



FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA HIBRIDO AUTONOMO CON CELDA DE COMBUSTIBLE PEM PARA ELECTRIFICAR LOCALIDADES RURALES EN CUBA.

Yamir Sánchez Torres.

Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Centro Universitario “José Antonio Echeverría” (CUJAE), Marianao, Ciudad de la Habana, Cuba.
Tel: (537) 2663638, email: yamir@ceter.cujae.edu.cu

RESUMEN

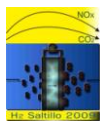
El uso de celdas de combustible PEM para la producción de energía eléctrica en sistemas autónomos está estrechamente ligado a la producción y almacenamiento de hidrógeno. Esto eventualmente unido a las fuentes renovables de energía forma un sistema ecológicamente limpio y sustentable. En varios países subdesarrollados existen localidades que no cuentan con electricidad y que tienen importantes potenciales energéticos renovables no explotados actualmente en los cuales se puede diseñar un sistema híbrido autónomo para electrificar estas poblaciones.

En este trabajo se presenta el esquema de un sistema híbrido autónomo con celda de combustible PEM, para la producción de hidrógeno y electricidad encaminado a la electrificación de zonas rurales alejadas de la red eléctrica nacional en Cuba. Se calculó la demanda eléctrica de la zona y el potencial energético disponible, luego, mediante el uso de los programas informáticos de modelación y simulación, HOMER, PVSYST y Matlab^{1,2,3}, se determinó la variabilidad del potencial eólico y fotovoltaico con las horas del día y las estaciones climáticas a lo largo de un año, así como su efecto en la producción de hidrógeno y electricidad.

Se comprobó que incluso para los más adversos escenarios se cumple con la demanda energética necesaria. En el trabajo se ofrece detalladamente el comportamiento del sistema y se evidencia la no afectación del entorno siendo posible la electrificación y bienestar de los pobladores de la localidad.

Palabras clave:

Sistemas híbridos, celda de combustible PEM, Matlab, HOMER, PVSYST, simulación, modelación.



1.- Introducción

El acceso al servicio eléctrico es una aspiración de toda la población rural cubana debido a su positiva influencia sobre las condiciones de vida. No obstante, actualmente existen 1422 asentamientos que no están conectados al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), con una población de 154212 habitantes y 62221 viviendas. En la provincia de Holguín, base de este trabajo, existen 378 asentamientos sin conectar al SEN, 225 concentrados y el resto dispersos. Se abastecen mediante tendederas 144, se alumbran mediante plantas diesel 108 y dos por medio de hidroeléctricas⁴. Aunque la población sin este servicio no representa una fracción importante del total nacional, solamente alrededor de 4 %, ella constituye un sector estratégico para toda la sociedad, por lo que su electrificación sigue siendo un objetivo importante, según lo demuestra el reciente programa nacional de electrificación de escuelas y consultorios médicos rurales en estas localidades. No obstante a los esfuerzos realizados, y debido a las características topográficas y demográficas (baja densidad de población) en esta provincia, la tasa de electrificación es mucho menor que la media nacional. Por otra parte, la generación local con grupos electrógenos diesel ha demostrado ser insostenible en lugares remotos y de difícil acceso de la región.

Una alternativa que ha ido cobrando prestigio por su probada eficacia es el uso de las fuentes renovables de energía (FRE), entre las que ocupa un lugar destacado la fotovoltaica (FV), con la más alta adaptabilidad a las condiciones demográficas, geográficas y climáticas.⁵ También es utilizada la energía del viento en aquellos lugares donde existe abundante recurso eólico, en este sentido se utilizan micro y miniturbinas, con menos de metro y medio de diámetro de las aspas.⁶

En la provincia, ambos sistemas, eólico y fotovoltaico han dado pruebas suficientes de ser sistemas rentables y eficientes para la generación de electricidad. Teniendo en cuenta que se reciben como promedio, 5 kWh de energía solar por metro cuadrado de superficie diariamente, pudiéndose aprovechar hasta el 10% de la misma utilizando paneles fotovoltaicos. De forma similar el viento puede ser considerado como una fuente de energía viable en muchos lugares, llegando a velocidades promedio de 7 y 10 m/s.⁷

Si se toma como ejemplo un viento sostenido de 10 m/s durante 6 horas, este puede generar una energía eléctrica de 800 Wh/m² día, la superficie se refiere al área de barrido de las aspas del aerogenerador, en este caso un aerogenerador de 2.1m de diámetro de las palas, de la marca Swift Rooftop, que cubre un área de barrido de 3.53 m², cuyos datos se muestran en la figura 7.

