

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A TRAVÉS DE ENERGÍAS RENOVABLES: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Ramírez Minguela J. de J., Rangel Hernández V. H.

División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.

Carretera Salamanca-Valle de Santiago km. 3.5 +1.8 km. Comunidad de Palo Blanco, Salamanca, Gto, México.

Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato

Carretera Valle-Huanímaro km. 1.2, Valle de Santiago, Gto.

México. 38400. Tel. 014566437180, ext.103,

Minguela_rjj@hotmail.com, vrangel@salamanca.ugto.mx.

ABRIL 2010

Resumen.

Muchos científicos han señalado el hidrógeno como un gas limpio y de fácil obtención como una propuesta prometedora a largo plazo. Sin embargo, éste no se encuentra en su forma elemental en nuestro planeta, por lo que para su utilización debe extraerse. Actualmente existen diferentes métodos para su extracción, hay químicos, eléctricos, térmicos entre otros. El uso de otras fuentes alternas a los recursos fósiles está entre los grandes retos de este siglo, así como reducir la emisión de gases de invernadero y el abastecimiento futuro de energía con sistemas fiables y suficientes, son fuerzas motivadoras para una utilización mayor y eficiente de las energías renovables tales como la energía solar fotovoltaica, eólica y la biomasa. En el presente trabajo se dimensionaron tres sistemas para suministrar y abastecer de energía eléctrica a todas las lámparas que alumbran el laboratorio de termofluidos de la División de Ingenierías Campus Irapuato – Salamanca, obteniendo resultados que ilustran el costo de utilizar fuentes de energía renovables para la generación de energía eléctrica con cero emisiones contaminantes.

Objetivo.

El interés principal del presente trabajo es el de dimensionar un sistema para suministrar y abastecer de energía eléctrica a todas las lámparas que alumbran el laboratorio de termofluidos dentro de la facultad. Esto se pretende lograr impulsando el desarrollo tecnológico para la producción de hidrógeno mediante el uso de fuentes alternas de energías, como lo son las energías renovables, en particular la energía solar fotovoltaica. Una vez obtenido el hidrógeno, éste se utilizará como combustible para las “celdas de combustible” que son las que al final suministrarán la energía eléctrica requerida.

Introducción.

El gas hidrógeno será la energía transportable del futuro (cercano), por sus virtudes de: renovabilidad; por la limpieza de su combustión (no produce el principal "gas de efecto invernadero", el CO₂, generando solo agua como desecho); por su enorme relación energía a peso (39,4 kWh por kg de H₂); y por la simplicidad de su conversión a energía eléctrica según demanda instantánea (mediante celdas de combustible o "fuel cells" en inglés).

A partir de estas características, se le define con diversos adjetivos, según sea el ámbito de la discusión: "energía limpia"; o también "renovable"; y/o "sustentable".

El hidrógeno se obtiene fundamentalmente reformando el gas natural o por electrólisis del agua; lo que aún es costoso porque el precio de la electricidad está determinado por el del petróleo. Se ve de forma alentadora en un futuro, obtener el hidrógeno utilizando alguna de las energías renovables.

La producción de hidrógeno, por diversas rutas tecnológicas, es un tema de gran interés en la actualidad debido tanto a los problemas ambientales - producto de la emisión de gases con efecto invernadero (CO₂,

NO_x, etc.) - producidos en la combustión de combustibles fósiles, como al eventual agotamiento de las fuentes de combustibles fósiles.

La elección del tipo de energía y la tecnología para producir hidrógeno están sujetas a varios factores tales como el costo del ciclo de combustible y las externalidades asociadas, como los impactos ambientales y sociales. A continuación, en las Figuras 1 y 2 se ilustran las tecnologías utilizadas para producir hidrógeno.

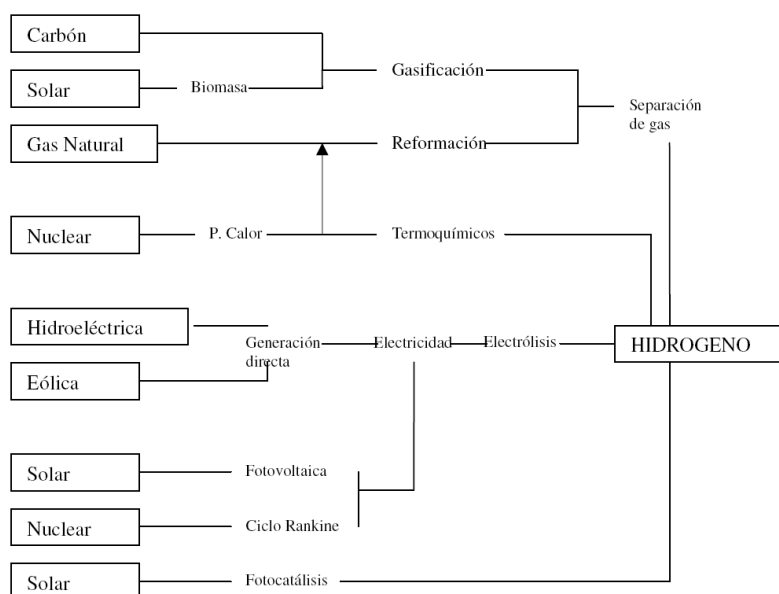


Figura 1 Tecnologías para la producción de hidrógeno [3]

Como se observa en la Figura 2, los métodos para producir hidrógeno con energía solar se agrupan en tres grandes conjuntos: procesos fotoquímicos, electroquímicos y termoquímicos, aunque también existen combinaciones de los anteriores (fotoelectrólisis, electrólisis a alta temperatura del vapor, etc.).

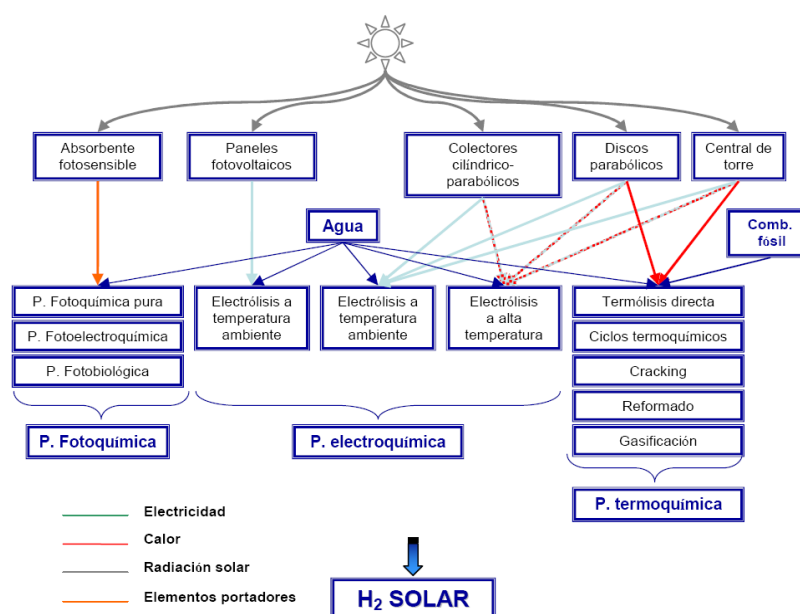


Figura 2 Métodos de producción de hidrógeno solar [4]

Desarrollo.

