación de las impurezas presentes en el gas, en este caso se midieron estándares de CO, CO₂ y O₂.

Para la determinación de la pureza del hidrógeno se empleó una curva de calibración realizada con Hidrógeno y Nitrógeno de alta pureza en concentraciones de 50-100% (H).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medición de los parámetros del agua superficial

Los resultados de los parámetros del agua superficial empleada se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. *Parámetros del agua superficial.*

pH	7.45
Conductividad	366 μ S/cm
Temperatura	18.7°C
Turbiedad	225.6 FAU
DQO	130 mg/L como O ₂ .

Se observa que el valor de turbiedad supera el límite permisible por normatividad (NOM-127-SSA1-1994) de 5 unidades nefelométricas (UTN), mientras que el valor de pH se encuentra dentro de los límites establecidos (6.5-8.5).

La temperatura es un parámetro físico de suma importancia para los ecosistemas hidráulicos, aunque no es parte de las características de calidad del agua. Cuando la temperatura aumenta, disminuye la concentración de oxígeno disuelto y si las aguas son deficientes en oxígeno, esto puede ocasionar la muerte de especies acuáticas, especialmente peces, en este caso no se supera el valor de la temperatura ambiente.

La DQO en aguas superficiales debe ser sumamente baja y es un parámetro a determinar cuando la calidad del agua es incierta, en este caso el valor de 130 mg/L como O₂, indica la presencia de una gran cantidad de materia orgánica e inorgánica susceptible a ser oxidada.

Medición de los parámetros del agua superficial tratada

A continuación se muestran los resultados de los parámetros del agua superficial tratada posteriores a los 45 minutos estimados como tiempo de residencia, empleando el par de electrodos de aluminio acoplados al panel solar.

Se observa que el parámetro pH presenta una variación entre 8.01 y 9.44,

La determinación de conductividad al igual que los demás parámetros es de gran importancia pues nos dio una idea del grado de mineralización del agua durante el tratamiento electroquímico. y a pesar de que solo es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para actividades agrícolas, contacto primario y para el consumo humano.

La temperatura fue un factor que vario dependiendo de las condiciones climáticas durante el desarrollo de las pruebas.

En este caso se presentó la oportunidad de efectuar en las muestras la prueba de Carbono Orgánico Total (COT), en esta técnica se cuantifico todo el material orgánico contenido en el agua, material que denotó una notable disminución durante el transcurso de la prueba y a pesar de que todavía no se tienen parámetros de calidad es una forma sencilla de evaluar el riesgo de consumir agua con una composición incierta.

Así mismo la prueba de DQO efectuada a las muestras obtenidas durante el tratamiento electroquímico presentan una disminución en la concentración de material tanto orgánico como inorgánico susceptible a ser oxidado.

La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo del ser humano, razón por la cual, la determinación de la turbiedad fue muy útil como indicador de la calidad del agua

tratada en este estudio ya que a partir de los 195 minutos de prueba, los valores obtenidos en unidades nefelométricas se localizaron por debajo del límite establecido por la normatividad (NOM-127-SSA1-1994).

