

### CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA FOTOCELDA-ELECTROLIZADOR-CELDA DE COMBUSTIBLE, UTILIZADO PARA ENERGIZAR UN TELEFONO CELULAR

Eduardo Fuentes Quezada, A. Rodríguez-Castellanos, O. Solorza Feria

CINVESTAV-IPN. Depto. de Química. Av. IPN 2508, Col. San Pedro Zacatenco. C.P. 07360

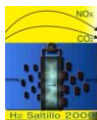
Tel. 5061-3800, Ext. 4073, edfq\_1986@hotmail.com

#### RESUMEN

Con el crecimiento de la población mundial, (cercana a 6.3 miles de millones de habitantes en el mundo), se incrementa considerablemente la demanda de energía para cubrir las necesidades energéticas propias y del desarrollo de un país. El petróleo y el carbón son los combustibles más empleados en la actualidad para la generación de energía. Sin embargo, su extracción y transporte además de su combustión traen como consecuencia la producción de residuos contaminantes, como el bióxido de carbono que es liberado a la atmosfera, además de contribuir en gran parte al calentamiento global del planeta. Una alternativa para la generación de energía eléctrica es la utilización de celdas de combustible de membrana polimérica (PEMFC) las cuales promoverán la utilización de combustibles alternos como el hidrógeno.

En este trabajo se presenta la puesta en operación de un sistema constituido por una celda fotovoltaica un electrolizador y una PEMFC. La celda fotovoltaica transforma la energía solar en eléctrica con la que se electroliza el agua proporcionando hidrógeno (combustible) y oxígeno (comburente). Se diseño y construyo un electrolizador el cual fue caracterizado mediante ensayos de polarización. Los gases obtenidos del electrolizador son alimentados a una celda de combustible diseñada y construida en el laboratorio. Para darle aplicación a este trabajo la energía producida en la celda de combustible es alimentada a un dispositivo de baja potencia como lo es la carga eléctrica de un teléfono móvil.

La integración de dispositivos electroquímicos revolucionarán por completo las fuentes de energía que hoy en día están basadas en los derivados del petróleo. Estos sistemas integrados son eficientes para la producción de energía eléctrica sin emisiones de gases contaminantes.



### 1.- Introducción

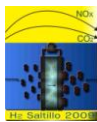
Cualquier actividad humana necesita de energía para ser realizada. En la actualidad se conocen dos tipos de fuentes de energía: las provenientes de fuentes no renovables, específicamente de los combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural y las que se obtienen de fuentes de energía renovables como son del sol, del viento o de la fuerza del agua de alguna presa para la generación de energía eléctrica.

La fuente de energía mas utilizada en nuestro planeta indudablemente es el petróleo ya que es la principal fuente de insumo para la generación de energía eléctrica, además que permite producir combustibles para varios sectores como son los industriales y de transporte. Sin embargo, tras un uso indiscriminado, sin alternativas para la generación de energía a base de otro insumo y las crisis petroleras de las últimas décadas, este combustible ha llegado a ser un suministro no seguro, polémico y con riesgo de agotarse en un futuro que no se ve muy lejano.<sup>1</sup>

Actualmente se plantea la búsqueda de una fuente de energía sostenible. Este término, de gran actualidad, se aplica a aquellas fuentes de energía que cumplan básicamente dos condiciones. Por un lado, no deben consumir recursos que sean “no renovables”, por otra parte deben tener un mínimo o nulo impacto en el medio ambiente. En particular, como consecuencia de la utilización de estas fuentes no deben emitirse gases que contribuyan a aumentar el efecto invernadero ni ningún otro tipo de emisión contaminante.