Sistema fotovoltaico (FV) para producción de hidrógeno.

Un sistema FV para producción de hidrógeno consiste en la integración de varios componentes, cada uno de ellos cumpliendo con una o más funciones específicas, a fin de que éste pueda suplir la demanda de hidrógeno impuesta por el tipo de carga, usando como combustibles tanto la energía solar para el suministro de la energía eléctrica necesaria para llevar a cabo la electrolisis del agua, como así también usar el hidrógeno producido para la celda de combustible seleccionada.

El sistema puede ser descrito mediante los siguientes 6 bloques:

Bloque paneles fotovoltaicos: el número de paneles a utilizar, depende de varios factores. Entre ellos, los más obvios, son la irradiación del lugar, la eficiencia del electrolizador, el valor energético de la carga, la máxima potencia de salida por panel, la eficiencia con la cual es almacenado el hidrógeno y la eficiencia de la celda de combustible.

Bloque de regulación: los reguladores sirven para regular el voltaje que es generado por los paneles fotovoltaicos y suministrarlo a los inversores de corriente directa o continua (CD) a corriente alterna (CA) para su correcto funcionamiento.

Bloque de generación de hidrógeno: El electrolizador del sistema es el encargado de generar el hidrógeno para la demanda solicitada por la celda de combustible.

Bloque de acumulación: consiste en el tanque que se encarga del almacenamiento de hidrógeno.

Bloque de suministro de energía eléctrica: está conformado principalmente por la celda de combustible la cual es la encargada de producir energía eléctrica al suministrarle hidrógeno, dicha energía se aprovecha al incluir un convertidor de CD – CD para aparatos que consuman corriente directa debido a que la corriente directa producida por la celda de combustible no es constante, si los aparatos consumen corriente alterna, entonces es necesario también un inversor CD – CA.

Bloque de monitoreo: la inclusión de este bloque como parte del sistema básico ha sido para demostrar la importancia de saber en cualquier momento, si la cantidad de hidrógeno almacenado es suficiente para suministrarlo como combustible a la celda de combustible, además de que permite ver que en nuestro sistema funcione correctamente.

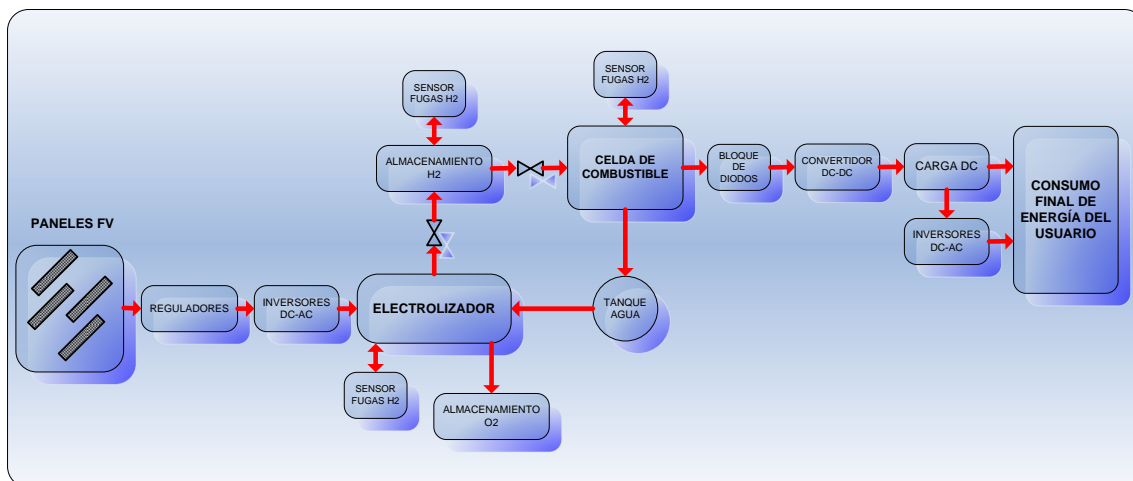


Figura 3 Diagrama de bloques de generación de hidrogeno mediante energías solar fotovoltaica.

Diseño del sistema FV para la producción de hidrógeno.

El mejor diseño para un sistema FV para la producción de hidrógeno es aquel que, incorporando el menor número de paneles, un sistema de almacenamiento eficiente, celdas de combustible eficientes y un electrolizador eficiente, satisface las condiciones impuestas por la carga eléctrica, con un determinado grado de confiabilidad para el sistema.

El consumo de energía que se tomó fue el del laboratorio de termofluidos de la División de Ingenierías Campus Irapuato – Salamanca, donde solo se tomaron en cuenta las lámparas que iluminan dicho laboratorio. Los valores utilizados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1 Datos del consumo eléctrico diario de las lámparas

Aparatos eléctricos	# de unidades	Potencia (W)	Funcionamiento (Hrs/día)	Energía (Wh/día)
Lámparas	36	25	10	9000
Potencia total		900		
Energía corriente cont.				0
Energía corriente alterna				9000

Para saber la cantidad de paneles fotovoltaicos a utilizar es necesario saber la cantidad de hidrógeno mínima para el correcto funcionamiento del sistema la cual es de aproximadamente 18.5 litros por minuto, durante 10 horas continuas, y es necesario suministrar al electrolizador una cantidad de energía eléctrica aproximada de 8.103 kW durante un periodo de 10 horas continuas, así como también conocer las condiciones climatológicas del lugar, siendo que la disponibilidad del recurso solar es el que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Irradiación horizontal extraterrestre diaria promedio mensual para el municipio de Salamanca Hs [kWh/m²día]. [19]

Ciudad	Latitud Norte		Longitud Oeste	
	Grados	Minutos	Grados	Minutos
Salamanca	20	34	101	12

Enero	Febrero	Septiembre	Abril	Mayo	Junio
7.394	8.459	9.612	10.525	10.936	11.018

Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
10.937	10.634	9.905	8.767	7.626	7.065

Como se muestra en la Tabla 2, las horas de funcionamiento promedio de las celdas fotovoltaicas sería de aproximadamente 9.4 horas/día, lo cual quiere decir que el electrolizador y todos los componentes del sistema estarían trabajando solo durante este tiempo, considerando que la irradiación varía mes con mes, es necesario considerar un factor que nos de la seguridad de que la producción de hidrógeno estará por encima de la cantidad que demanda la celda de combustible por mes. Por lo tanto si en la irradiación promedio al año tenemos un factor de 0.9, para satisfacer los 11088 litros de hidrógeno por día demandados por la celda de combustible, se tendría un tiempo promedio aproximadamente de 8.46 horas.