Actualmente los diseñadores e instaladores de estos equipos están conscientes de que lo más factible a implementar en los lugares remotos son los sistemas híbridos, es decir, están de acuerdo con el uso de las energías fotovoltaica y eólica simultáneamente, pues en muchos sitios los recursos solares y eólicos se complementan, o sea, los fuertes vientos del invierno y los largos y soleados días del verano. De esta forma se puede reducir el tamaño de diseño de cada componente de la instalación.⁶

Recientemente el Instituto de Meteorología concluyó el proyecto «Evaluación del potencial eólico de Cuba» y al año siguiente se comenzó un proceso de prospección eólica de algunos sitios seleccionados, con la participación de especialistas del Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), el Instituto de Meteorología (INSMET) y el Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) ⁷.

Por otra parte, pequeños sistemas híbridos son implementados en los Centros de Estudios Universitarios, como el CETER, con fines docentes, como puede verse en la figura 1. A la izquierda se muestra un sistema híbrido eólico-fotovoltaico que consta de 8 paneles de 37 W cada uno, un regulador de carga para 24V, 2 baterías de 12V y 200Ah y un inversor para entregar 110V(CA), 60Hz, 900W y un aerogenerador de 50W.

A la derecha se muestra un equipo laboratorio de celda de combustible PEM de 50W de la marca alemana Heliocentris.

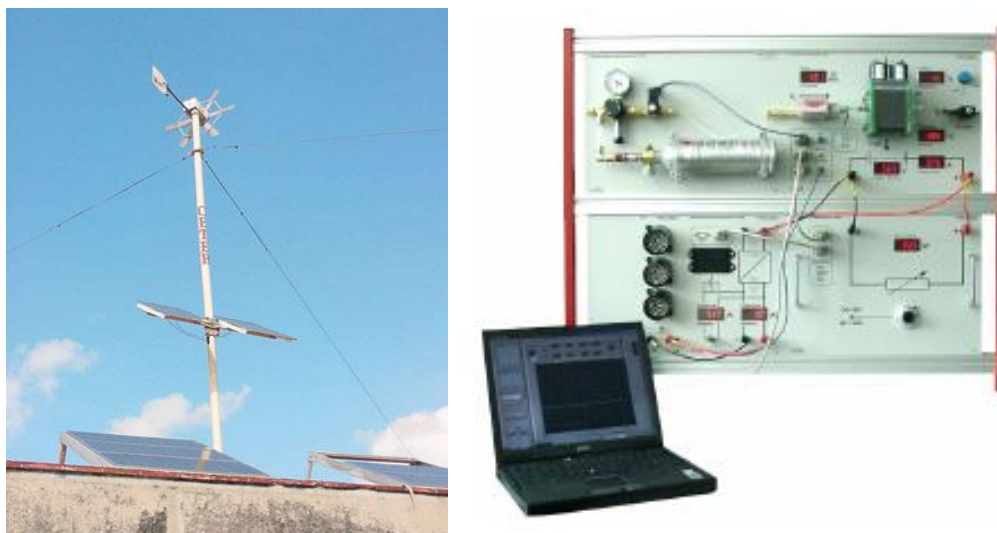


Figura 1. Sistema híbrido eólico-fotovoltaico con fines docentes y equipo laboratorio de celda de combustible PEM, instalados en el Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER).

Producto de la experiencia adquirida en las instalaciones docentes y demostrativas desarrolladas, el país ha podido resolver numerosas necesidades de electrificación en zonas aisladas de la red. Aplicaciones tales como el Programa de Electrificación fotovoltaica a las Casas Consultorios del Médico de la Familia, en las montañas y zonas rurales remotas, con casi 240 instalaciones funcionando, varios hospitales de montaña, escuelas con internado y demás, con comportamientos fiables y cero emisiones de gases contaminantes, que confirman lo positivo de esta solución.



IX Congreso Internacional de la SMH, Saltillo 2009

Igualmente se tiene en cuenta que pasada la barrera de los 50 USD el barril de petróleo, la producción de energía eléctrica empleando celdas fotovoltaicas de silicio y aerogeneradores se hace no solo más rentable, sino también ecológicamente más amistosa, dejando de emitir considerables cantidades de CO_2 .

Por otra parte, a medida que se vaya desarrollando la industria fotovoltaica en Cuba y disminuyendo los costos de fabricación, podrá ampliarse el campo de utilización de estos sistemas, asimismo se tienen varios proyectos de colaboración para la producción de micro y miniaerogeneradores en el país.⁶

Un aspecto en contra de la energía solar fotovoltaica y la eólica es la intermitencia en la generación, en la solar este factor se presenta alternativamente en el ciclo día-noche y las estaciones del año, así como los días nublados.