Una de las soluciones que se plantea es usar un panel fotovoltaico que transforme la energía solar a energía eléctrica para electrolizar el agua y almacenar en forma gaseosa el hidrógeno producido para su posterior uso como combustible en una PEMFC. Una celda de combustible promueve la utilización de combustibles alternos como el hidrógeno, además de contribuir a la disminución de emisiones contaminantes y a la producción eficiente de energía eléctrica. El hidrógeno es el elemento más abundante de la Tierra, si bien menos de 1% aparece en forma gaseosa como  $H_2$ . La mayor parte de los átomos de hidrógeno se encuentran en las moléculas de agua o en los hidrocarburos líquidos o gaseosos, lo que requiere el uso de diversas técnicas de extracción. La energía del hidrógeno es de 142 KJ/kg frente a los 47 KJ/kg de los hidrocarburos líquidos, lo que lo convierte en un combustible de altas prestaciones.<sup>2</sup>

Este trabajo consiste en diseñar y construir un electrolizador y una celda de combustible. Un panel fotovoltaico accionado por la energía solar, alimenta electricidad de corriente directa (CD) al electrolizador para generar hidrógeno y oxígeno que serán alimentados a la celda de combustible, generando energía eléctrica para recargar la batería de un celular. Considerando que la mayor parte de los habitantes en el planeta posee por lo menos uno de estos teléfonos móviles la cantidad de energía eléctrica producida con este dispositivo de recarga, disminuirá a nivel mundial el uso de otras fuentes de energía.



Además de contribuir con una alternativa más que utilice como combustible el hidrógeno para la generación de energía eléctrica.

### 2.- Condiciones experimentales

#### 2.1.- Paneles fotovoltaicos

Se eligieron cinco paneles fotovoltaicos para determinar, en base a sus respuestas voltaje-corriente, cual de ellos puede ser el más apropiado y útil para la transformación de energía luminosa a eléctrica ya que esta será la alimentación de corriente directa del electrolizador.

De estos cinco paneles, dos de ellos fueron hechos de silicio policristalino, diseñados y construidos en los laboratorios de Electrónica del Estado Sólido, del CINVESTAV-IPN y los restantes están construidos comercialmente de silicio amorfo.

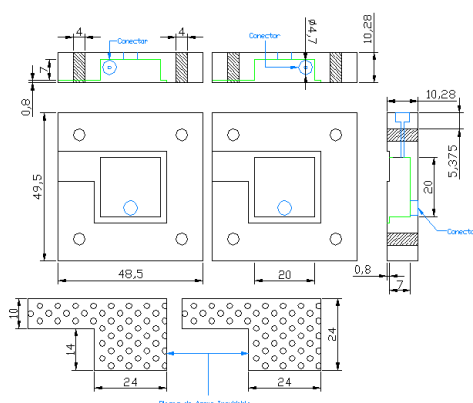
#### 2.2.- Electrolizador

Se construyó una mono-celda de electrolizador con la coraza de grafito comercial de la marca POCO con empaques de silicón y ensambles membrana-electrocatalizadores. En base a su respuesta electroquímica nos permitirá determinar de cuantos ensambles estará constituido nuestro electrolizador para el acoplamiento. El ensamble que se utilizó está constituido de una membrana comercial Nafión 115, con depósito de platino al 10 % soportado en carbón Vulcan por el lado del cátodo, mientras que por el lado de ánodo una mezcla de óxido de rutenio y cobalto, el RuCoOx fue preparado por tratamiento térmico de  $\text{RuCl}_3$  y  $\text{CoCl}_2$ . Las cargas de los catalizadores anódicos se determinaron por el Método Simplex.

Las cargas corresponden a  $2.8 \text{ mg/cm}^2$  de RuCoOx sin carbón y  $1.2 \text{ mg/cm}^2$  de Pt/C al 10% peso. Se preparó una tinta mezclando los catalizadores con alcohol etílico y monómero de Nafión. Esta tinta catalítica fue depositada en un área de  $4 \text{ cm}^2$  de superficie de Nafión 115, utilizando un método de aspersión mediante un dispositivo semiautomático. Una vez depositados los catalizadores en ambos lados de la membrana con ayuda de una prensa con placas acopladas a un termostato se planchó en caliente a  $120^\circ\text{C}$  y una presión de  $4 \text{ kg/cm}^2$  durante 2 min.