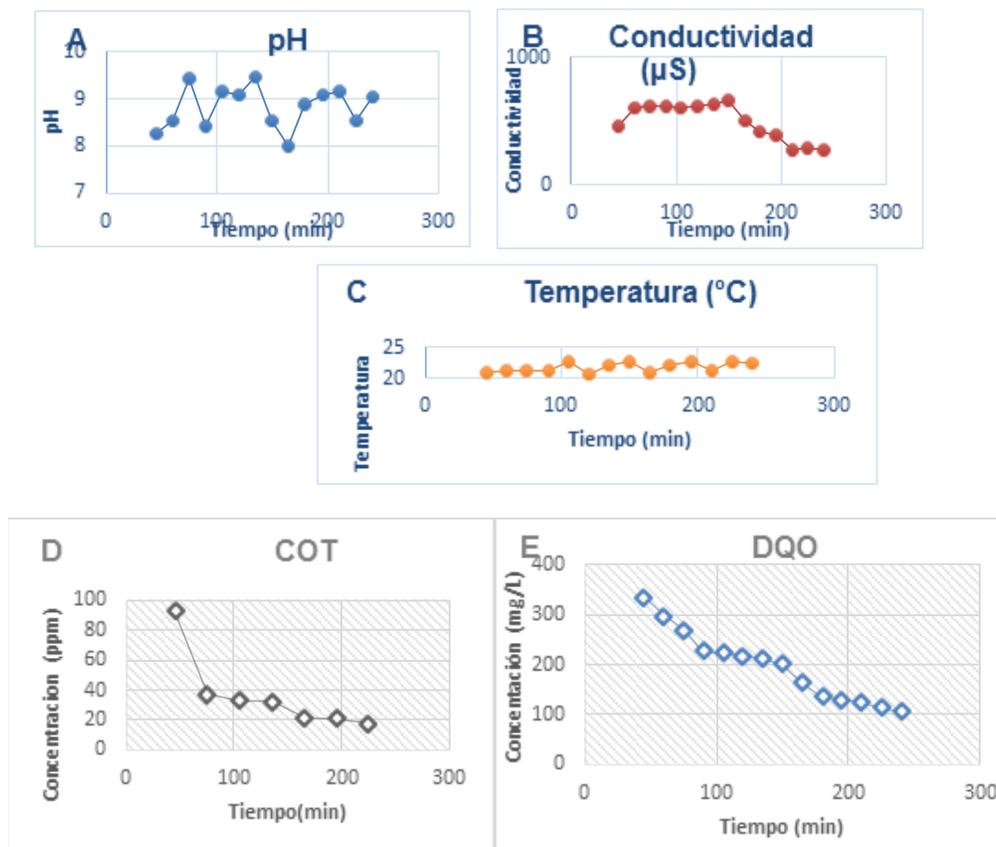


Figura 3. Parámetros del agua superficial tratada: A) pH, B) Conductividad, C) Temperatura, D) Carbono Orgánico Total y E) Demanda Química de Oxígeno.

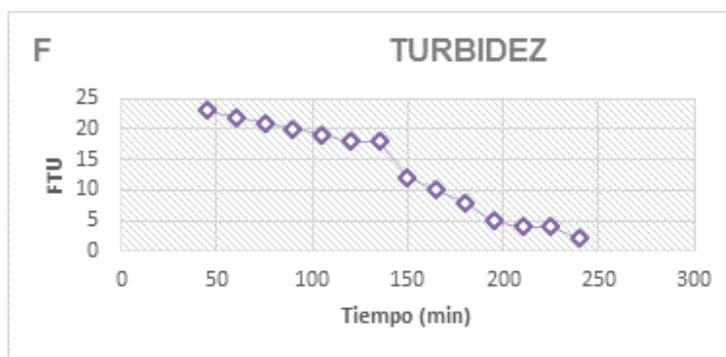


Figura 4. Parámetros del agua superficial tratada: F) Turbidez.

Se observa que el parámetro pH presenta una variación entre 8.01 y 9.44.

La determinación de conductividad al igual que los demás parámetros es de gran importancia pues nos dio una idea del grado de mineralización del agua durante el tratamiento electroquímico, y a pesar de que solo es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de aguas

residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para actividades agrícolas, contacto primario y para el consumo humano.

La temperatura fue un factor que vario dependiendo de las condiciones climáticas durante el desarrollo de las pruebas.

En este caso se presentó la oportunidad de efectuar en las muestras la prueba de Carbono Orgánico Total (COT), en esta técnica se cuantifico todo el material orgánico contenido en el agua, material que denotó una notable disminución durante el transcurso de la prueba y a pesar de que todavía no se tienen parámetros de calidad es una forma sencilla de evaluar el riesgo de consumir agua con una composición incierta.