La energía eólica tiene fluctuaciones y promedios de velocidades diferentes para cada mes del año, por esta razón, en aplicaciones aisladas, debe existir una autonomía suficiente para varios días sin presencia de viento o sol. Hasta la actualidad este aspecto ha sido solucionado mediante el empleo de baterías, siendo su capacidad energética medida por los días que el sistema puede seguir funcionando sin necesidad de ser reabastecido por la fuente primaria.

Empleando dichas baterías para el almacenamiento de energía, estos sistemas han dado muy buenos resultados, no obstante últimamente, las pilas de combustible emergen como una solución muy provechosa para sustituir a las baterías. Esta tecnología ha madurado al punto de ser un producto que se comercializa en la actualidad. La parte fuerte de las pilas está en algunas desventajas que presentan las baterías como acumuladores energéticos, es el caso de que ellas almacenan la energía entre sus placas, por lo que la cantidad depende de su volumen, el cual no puede ser muy grande. En cambio las pilas de combustible consumen los reactantes de una fuente externa, la cual puede ser tan grande como se necesite. La batería consume la energía depositada en su interior a pesar de no estar trabajando, pues la reacción química siempre está presente, por ello su degradación es indetenible. En cambio las pilas funcionan cuando se les necesite, mientras tanto ellas se encuentran en reposo. Por último tenemos que las altas temperaturas son un problema para el trabajo eficiente de las baterías, no siendo así para las celdas de combustible, que pueden trabajar entre -30° y 50°C sin problemas, como lo muestra la figura 9.

Las celdas de combustible, con potencias alrededor de 1 kW, son muy atractivas para el suministro de energía a equipos que operan en lugares remotos o aislados, en los que se requiere de fuentes de alimentación fiables y con tiempos de operación largos. La alta densidad de potencia de las pilas, permite tiempos de operación más largos que los de las baterías convencionales.

El propósito de este trabajo es, presentar evidencias de la posibilidad del empleo de las pilas de combustible en los sistemas híbridos, situados en las localidades cubanas alejadas del SEN, teniendo en cuenta las

posibilidades de las FRE presentes en la zona de Holguín, haciendo uso de programas informáticos de simulación y optimización de sistemas híbridos.

2.- Condiciones experimentales

La información de la variable fuerza del viento se obtuvo a partir de los datos que registra la estación meteorológica de Cabo Lucrecia, que está ubicada a 4 m sobre el nivel del mar, y a 19 km al NNE de la ciudad de Banes en la provincia Holguín. Sus coordenadas geográficas son: latitud 21°04'02" Norte y longitud 75°37'3" Oeste. Se utilizó para la medición de los datos climatológicos un anemómetro M-49 de fabricación rusa, ubicado a 10 m de altura sobre la superficie, en buen estado técnico, aunque la cercanía al mar impuso que se le realizaran mantenimientos periódicos.

Se utilizó una base de datos creada durante 5 años, de 1994 a 1998, compuesta por 14608 observaciones de la fuerza del viento en dicha estación meteorológica, codificada y validada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como la número 78365, que indica que pertenece al bloque 78 de la Asociación Regional IV y que está identificada en el área de El Caribe con el número 365. Posteriormente se procesaron los datos con métodos estadísticos.

En general, puede decirse que los potenciales de viento fuertes se hallan desplazados hacia la zona costera, con puntos muy notables en áreas montañosas. Según los resultados obtenidos a partir de la base de datos estudiada, los vientos medios son de 17 km/h (4.7 m/s). El recurso solar con que cuenta la zona es de 5 kWh/m² al día⁵, muy similar en todo el territorio nacional y con poca variación durante las estaciones de verano e invierno.

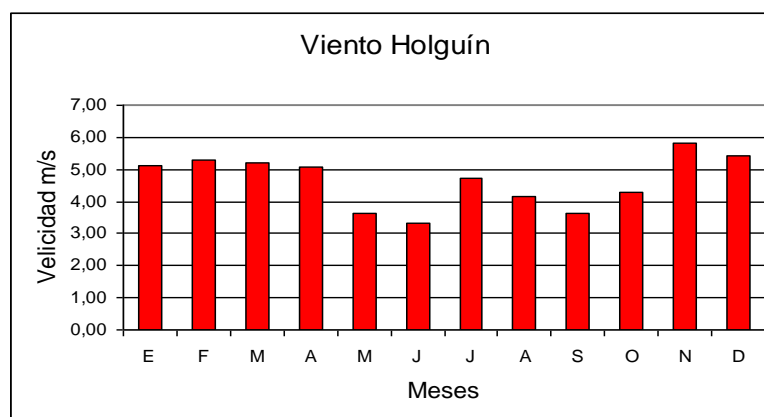


Figura 2. Distribución por meses de las velocidades del viento en la zona.