Los ensayos de Polarización Galvanostática se realizó mediante un Potensiostato Galvanostato EG & G PRINCETON APPLIED RESEARCH MODELO 363.

En la figura 1 se muestra el diseño de la mono-celda del electrolizador con el que se realizaron los ensayos.<sup>3</sup>



**Figura 1.-** Diseño de la coraza y colectores de corriente del electrolizador PEM.

### 2.3.- Celda de Combustible

La celda de combustible permitirá transformar la energía química del hidrógeno combustible en energía eléctrica.<sup>4</sup> Se llevo a cabo la caracterización de un ensamble membrana – electrocatalizadores. Se utilizaron para ambos lados de la membrana Nafion NRE-212 difusores de tela de carbón con catalizador Pt/C al 20% peso y una carga de 0.5 mg/cm<sup>2</sup>, tanto para el ánodo como para el cátodo. El ensamble se caracterizó en una mono-celda de combustible comercial (ElectroChem FC05-01SP-REF), con el objetivo de poder determinar el potencial, la corriente y potencia máxima que proporciona bajo ciertas condiciones de operación y de esta forma poder diseñar la celda de combustible para el sistema final Fotocelda – Electrolizador - Celda de combustible.

La caracterización se llevo a cabo en un módulo de prueba Fuel Cell Test System 890B de ElectroChem con flujos de oxígeno e hidrógeno<sup>5</sup>. Los parámetros controlables fueron: temperatura de la celda, presión de los gases, temperatura de gases, temperatura de humidificación y flujo de gases. En la tabla I se exponen las condiciones a la que los gases de alimentación fueron sometidos.

**Tabla I.-** Condiciones experimentales de operación del ensamble de prueba.

Experimento	Presión H <sub>2</sub> / PSI	Presión O <sub>2</sub> / PSI	Presión Aire / PSI	Tiempo de operación
1	0	0	-	3 min.
2	10	10	-	3 min.
3	20	20	-	3 min.
4	30	30	-	3 min.
5	40	40	-	3 min.

6	0	-	0	3min.
---	---	---	---	-------

### 3.- Resultados y discusión

#### 3.1.- Caracterización del panel fotovoltaico

Las respuestas fotocorriente-voltaje del módulo fueron obtenidas colocando en forma perpendicular a los rayos del sol cada uno de los paneles, con la finalidad de que incidieran directamente en ellos, después se conectaron a un voltímetro y al módulo de resistencias en paralelo. Las respuestas obtenidas se muestran en las Figuras 2, 3, 4, 5, 6.