Para observar el comportamiento de la variación del costo por kWh, se realizó el dimensionamiento para los valores de irradiación de 8.46 kWh/m²día, por lo descrito en el párrafo anterior, 9.4 kWh/m²día que corresponde exactamente al promedio de la irradiación disponible, y de 7.065 kWh/m²día que corresponde al mes más desfavorable.

Con las condiciones establecidas se obtuvieron los siguientes resultados.

Resultados.

De acuerdo a los cálculos realizados con los datos conocidos de consumo eléctrico y condiciones climatológicas, el número de componentes para el correcto funcionamiento del sistema es el que se muestra en la tabla 3.

La configuración del sistema fotovoltaico con una irradiación de $8.46 \text{ kWh/m}^2\text{día}$ se muestra en la figura 4.

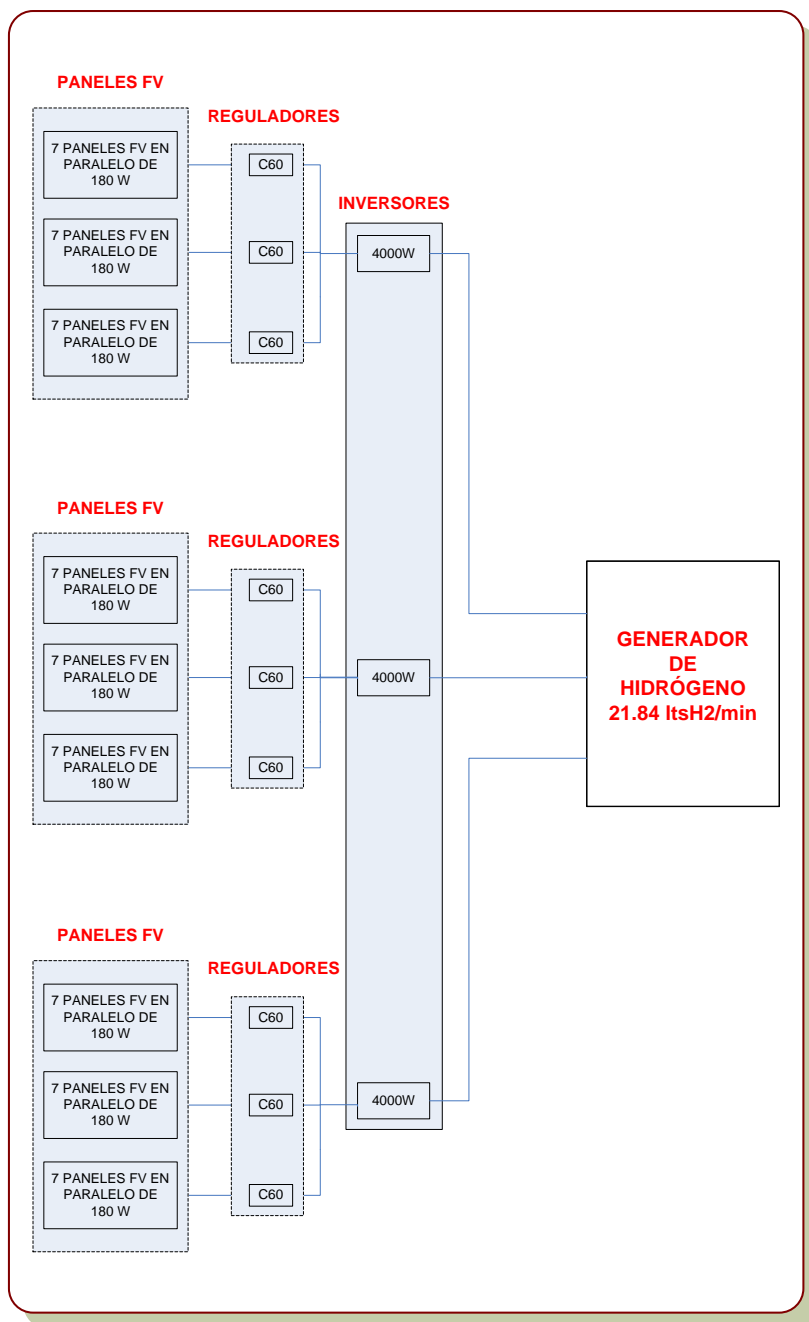


Figura 4 Configuración de los inversores, reguladores y paneles conectados al electrolizador, con irradiación de $8.46 \text{ kWh/m}^2\text{día}$.

Tabla 3 Costos de los componentes del sistema fotovoltaico con una irradiación de 8.46 kWh/m²día.

Equipo	Modelo	Cant.	Costo (\$)
Panel	Kyocera KD180GH-2P 180W	63	15,791.4
Regulador	Xantrex C-60	9	4,464
Inversor	WHS4000 24 VCC a 220 VCA	3	9,653.4
Electrolizador	H2m	1	675,444
Celda de combustible y componentes auxiliares (convertidor DC-DC, diodos de seguridad, sensor de seguridad,...)	Nexa System Program – 1.2kW	1	108,783.675
Inversor	1500W DC/AC 110 V/ 230 V	1	30,000
Inversión total del equipo para la producción de hidrógeno			\$ 1,878,222.00

La cantidad de hidrógeno que se necesita para satisfacer la demanda de energía requerida para el sistema es de 11088 litros por día en condiciones normales (temperatura de 298 K y presión atmosférica), teniendo en cuenta que la celda de combustible consume 18.48 l/min durante un periodo aproximado de 10 horas y que el electrolizador genera un total de 21.84 l/min durante 8.46 horas por día. En la Tabla 4 y Figura 5 se muestra la producción de hidrógeno a lo largo del año de acuerdo a la irradiación disponible de cada mes a una temperatura de 298 K y a presión atmosférica.

Tabla 4 Producción de hidrógeno por mes.

Mes	Días	Irradiación (kWh/m ² día)	Generado por día (l)	Almacenado por día (l)	Acumulado por día (l)	Acumulado por Mes (l)
Enero	31	7.394	9689.0976	375.1776	-1398.9024	-43365.974
Febrero	28	8.459	11084.6736	1770.7536	-3.3264	-93.1392
Marzo	31	9.612	12595.5648	3281.6448	1507.5648	46734.5088
Abril	30	10.525	13791.96	4478.04	2703.96	81118.8
Mayo	31	10.936	14330.5344	5016.6144	3242.5344	100518.566
Junio	30	11.018	14437.9872	5124.0672	3349.9872	100499.616
Julio	31	10.937	14331.8448	5017.9248	3243.8448	100559.189
Agosto	31	10.634	13934.7936	4620.8736	2846.7936	88250.6016
Septiembre	30	9.905	12979.512	3665.592	1891.512	56745.36
Octubre	31	8.767	11488.2768	2174.3568	400.2768	12408.5808
Noviembre	30	7.626	9993.1104	679.1904	-1094.8896	-32846.688
Diciembre	31	7	9172.8	-141.12	-1915.2	-59371.2