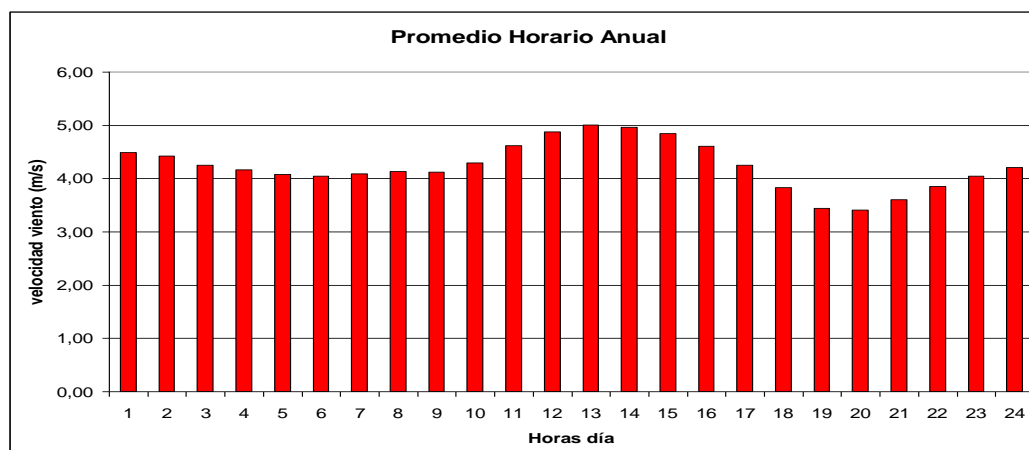


Figura 3. Distribución horaria de las velocidades del viento en la zona.

Observando las figuras 2 y 3 anteriores, podemos percatarnos de que los valores más altos del viento se reportan en los meses de la temporada invernal, coincidiendo con el periodo característico del paso de sistemas frontales sobre la región y con los días de menor recurso solar, de esta forma estas fuentes se complementan. Como promedio, en el día, los horarios de máximo viento se encuentran entre las 11 AM y las 5 PM, coincidiendo con las horas del día de mayor incidencia solar, figura 4, por lo que en este sentido ambas fuentes de energía, se solapan. En la figura 5 se puede apreciar la existencia de abundante radiación solar durante todo el año.

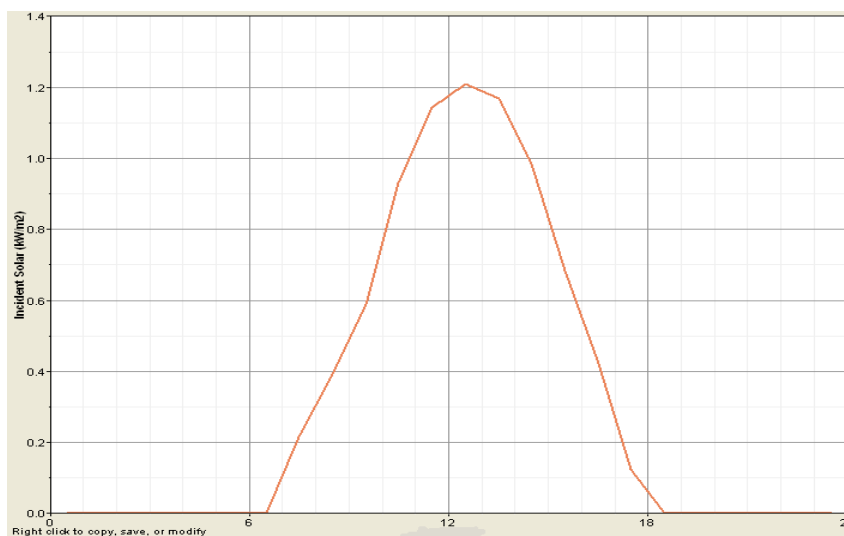


Figura 4. Distribución horaria de la incidencia solar en la zona en un día típico(kW/m²). Software HOMER.