Así mismo la prueba de DQO efectuada a las muestras obtenidas durante el tratamiento electroquímico presentan una disminución en la concentración de material tanto orgánico como inorgánico susceptible a ser oxidado.

La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo del ser humano, razón por la cual, la determinación de la turbiedad fue muy útil como indicador de la calidad del agua tratada en este estudio ya que a partir de los 195 minutos de prueba, los valores obtenidos en unidades nefelometricas se localizaron por debajo del límite establecido por la normatividad (NOM-127-SSA1-1994).

Producción de hidrógeno

En la figura 4 se observa la curva de calibración obtenida para determinar la pureza del Hidrógeno obtenido en el tratamiento.

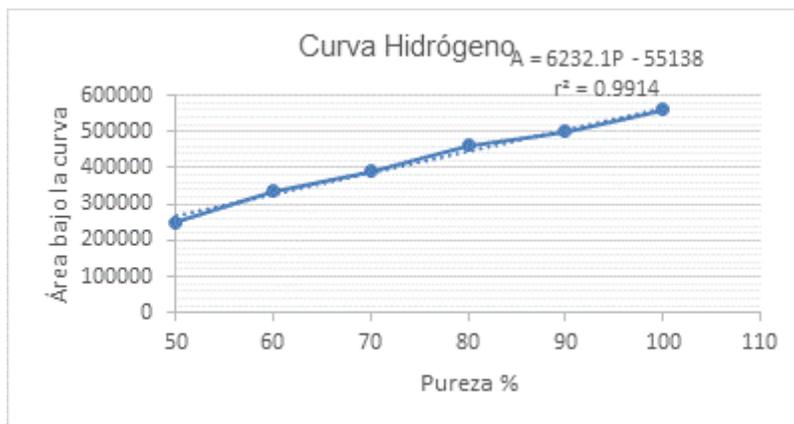


Figura 4. Curva de calibración: porcentaje de pureza Hidrógeno.

De la ecuación de la curva se despeja la pureza (P), quedando:

$$P = \frac{A + 55138}{6232.1}$$

Con esta ecuación se calculó la pureza del Hidrógeno obtenido durante el experimento.

La tabla 2 muestra los resultados de la pureza del hidrógeno obtenido durante el tratamiento electroquímico del agua superficial.

Tabla 2. Pureza del Hidrógeno obtenida con electrodos de Aluminio.

Tiempo de retención (min)	Área de respuesta	Pureza (%)
0.69	524445.2	92.9
0.71	545413	96.3
0.7	Promedio	94.6

Impurezas presentes en el Hidrógeno

La impureza que denota el análisis cromatográfico de las muestras obtenidas de gas Hidrógeno, indican la presencia del Oxígeno, ya que se observan picos entre los 3.5 y 4 min, valores muy semejantes al obtenido con el estándar analizado de 3.5 min.

Por otra parte no se encontró la presencia de CO₂ ni de CO, ya que el tiempo de retención de los estándares de dichos gases se encuentra a los 9 y 13 min respectivamente, la muestra analizada no presentó picos en esa zona.

La figura 5 muestra la imagen del cromatograma obtenido para la identificación de las impurezas presentes en las muestras.

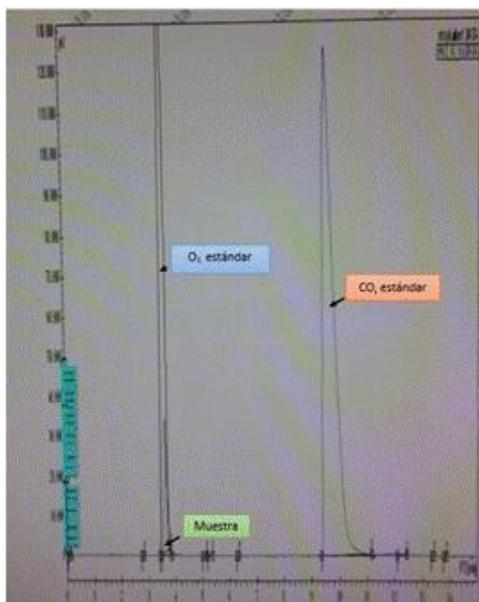


Figura 5. Presencia de Oxígeno en la muestra de Hidrógeno.