TOTAL ACUMULADO POR AÑO	451158.221
--------------------------------	-------------------

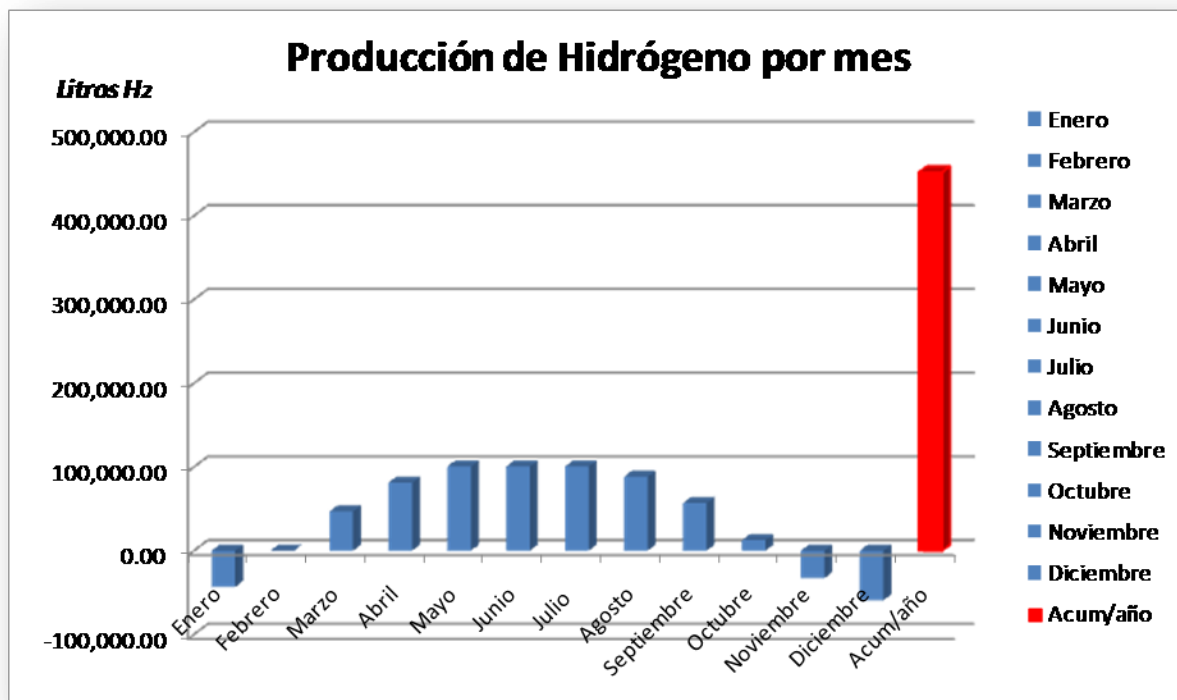


Figura 5 Grafica de producción de hidrógeno por mes.

Si se tuviera la seguridad que la irradiación obtenida es 100% confiable a través de los años, entonces, se utiliza la irradiación promedio de la Tabla 2.

Tabla 5 Costos de los componentes del sistema fotovoltaico con una irradiación de 9.4 kWh/m²día.

Equipo	Modelo	Cantidad	Costo (\$)
Panel	Kyocera KD180GH-2P 180W	57	15,791.4
Regulador	Xantrex C-60	9	4,464
Inversor	WHS4000 24 VCC a 220 VCA	3	9,653.4
Electrolizador	H2m	1	675,444
Celda de combustible y componentes auxiliares (convertidor DC-DC, diodos de seguridad, sensor de seguridad,...)	Nexa System Program – 1.2kW	1	108,783.675
Inversor	1500W DC/AC 110 V / 230 V	1	30,000
Inversión total del equipo para la producción de hidrógeno			\$ 1,783,473.675

Como se puede observar en la Tabla 5, se tienen los mismos elementos del sistema que en el caso donde se tiene la irradiación de 8.4 kWh/m²día, solo que esta vez se tiene un total de 57 paneles fotovoltaicos. Los resultados de la producción de hidrógeno mediante este sistema, se resumen en la Tabla y Figura 6.

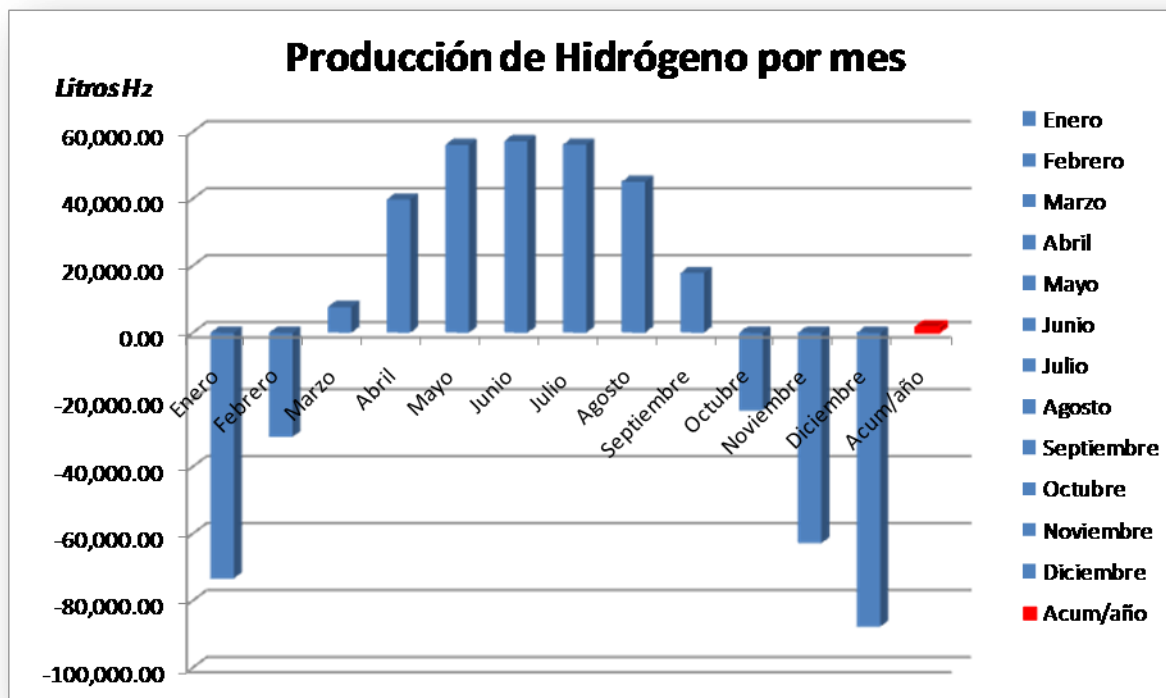


Figura 6 Grafica de producción de hidrógeno por mes con una irradiación promedio de 9.4 kWh/m² día.

Resultados obtenidos considerando una irradiación de 7.065 kWh/m² día.

Tabla 6 Costos de los componentes del sistema fotovoltaico con una irradiación de 7.065 kWh/m² día.