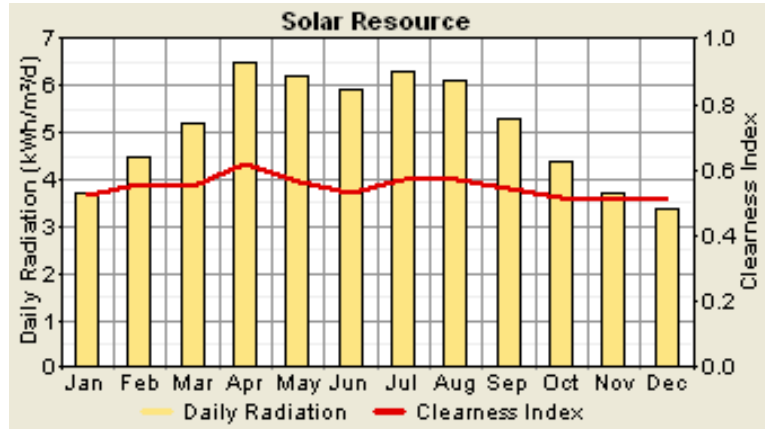


Figura 5. Distribución anual de la incidencia solar en la zona. Software HOMER.

El promedio mensual de días con viento en calma es de 5, febrero y marzo son los meses que poseen históricamente menor cantidad de periodos con calma (3 días), mientras que los meses de menor promedio de velocidad del viento, mayo, junio y septiembre, reportan 7 días.⁷

No obstante, con estos valores no basta para llegar a estimar las verdaderas posibilidades del uso de la energía eólica en el territorio, se necesita además conocer hasta qué punto los vientos cumplen con la condición de encontrarse gran parte del tiempo con velocidades iguales o superiores a 5 m/s (18 km/h), teniendo en cuenta que esta es la velocidad del viento de mayor densidad de potencia en la zona, figura 6, y la mínima para la óptima generación de la turbina Swift Rooftop seleccionada, figura 8.

Posteriormente, se hizo uso de la función de densidad de probabilidad de Weibull, que nos dice con que posibilidad el viento tendrá una velocidad “v” en el rango de datos.

$$P(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \quad (1)$$

Donde:

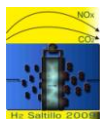
K: Factor de forma, adimensional.

C: Factor de escala (m/s)

V: velocidad del viento (m/s).

Estimación de factor k:

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_m} \right)^{-0.186} \quad (2)$$



Donde:

σ : Desviación estándar.

V_m : Velocidad media promedio en m/s.

Estimación del factor c:

$$c \cong \frac{V_m}{c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 + c_4 x^4} \quad (3)$$

Donde:

$$C_0 = 0.886259184149$$

$$C_1 = 0.00852888014766$$

$$C_2 = 0.0257748943765$$

$$C_3 = -0.002117760028167$$

$$C_4 = 0.000664358428$$

$$x = 4 (1+1/k) - 6$$

Densidad de Potencia del viento:

$$WPD = 0.5 \rho \sum_{V_x=1}^{V_x=15} v_x^3 P(v_x) \quad (4)$$

Donde:

ρ : Densidad del aire

$P(v)$: Probabilidad de tener una velocidad del viento “v” durante el año.

Haciendo uso de las anteriores ecuaciones y con la base de datos de viento horarios para cada día se llega a los resultados promedio siguientes:

Tabla I. Análisis de los datos del viento en la zona.

Variable	Promedio anual	Presencia en el año
V	4.64 m/s	
σ	0.81	
k	1.38	
c	4.20 m/s	
P_m	140.2 W/m ²	
$V_{5m/s}$	0.39	142 días
$V_{7m/s}$	0.13	47 días
$V_{10m/s}$	0.000077	40 minutos
$V_{15m/s}$	0.000017	9 minutos

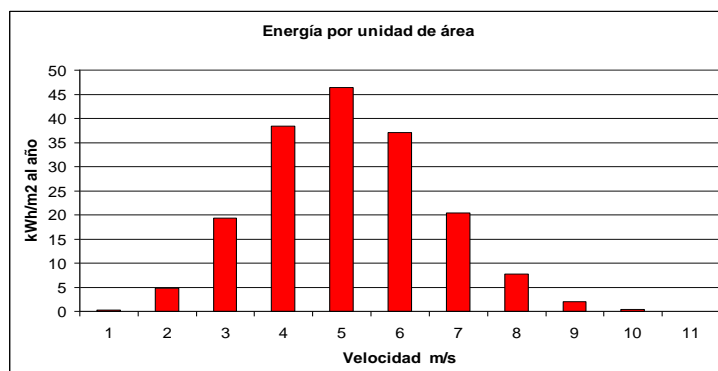


Figura 6. Densidad de potencia del viento en la zona.

Al procesar los datos, vemos que el 39%, 142 días equivalentes en el año, el viento tiene velocidades alrededor de 5 m/s, así sucede con la probabilidad de tener un viento de 7, 10 y 15 m/s, tabla 1. En el gráfico siguiente se puede apreciar la probabilidad anual, de que el viento en la zona se encuentre por encima de los 5 m/s (18 km/h).