CONCLUSIONES

La situación energética que actualmente se está viviendo y con la infinidad de repercusiones que se tienen como la creciente contaminación, el cambio climático, los conflictos internacionales por el acceso a los recursos y sobre todo el notable agotamiento de los combustibles fósiles, implican la aplicación de nuevas tecnologías energéticas, destacando entre muchas la del Hidrógeno.

En este contexto, todo respalda que el futuro de la energía pasa por el Hidrógeno que además de proporcionar más alto contenido de energía por unidad de peso que cualquier otro combustible, produce baja contaminación y sobre todo puede ser usado para transporte, calor y generadores de poder en lugares donde es difícil usar electricidad.

Y debido a que durante la electrólisis se requieren grandes cantidades de electricidad, es muy importante tomar en cuenta los distintos métodos de producción de electricidad para tener así una visión global sobre la conveniencia de emplear este método para la obtención de hidrógeno. En este trabajo la evaluación de la energía solar se mostró satisfactoria, y a pesar de que solo se empleó un panel solar, éste suministró la energía necesaria para el tratamiento electroquímico con resultados por demás convenientes no solo en la calidad del agua sino en la obtención del Hidrógeno. Por lo que a la larga la reducción de los costos se tornaría muy satisfactoria, además de que propiciaría las condiciones para la obtención de un combustible con un impacto ambiental inferior a los convencionales.

Por ello con este proyecto se pretende contribuir a los inicios de la resolución del problema de la creciente demanda de energía, sobre todo en comunidades donde la producción de ésta sea condicionada por el empleo de combustibles fósiles, brindando además la ventaja de que el tratamiento electroquímico de las aguas proporcionará el mejoramiento de la calidad de la misma.

Finalmente conllevará a la disminución de las emisiones de contaminantes por el uso de combustibles fósiles.

REFERENCIAS

- Alatorre F. C. (2009). Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, México, SENIER
- Carvajal H., Babativa J., Alonso J. (2010). Estudio sobre producción de H₂ con hidroelectricidad para una economía de hidrógeno en Colombia. *Ingeniería y Competitividad*, 12: 31-42.
- Chang R., Williams C. (2002). *Química General*. 7ª Ed. McGraw-Hill. p 884.
- Mendoza M. A. (2006). El hidrógeno y la energía. *Ciencia Ergo Sum*, 13: 99-104
- NMX-AA-093-SCFI-2000. Análisis de agua-determinación de la conductividad electrolítica.
- NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de agua-determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas -método de prueba.
- NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consume humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Rozendal R. A. (2007). *Hydrogen Production through Biocatalyzed Electrolysis*. Tesis doctoral de la Universidad de Wageningen, Wageningen, Países Bajos.
- Sanz Villuendas R. (2010). Estudio tecnológico sobre el vector de hidrógeno y sus aplicaciones en el siglo XXI. *Ingeniería*, Universidad de Zaragoza.
- Solis A. (2009). Melanina. La clorofila humana. y la posibilidad de que sea la tan buscada material oscura (dark matter) del Universo. 1ª Ed. Mundi Comunicaciones S. A de C.V. p. 51-57
- Valero D., Ortiz J., Expósito E., Montiel V., Aldaz A. (2008). Electrocoagulation of a synthetic textile effluent powered by photovoltaic energy without batteries: Direct connection behavior. *Science Direct ELSEVIER*, 92: 291-297.