Equipo	Modelo	Cantidad	Costo (\$)
Panel	Kyocera KD180GH-2P 180W	81	15,791.4
Regulador	Xantrex C-60	9	4,464
Regulador	Xantrex C-35	3	2,604
Inversor	WHS4000 24 VCC a 220 VCA	3	9,653.4
Electrolizador	H2m	1	675,444
Celda de combustible y componentes auxiliares (convertidor DC-DC, diodos de seguridad, sensor de seguridad,...)	Nexa System Program – 1.2kW	1	108,783.675
Inversor	1500W DC/AC 110 V / 230 V	1	30,000
Inversión total del equipo para la producción de hidrógeno			\$ 2,170,279.275

La cantidad de hidrógeno que se necesita para satisfacer la demanda de energía requerida para el sistema es de 11088 litros por día en condiciones normales (temperatura de 298 K y presión atmosférica), teniendo en cuenta que la celda de combustible consume 18.48 l/min durante un periodo aproximado de 10 horas y que el electrolizador genera un total de 26.4 l/min durante 7 horas, entonces se tendrá que tomar en cuenta que se estarán almacenando aproximadamente 7.92 l/min durante 7 horas, lo que equivale a 3326.4 l/día, el cual se consumirá en las tres horas restantes que faltan para satisfacer la demanda de hidrógeno por la celda de combustible. Por lo tanto si se tomaran solo esos factores para el dimensionamiento del tanque, se tendría que sería necesario un tanque de 3326.4 litros, el cual para el caso particular de estudio no es suficiente debido a que la energía que consume el electrolizador es suministrada mediante paneles fotovoltaicos y se están

tomando las condiciones más desfavorables, por lo tanto es necesario tomar en cuenta la irradiación disponible para cada uno de los meses y calcular cual sería el volumen máximo de hidrógeno generado por el electrolizador en el mes con mayor irradiación, así como tener en cuenta la acumulación en cada uno de los meses.

Tabla 7 Producción de hidrógeno por mes con una irradiación promedio de 7.065 kWh/m² día.

Mes	Días	Irradiación (kWh/m ² día)	Generado por día (l)	Acumulado por día (l)	Acumulado por Mes (l)
Enero	31	7.394	11712.096	624.096	19346.976
Febrero	28	8.459	13399.056	2311.056	64709.568
Marzo	31	9.612	15225.408	4137.408	128259.648
Abril	30	10.525	16671.6	5583.6	167508
Mayo	31	10.936	17322.624	6234.624	193273.344
Junio	30	11.018	17452.512	6364.512	190935.36
Julio	31	10.937	17324.208	6236.208	193322.448
Agosto	31	10.634	16844.256	5756.256	178443.936
Septiembre	30	9.905	15689.52	4601.52	138045.6
Octubre	31	8.767	13886.928	2798.928	86766.768
Noviembre	30	7.626	12079.584	991.584	29747.52
Diciembre	31	7	11088	0	0

TOTAL ACUMULADO POR AÑO (l)	1390359.1
------------------------------------	-----------

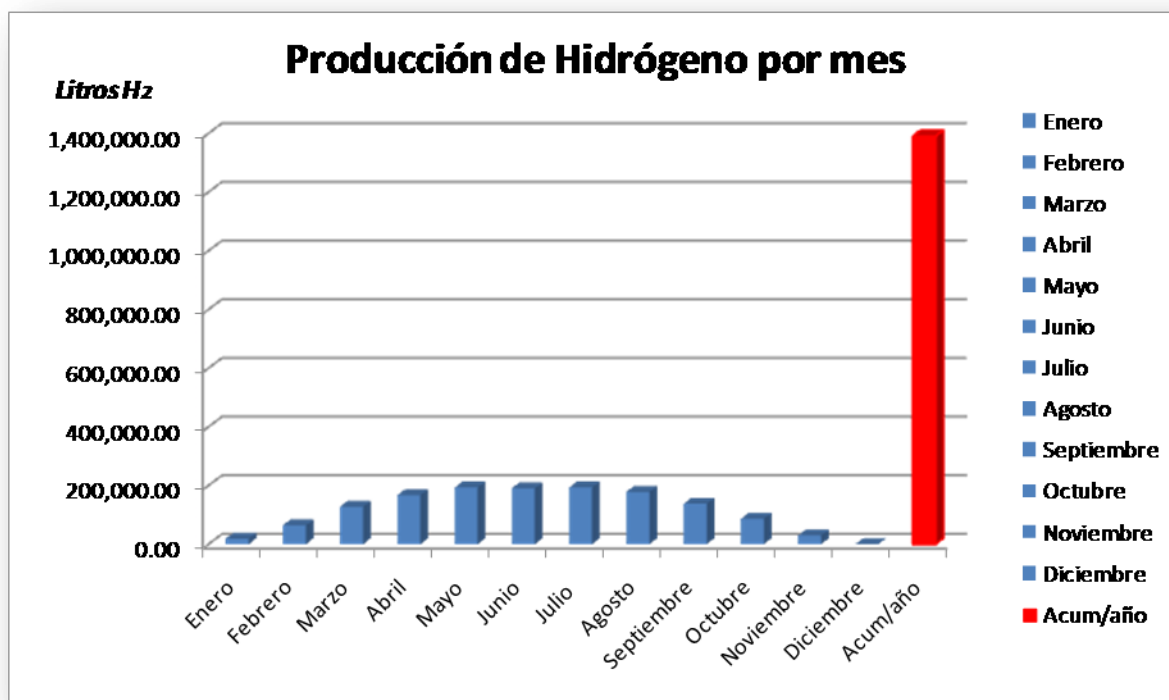


Figura 7 Grafica de producción de hidrógeno por mes con la irradiación más baja 7.065

La inclinación de los módulos fotovoltaicos normalmente tiene que ser igual a la latitud del lugar, lo que es posible siempre que no haya exigencias de tipo arquitectónico que lo impidan. Por lo tanto para los sistemas dimensionados la inclinación sería 20°39' latitud norte.

Consideraciones en el análisis económico para los sistemas dimensionados

Para el cálculo del costo del kWh para los sistemas dimensionados que se describen a continuación, se consideró el método del Valor Presente Neto con una vida útil de los componentes de los sistemas de 20 años, considerando los costos anuales de operación y de mantenimiento, así como una TREMA (tasa de rendimiento mínima aceptable) del 7%.




En la siguiente tabla se muestra el costo por kWh de los tres sistemas dimensionados.

Tabla 8 Costo kWh de los sistemas dimensionados

Energía Renovable	Condiciones	Costo \$/kWh
Fotovoltaica	8.46 kWh/m ² día	20.76
Fotovoltaica	9.4 kWh/m ² día	21.93
Fotovoltaica	7.065 kWh/m ² día	19.78

En las siguientes graficas se muestran los resultados de los diferentes análisis realizados en los tres sistemas fotovoltaicos dimensionados.

Tabla 9 Simbología de las graficas 8, 9, 10 y 11

Simbolo	Dimensionamiento
	Con irradiación de 9.4 kWh/m ² día
	Con irradiación de 8.46 kWh/m ² día
	Con irradiación de 7.065 kWh/m ² día

En la siguiente grafica de la Figura 8 se representa cual es la tendencia del costo por kWh con respecto a la irradiación del lugar, teniendo en cuenta los tres diferentes sistemas dimensionados en el presente trabajo.