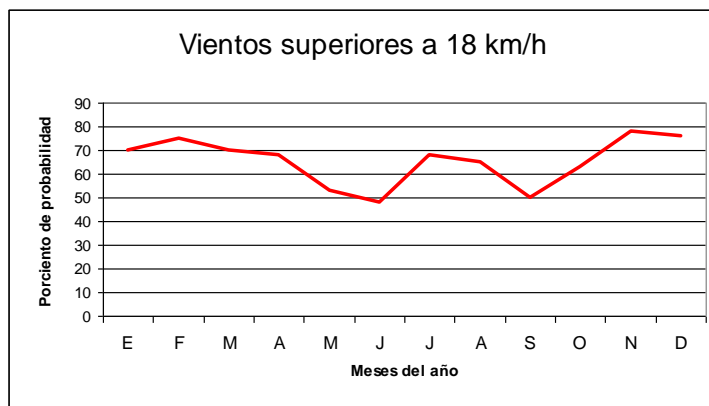


Figura 7. Porciento de vientos medios mensuales superiores a 18 km/h.

Una vez medidas y estudiadas las variables meteorológicas de la zona, se utilizaron las herramientas informáticas de simulación, para analizar y evaluar varias opciones de sistemas híbridos y obtener una configuración óptima del sistema requerido. Se identificó al HOMER como el paquete de software que más se

ajusta a las necesidades requeridas, ayudado además por los sistemas PVSYST y Matlab ^{1,2,3} para el procesamiento de los datos.

Estos softwares trabajan realizando simulaciones horarias y analizando los costos del ciclo de vida útil. También realizan análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de un cambio en cualquiera de los parámetros de entrada y proporcionan resultados anuales, de cada hora, en forma tabular y gráfica.

Para este trabajo se modeló un sistema híbrido autónomo alejado de la red, con el empleo de un aerogenerador de 1kW, 2 kW de paneles fotovoltaicos, un electrolizador de 1 kW, un tanque de hidrógeno de 2 kg y una celda de combustible de 1 kW.

Hay que destacar que en nuestro país, hasta la fecha, se han concebido las baterías como único dispositivo de almacenamiento de energía para estos sistemas. Aunque se han montado un gran número de sistemas con baterías, con buenos resultados, en este trabajo se recurre al uso de la celda de combustible para demostrar su factibilidad, así como para posibilitar la entrada de esta tecnología en el país.

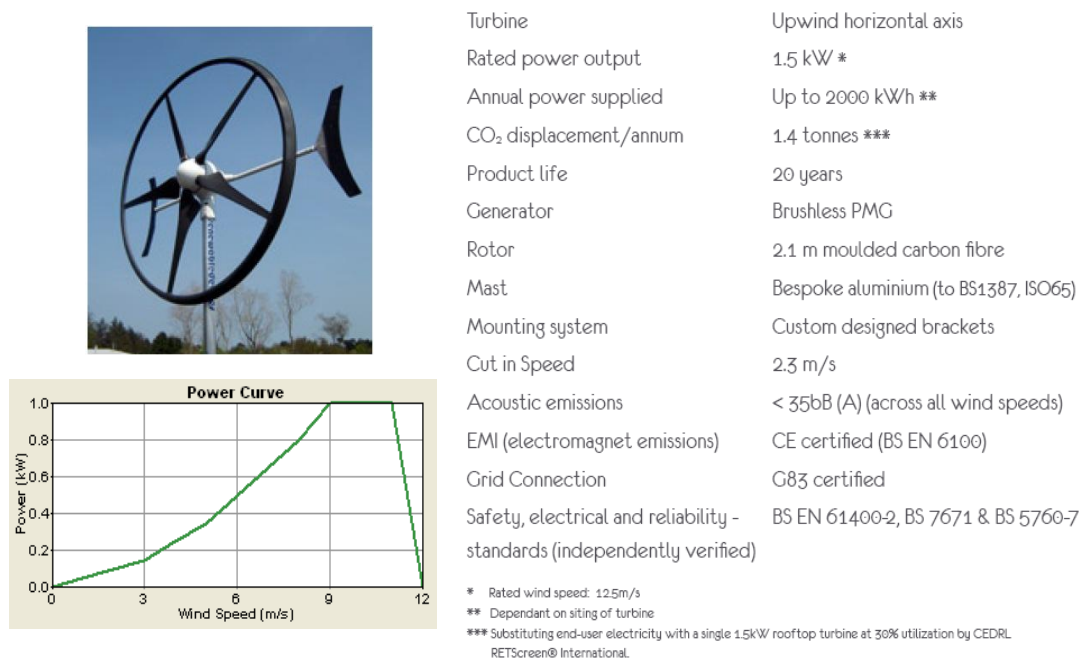


Figura 8. Imagen y características del aerogenerador Swift Rooftop.