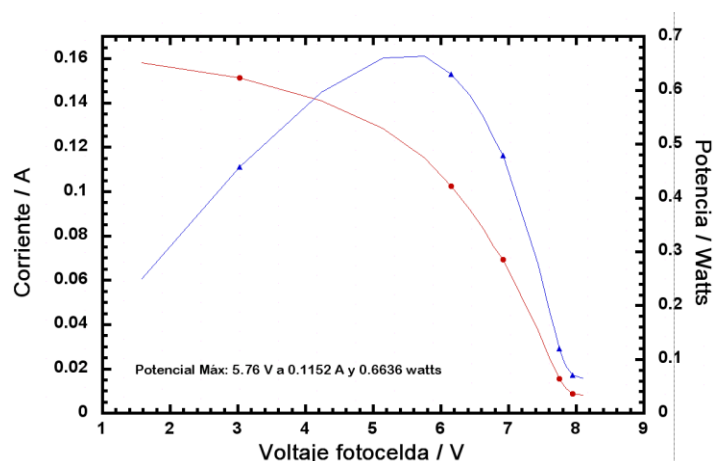


Figura 2.- Grafica de caracterización del panel I

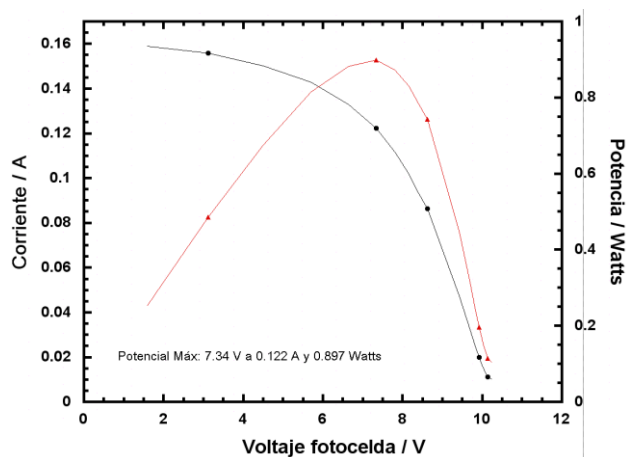
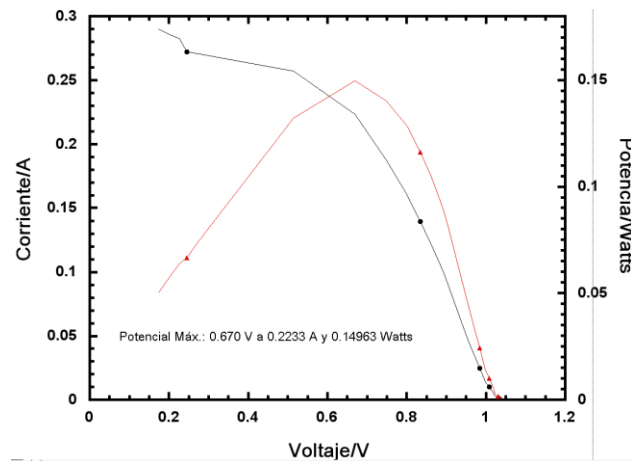
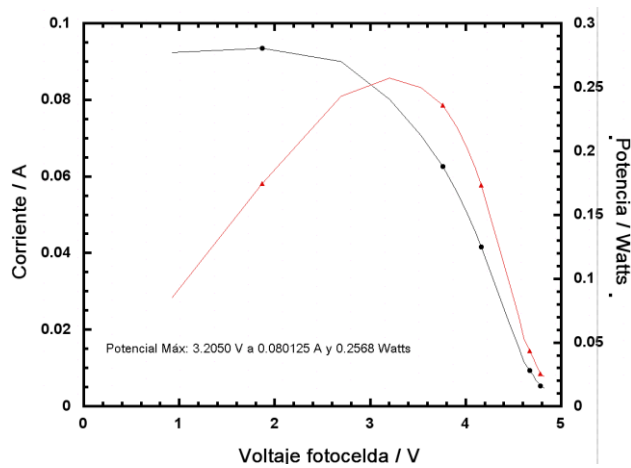


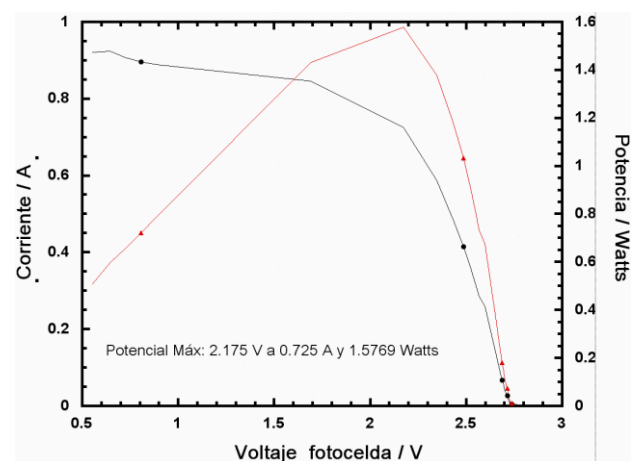
Figura 3.- Grafica de caracterización del panel II