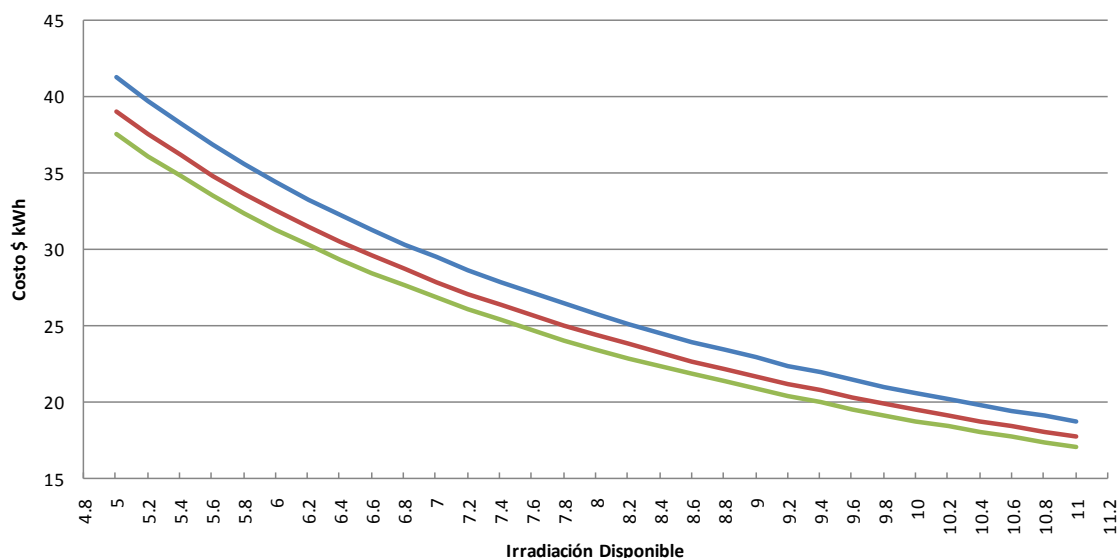


Figura 8 Grafica del costo por kWh de cada sistema dimensionado VS irradiación disponible

Como se puede observar en la grafica de la Figura 8, el costo por kWh con una irradiación mínima, es muy alto y conforme la irradiación aumenta, el costo por kWh disminuye teniendo una tendencia a que en los

diferentes sistemas dimensionados lleguen a un punto en el cual los valores del costo por kWh son los mismos.

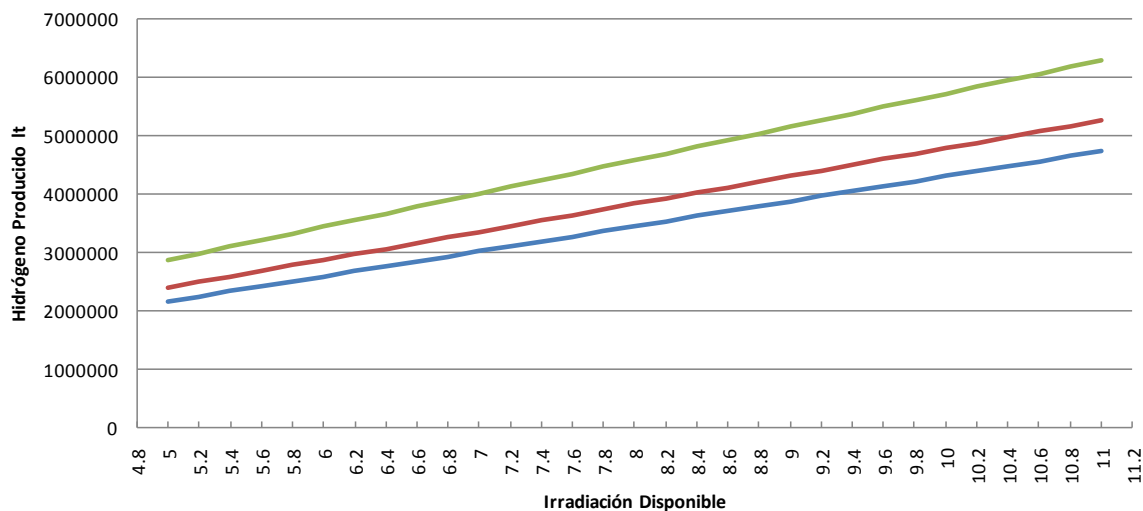


Figura 9 Grafica de la producción de hidrógeno cada sistema dimensionado VS irradiación disponible

En la grafica de la Figura 9 se muestra como varia la producción de hidrógeno en los diferentes sistemas dimensionados, al variar la irradiación de 5 a 11 kWh/m²día. Teniendo una tendencia de aumento en la generación de hidrógeno conforme aumenta la irradiación.

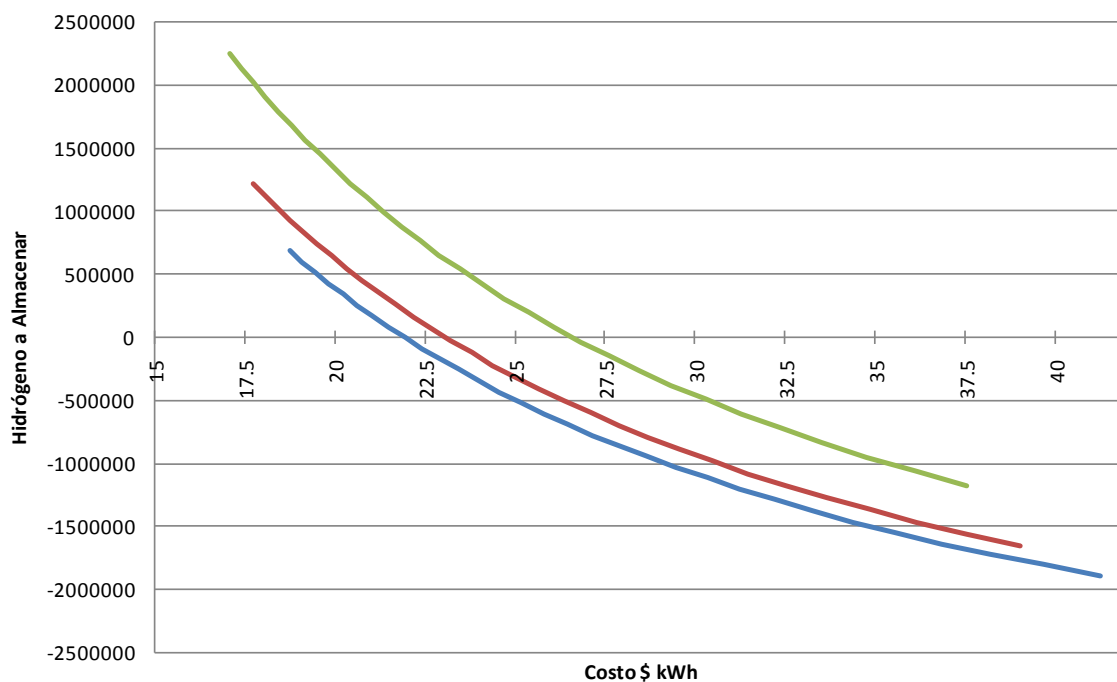


Figura 10 Grafica de la cantidad de hidrógeno a almacenar en cada sistema dimensionado en función del costo por kWh

En la grafica de la Figura 10 se muestra la cantidad de hidrógeno a almacenar de los sistemas dimensionados contra el costo por kWh, considerando que los valores negativos significan que el sistema

dimensionado no genera el suficiente hidrógeno que demanda la celda de combustible para generar la energía eléctrica solicitada por el usuario final. Además de que hay que tener en cuenta que la intersección del eje X con cada una de las curvas significa que ahí se satisface la demanda de hidrógeno no teniendo ninguna cantidad almacenada. En otras palabras en ese punto el sistema dimensionado es el más exacto para generar hidrógeno sin tener la necesidad de almacenarlo, considerando que en este punto la irradiación disponible coincide con la irradiación para la cual fue diseñado el sistema.

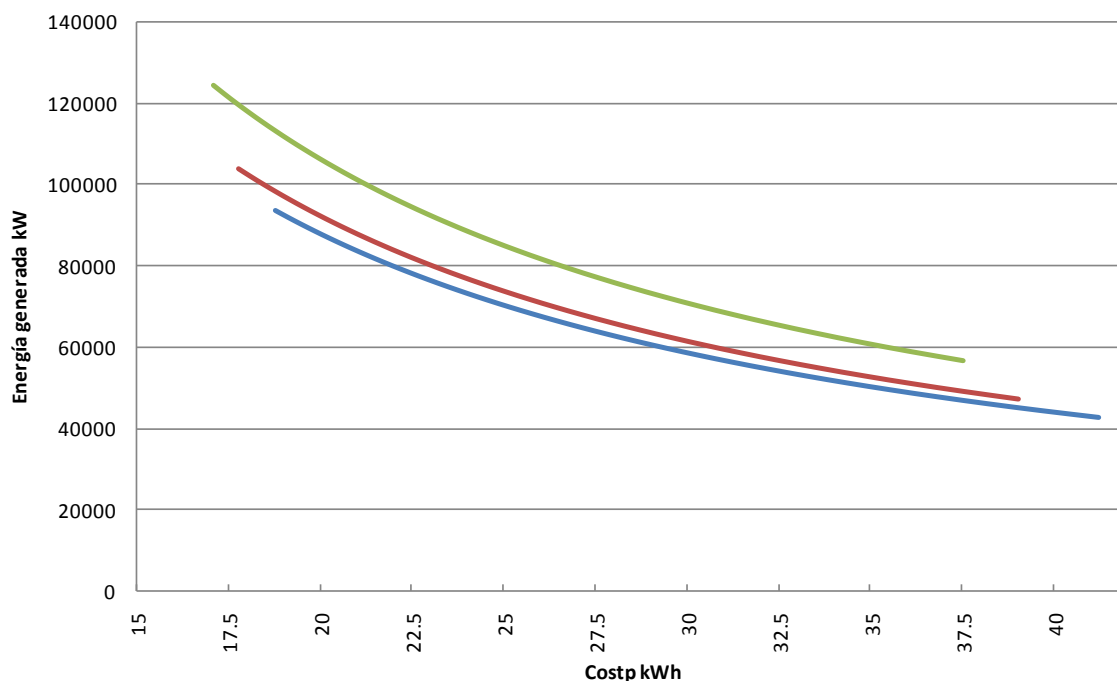


Figura 11 Gráfica del costo por kWh contra la cantidad de Energía generada en cada sistema dimensionado durante 20 años

Conclusiones.

Como se puede observar en las gráficas, para los sistemas fotovoltaicos dimensionado considerando una irradiación promedio del lugar de $9.4 \text{ kWh/m}^2\text{día}$, se tiene que el mejor sistema para la producción de hidrógeno es el que se dimensionó tomando la irradiación del mes más desfavorable, siendo en este caso particular de aproximadamente $7.065 \text{ kWh/m}^2\text{día}$, teniendo una capacidad aproximada para producir hidrógeno de 5,384,703.1847 litros al año, que al generar energía eléctrica a partir de este se tiene un costo por kWh de \$ 19.78. Debe notarse que el costo de la inversión inicial es mayor a los sistemas dimensionados considerando irradiaciones de $9.4 \text{ kWh/m}^2\text{día}$ y $8.46 \text{ kWh/m}^2\text{día}$ que tienen un costo por kWh de \$ 21.93 y \$ 20.76 respectivamente, no obstante el costo que finalmente define cual de los sistemas es más viable económicamente es el que tenga el costo menor en cuanto al kWh, el cual es el sistema dimensionado con una irradiación de $7.065 \text{ kWh/m}^2\text{día}$.

Con los resultados obtenidos, se llegó, además, a la conclusión de que producir energía eléctrica haciendo uso del hidrógeno como medio de almacenamiento en lugar de baterías, no es viable económicamente, esto es debido a que el método seleccionado para la producción de hidrógeno fue mediante electrolisis del agua, la cual consume aproximadamente 10 unidades de energía por unidad a producir de energía. Por lo cual los costos de la producción de energía eléctrica mediante el almacenamiento de hidrógeno son muy elevados a comparación de los costos que se tienen en un sistema eólico, o un sistema solar fotovoltaico con almacenamiento de la energía en baterías de ciclo profundo.

Es importante hacer notar que el hidrógeno a diferencia de las baterías es ligero y fácil de transportar. Además de tener una alta eficiencia energética en comparación con las baterías.

Es importante hacer notar que la tecnología para producir energía eléctrica mediante celdas de combustible alimentadas por hidrógeno, no es una tecnología nueva, ya que ha sido estudiada desde hace varios años, pero es hasta el día de hoy, que existe gran preocupación por el cambio climático por las grandes cantidades de contaminantes emitidas hacia la atmosfera, debido en gran parte al creciente uso de los combustibles fósiles como fuente principal de energía para el mundo, es por eso conveniente comenzar a buscar y tratar diferentes alternativas para satisfacer las necesidades mundiales de energía, no solo por la contaminación que se genera hoy en día, sino también porque las fuentes principales de energía son **no renovables**, por lo tanto, tarde o temprano se tendrá que depender de alguna otra fuente de energía para solucionar el problema, es por eso la importancia del presente trabajo, que además de dar a conocer la posibilidad de generar energía eléctrica mediante el aprovechamiento de los propios recursos naturales del planeta, ejemplifica cuales son las problemáticas que existen hoy en día para que las energías renovables sustituyan a las energías convencionales que prevalecen hoy en día, muy particularmente se presenta la importancia que tiene el hidrógeno en todo este proceso de cambio, debido a todas las características que tiene antes ya señaladas como excelente portador de energía. No obstante, es importante primeramente, tener claros los alcances del hidrógeno como principal portador de energía, para que de esta manera, la humanidad logre comprender y a su vez comience a tener conciencia de la importancia vital de cambiar a este tipo de energías alternas, iniciando por las grandes empresas que son las que más generan contaminantes por el uso excesivo de energías mediante combustibles fósiles.