*Figura 4.- Grafica de caracterización del panel III*



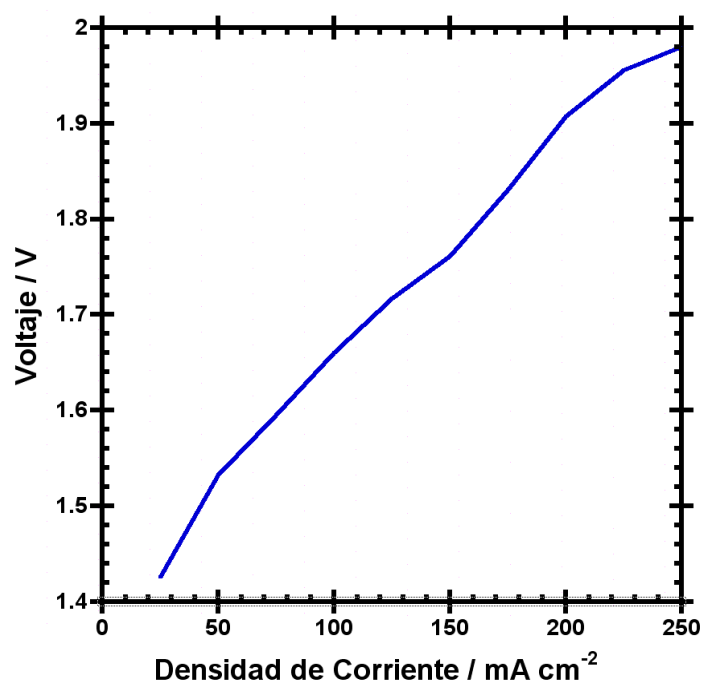
*Figura 5.- Grafica de caracterización del panel IV*



*Figura 6.- Grafica de caracterización del panel V*

### 3.2.- Caracterización del Electrolizador

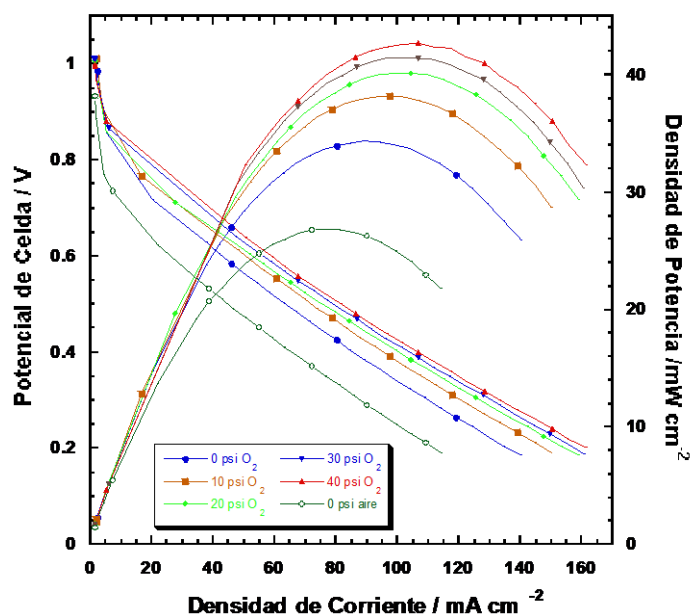
En la figura 7 se presenta el desempeño a 35 °C del ensamble membrana-catalizadores que se elaboró. Con ayuda de la grafica se determinará el número de ensambles que se usarán en el electrolizador además elegir cual de los cinco paneles se utilizará. La eficiencia en corriente del electrolizador fue del 99% y energética de 74% al aplicar una densidad de corriente de 250 mA/cm<sup>2</sup>. La evolución del hidrógeno se lleva a cabo en el cátodo y la de oxígeno en el ánodo.



*Figura 7.- Desempeño del electrolizador*

### 3.1.- Caracterización de la celda de combustible

En la figura 8 se muestra la curva de desempeño de la celda de combustible a las mismas condiciones de operación empleadas con el electrolizador.