Referencias.

- [1] British Petroleum. Crisis energética “BP Statistical Review of World Energy, 2006”. 14/Junio/2006. <<http://www.crisisenergetica.org>>
- [2] “Energías Renovables en Alemania y Unión Europea” 09/Marzo/2007
<www.eu2007.de/en/News/Press_Releases/March/0309BKBrussel.html?>
- [3] Enrique Ortega Valencia*, Juan Luis François Lacouture “Producción de hidrógeno mediante energía nuclear, un escenario sostenible en México” Congreso Internacional Conjunto Cancún 2007, Memorias CIC Cancún 2007 en CDROM p. 555-563
- [4] M^a José Montes*, A. Abánades, J.M. Martínez-Val “PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR” *Centro de Análisis de Desarrollo Energético Sostenible, FFII Grupo de Termotecnia, ETSII-UPM
- [5] J. L. Gutiérrez, M. C. Cabezas, J. M. B. Expón, L. Martínez “Gran Enciclopedia científica cultural Estadística Matemática” Organización cultural LP, S.A. de C.V. 1985 Edición mexicana, 1985
- [6] EG&G Services Parsons, Inc. Science Applications International Corporation “Fuel Cell Handbook” Fifth Edition, October 2000
- [7] Fuel Cells Org. “Fuel Cells 2000”, <www.fuelcells.org>
- [8] James Larminie, Andrew Dicks, “Fuel Cell Systems Explained” second edition, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, Copyright © 2003.
- [9] Xentrex Technology
<<http://www.xentrex.com/spanish/web/id/193/p/2194/pt/5/product.asp>>
- [10] Phillip Hurley “Build a Solar Hydrogen Fuel Cell System” Wheelock Mountain Publications, Copyright © 2004
- [11] Andrés Causapé Rodríguez, “Las tecnologías de almacenamiento de hidrógeno en vehículos y su proyección de futuro” anuales de mecánica y electricidad, julio-agosto 2006 p. 20-23
- [12] Emmanuel I. Zoulias with N. Lymberopoloulos, “Hydrogen-based Autonomous Power Systems, Techno-economic Analysis of the Integration of Hydrogen in Autonomous Power Systems” © 2008 Springer-Verlag London Limited
- [13] Fuelcellstore<<http://www.fuelcellstore.com/en/pc/viewPrd.asp?idcategory=60&idproduct=1419>>
- [14] “Electroindustrial”<http://www.electroindustrial.com/inversores_12v_a_220v/whs4000_24_inversor_de_24_a_220v_ca_4000w_profesional_-.htm>
- [15] “Teknosolar”<<http://www.teknosolar.com/>>
- [16] “Sistema De Información Energética De Guanajuato” <<http://energia.guanajuato.gob.mx>>

- [17] Dinga Gustov P. Hidroegen. "The ultimate fuel and energy carrier". En: Int J. Hydrogen Energy. Vol.14, No.11, pp777-784. 1989
- [18] J. M. De Juana, F. Santos, M. Macías, M. A. Herrero, A. de Francisco y J. Fernández. "Energías Renovables Para El Desarrollo" Thomson Editores Spain, 2002
- [19] Dieter Deublein and Angelika Steinhäuser, "Biogas from Waste and Renewable Resources An Introduction" WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Copyright © 2008
- [20] Rapagna, S. and Foscolo, P. U., Int. J. "Hydrogen Energy", 1998, 23, 551-557.
- [21] Saha, R. K., Gupta, B. R. and Sen, P., Int. J. Hydrogen Energy, 1984, 9, 483-486.
- [22] Arbon, I. M., J. Power Energy (Part A), 2002. 216, 41-57.
- [23] Caglar, A. and Demirbas, A., Energy Sources, 2001, 23, 739-746.
- [24] García, L., Sánchez, J. L., Salvador, M. L., Bilbao, R. and Arauzo, J., Energy Fuels, 2002, 16, 1222-1230.
- [25] Leland T. Blank & Anthony J. Tarquín, "Ingeniería económica", Quinta edición, editorial McGraw Hill, año 2002, traducción del año 2004
- [26] Gabriel Baca Urbina, Case, David Pratt y Marvin Agee, "Ingeniería Económica" Tercera edición, McGraw Hill, año 2003
- [27] Chan S. Park, "Ingeniería Económica Contemporánea", editorial PEARSON Traducción de la primera edición, año 2000
- [28] Certificados de la Tesorería "CETES", México, Junio 2007
<http://www.cpware.com/mancera/sitio/ufcetes/1_uf_ets_i02.php>
- [29] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática "INEGI" 12/Octubre/2007
<<http://www.inegi.gob.mx>>
- [30] H. L. Gasquet "Conversión De La Luz Solar En Energía Eléctrica Manual Teórico Y Práctico Sobre Los Sistemas Fotovoltaicos" Solartronic, S.A de C.V, Cuernavaca, Morelos, México, Octubre 2004.
- [31] "Sistema De Información Energética De Guanajuato", Guanajuato, Febrero 2007
<<http://energia.guanajuato.gob.mx/sieg/Main.php>>
- [32] "Alternativa Solar", Veracruz, Marzo 2007 <<http://www.alternativasolar.com>>.
- [33] "Climatronics Corporation", New York, Marzo 2007
<<http://www.climatronics.com>>
- [34] Ingeniería Energética y Medioambiental "Inersol", España, Abril 2007
<<http://www.inersol.es/tinversores.htm>>
- [35] M. Ibáñez, J.R. Rosell, J.I. Rosell, "Energía Renovable Tecnología Solar" Universitat de Lleida, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid *Barcelona*México, 2005
- [36] "Energía Solar Sistemas" España, Abril 2007 <<http://www.energiass.com>>
- [37] "Energía Alternativa de México", Reynosa Tamaulipas, Abril 2007
<<http://www.enalmex.com/paginas/eolicos/eolicos.htm>>
- [38] "Dictamen De La Comisión De Energía A La Iniciativa Que Crea La Ley Para El Aprovechamiento De Las Fuentes Renovables De Energía" Palacio Legislativo De San Lázaro, México, Diciembre 2005
- [39] B. Urbina, "Evaluación de Proyectos" Cuarta Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 1999
- [40] "Kyocera", U.S.A, Abril 2007 <<http://www.kyocerasolar.com>>
- [41] Fideicomiso Para el Ahorro de Energía Eléctrica "FIDE", México, Junio 2007
<<http://www.fide.org.mx>>
- [42] Servicio de Administración Tributaria "SAT", México, Junio 2007 <<http://www.sat.gob.mx>>
- [43] Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía "CONAE", México, Junio 2007
<<http://www.conae.gob.mx>>