**Figura. 8.** Desempeño de la celda de combustible  $H_2/O_2$  a diferentes presiones y flujos.

De la figura 8 se obtuvo los valores máximos de potencia, densidad de corriente y densidad de potencia para cada una de las condiciones expuestas en la tabla 1.

Obsérvese que a mayor presión aumenta la potencia de la celda de combustible pero además si se emplea como comburente oxígeno puro.

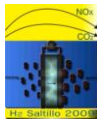
**Tabla II.** Desempeños máximos logrados por la celda de combustible a diferentes condiciones.

Condición	Comburente	Presión (PSI)	Potencial (V)	Densidad de Corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	Densidad de potencia (mW/cm <sup>2</sup> )
1	Oxígeno	0	0,38446	89,263	34,318
2	Oxígeno	10	0,39148	97,466	38,156
3	Oxígeno	20	0,40445	99,286	40,156
4	Oxígeno	30	0,40857	101,41	41,434
5	Oxígeno	40	0,4593	91,493	42,023
6	Aire	0	0,35081	76,471	26,827

### 3.4.-Diseño de la celda de combustible a escalar.

Para cada celular la alimentación varía, por lo que se buscara la potencia y el amperaje de un cargador universal. En la tabla III se muestra las alimentaciones de carga estándar para tres compañías de celulares.





**Tabla III.** - Alimentaciones estándar para la carga de diferentes compañías celulares.

	Output (VDC)	I (mA)
<b>Sony Ericsson</b>	4.9	450
<b>Motorola</b>	5.0	550
<b>Nokia</b>	5.7	1000

En base a las tablas III y IV se realizó el diseño de la celda de combustible, tomando como datos los valores de la condición 1 y la alimentación requerida para un celular Nokia. El potencial desempeñado por la mono-celda de combustible empleando hidrógeno y oxígeno a una presión de 0 PSI es de 0.38446 volts, si la demanda del teléfono celular para su recarga es de 5.7 volts, tenemos:

$$\frac{5.7\text{volts}}{0.38446\text{volts}} = 14.83 \approx 15 \text{ensambles}$$

Para determinar el área de depósito:  $\frac{1000\text{mA}}{89.263 \frac{\text{mA}}{\text{cm}^2}} = 11.2\text{cm}^2$

Longitud:  $\sqrt{11.2\text{cm}^2} = 3.35\text{cm}$

Cabe mencionar que hay varios factores a considerar para el diseño de la celda, como son la configuración del plato, las dimensiones de los canales y el área del caudal de alimentación del hidrógeno y oxígeno.

Por medidas estándares de los platos de grafito comprimido, se decidió tomar un área activa de  $10.38 \text{ cm}^2$  modificándose las dimensiones para el área de depósito de  $3.22 \times 3.22 \text{ cm}$ . Para el arreglo de los canales se consideró con un arreglo simple, ya que no se utilizarán bombas para la alimentación.

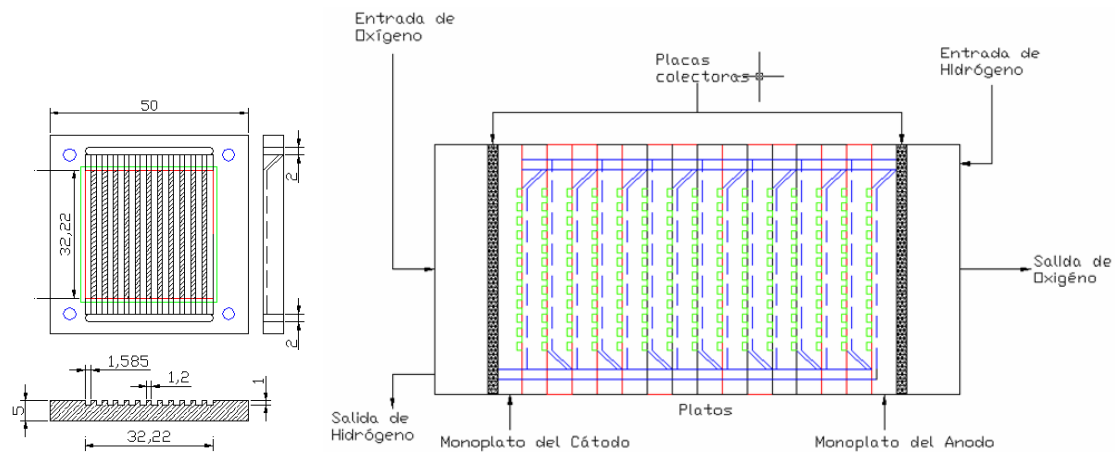
Respecto a las dimensiones de los canales, fueron basadas en medidas estándar de la herramienta que se tienen para facilitar su manufactura, por tanto, los canales de  $1/16$  (1.585mm) de espesor. Si se realiza el diseño para 12 canales, tenemos:

$$12 \bullet 1.585mm = 19.02mm$$

$$32.22mm - 19.02mm = 13.2mm$$

$$\frac{13.2mm}{(12-1)paredes} = 1.2mm$$

El espesor de cada pared será de 1.2 mm con una altura de 1 mm. Para las dimensiones del caudal, las dimensiones que se consideraron son de 32.22mm x 2 mm.



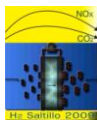
**Figura 9.** Diseños de los platos colectores (i) y arreglo de la celda con trayectoria de flujo (d).

#### 4.- Conclusiones

En base a la caracterización de los paneles fotovoltaicos y de la caracterización de la mono-celda del electrolizador se concluye lo siguiente:

El potencial para un ensamble del electrolizador oscila entre 1.48 a 1.98 V en un rango de corriente de 100 a 1000 mA y una eficiencia energética de 74 %.

Al utilizar el panel fotovoltaico I es necesario construir un electrolizador con tres ensambles conectados en serie acoplándose aproximadamente a 6 V y 0.1 A. Si se utiliza el panel II será necesario conectar cuatro ensambles en serie acoplándonos a un potencial aproximado de 8 V y 0.12 A. El panel III no puede ser acoplado al electrolizador ya que tiene un potencial menor al potencial termo-neutral (1.48 V) necesario para electrolizar el agua. El panel IV no puede emplearse ya que la corriente es demasiado pequeña consiguiéndose un mínimo de producción de hidrógeno casi despreciable. El panel V puede ser utilizado para un solo ensamble acoplándose a un poco más de 2 V. De los tres paneles fotovoltaicos posibles a utilizar el panel V proporciona una mayor corriente produciendo más hidrógeno y oxígeno.



## IX Congreso Internacional de la SMH, Saltillo 2009

---

En conclusión se utilizará el panel fotovoltaico V, el electrolizador será de un solo ensamble con un área de depósito de  $4 \text{ cm}^2$ , la celda de combustible será constituida de 15 ensambles con un área activa de  $10.38 \text{ cm}^2$ , es decir, una zona de depósito de  $3.22 \times 3.22 \text{ cm}$  de cada lado. Logrando un acoplamiento de panel fotovoltaico, electrolizador, celda de combustible a un teléfono celular.

### 5.- Agradecimientos

Agradecemos al ICYTDF (Ref-OSF) por el financiamiento en la realización de este proyecto.

### 6.- Referencias

- 
- <sup>1</sup> David Sánchez, Tecnología y sociedad, Santillana S.A (1996).
  - <sup>2</sup> <http://www.cidetec.es/media/archivos/Boletin%20CIDETEC%205.pdf>
  - <sup>3</sup> A. Rodríguez-Castellanos, Tesis de licenciatura (T-001-05), ESIQIE-IPN, Enero 2005.
  - <sup>4</sup> K. Suárez-Alcantara, A. Rodriguez-Castellanos, R. Dante and O. Solorza-Feria, J. Power Sources, 157 (2006) 114.
  - <sup>5</sup> K. Suárez-Alcántara, Tesis Doctoral, CINVESTAV, Marzo 2008.