Las celdas de combustible convierten la energía química del combustible (hidrógeno en el caso de las celdas PEM) directamente en electricidad. Existen varios tipos de celdas de combustible, no obstante, esta es la celda de combustible que posee mejores cualidades para ser usada en sistemas autónomos pequeños, como los

abordados en este trabajo, su nombre proviene del inglés, membrana de intercambio protónico (Proton Exchange Membrane). Estas celdas generan corriente directa similar a las baterías, prácticamente no necesitan de mantenimiento y su vida útil ya excede las 40000 horas en algunos prototipos⁸. Actualmente se comercializan múltiples modelos de este tipo para ser empleados en pequeños sistemas autónomos de generación de electricidad, figura 9. Para este trabajo se tuvo en cuenta la celda T1000 de la marca ReliOn®, la cual se comercializa a gran escala con buenos resultados, desde hace algunos años⁸.

La demanda energética a abastecer con el sistema híbrido elegido, será de 3.5 kWh al día, coincidiendo con la energía consumida por un hogar promedio en la zona, su comportamiento diario se muestra en la figura 10.

Se usará corriente alterna de 120V y 60 Hz, por lo que es preciso usar un inversor de 1kW, que convierta la corriente directa en alterna, con las características necesarias.

	Cellkraft (Sweden)	P21 (Germany)	ReliOn (USA)	Plug Power (USA)	Idatech (USA)
					
Model	S-Series	Premion T	T-1000	GenCore	ElectraGen
Effect	50 W / 500 W / 1 kW* / 2 kW	3 kW	1 kW	5 kW	5 kW
Dim (wxhxd)	470x513x280 mm	667x483x470 mm	325x482x595 mm	1120x660x610 mm	600x600x1200 mm
Weight	28 kg	93 kg	54 kg	227 kg	226 kg
Voltage	-45 VDC to -55 VDC (adj.)	-44 VDC to -57 VDC (limit)	24 alt 48 VDC	-46 VDC to -60 VDC (adj.)	-46 VDC to -54 VDC (limit)
Ambient temp.	-33 to +46 °C	-5 °C to 45 °C	0 °C to 46 °C	-40 °C to 46 °C (elect. heating)	-40 °C to 50 °C (goal)
Placing	Indoor**	Indoor **	Indoor**	Outdoor	Outdoor
Noise level	<60 dBA @ 1 m	<55 dBA @ 1 m	53 dBA @ 1 m	60 dBA @ 1 m	<60 dBA @ 1 m

* Data for 1 kW system

** Outdoor cabinet option.

Figura 9. Modelos de celdas de combustible del tipo PEM.

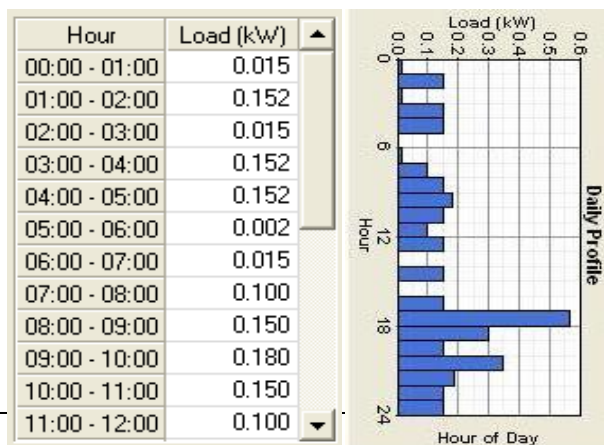


Figura10. Comportamiento horario de la carga horaria de 3.5 kWh. Programa HOMER.

3.- Resultados y discusión

Con la utilización de los software de simulación, se disminuyen los costos inherentes al diseño y desarrollo (proyecto de ingeniería) de los sistemas híbridos, debido a que no es necesario implementar físicamente un prototipo para validar un diseño y una sola persona puede manejar en la computadora el paquete de cómputo. Luego de correr los datos en el programa HOMER, se evidencian los resultados esperados, con este diseño es posible cumplir con la demanda eléctrica, así como almacenar abundante hidrógeno en el tanque para 17 días de operación, sin necesidad de la fuente de energía primaria. Otros resultados de la simulación se muestran:

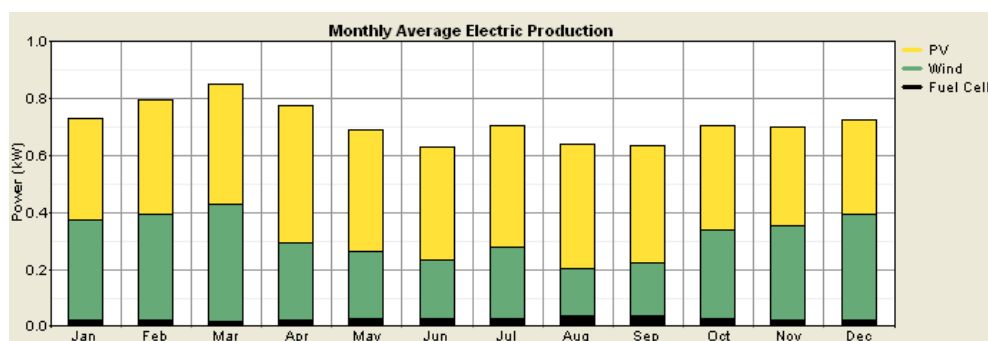


Figura11. Producción anual de electricidad por componente. Programa HOMER.

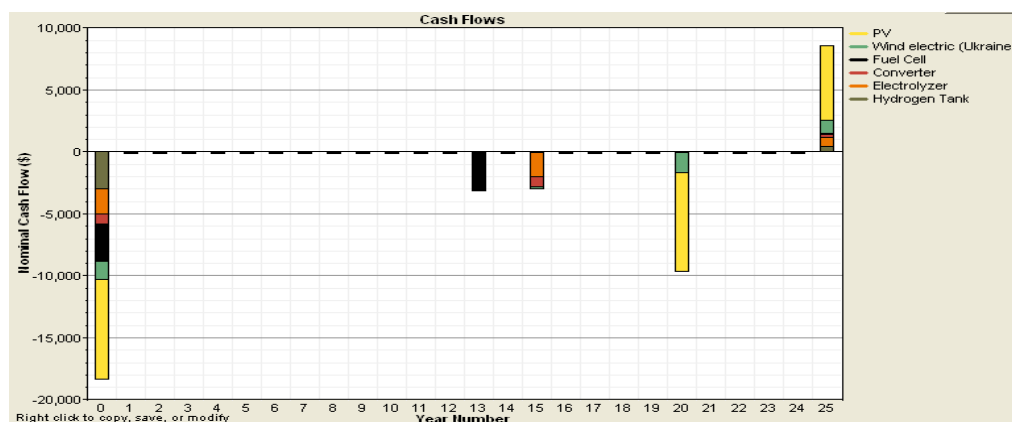
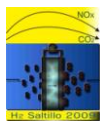


Figura12. Comportamiento del flujo de caja del proyecto en 25 años. Programa HOMER.



IX Congreso Internacional de la SMH, Saltillo 2009

La configuración aerogenerador-celda de combustible, es factible si el promedio de velocidad del viento supera los 6m/s. En este caso la velocidad del viento es de 4.7m/s y debido a esto es más favorable la configuración aerogenerador-panel fotovoltaico-celda de combustible.

En la figura 11 anterior, se puede observar la producción de electricidad de cada componente en el año, el 56% de la energía es suministrada por los paneles fotovoltaicos, el 40% por la turbina eólica y el 4% por la celda de combustible, o sea el 96% de la energía se abastece sin necesidad del funcionamiento de la celda de combustible.

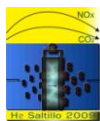
En la figura 12 se representa el análisis económico del proyecto, estimado en 25 años. En este período vemos que se estima que la celda de combustible dure 13 años (para 40000 horas sin fallo) ⁸ y 25 años los paneles y el aerogenerador. El costo del sistema es de \$21700 aproximadamente, el programa HOMER tiene en cuenta también la evaluación del comportamiento de cada componente y su acoplamiento. No obstante los resultados se evaluaron con el programa Matlab, dando como resultado que el electrolizador de 1kW produce 170 l/h de H_2 y 85 l/h de O_2 a 5bar, consumiendo 1kWh del sistema aerogenerador-panel fotovoltaico.

El consumo de la celda es de 0.045kg de H_2 /h ó 0.7 sl/h para 0.06kg/kWh, con 50% de eficiencia. Se aprecia que el electrolizador cumple satisfactoriamente las necesidades de la celda.

4.- Conclusiones

En la actualidad, una serie de factores están impulsando la investigación y el desarrollo de formas alternativas de energía, con el objeto de reemplazar el uso de combustibles fósiles. En este trabajo se aprecian los avances tecnológicos logrados hasta la fecha en el desarrollo de las tecnologías de aprovechamiento de las fuentes renovables para la electrificación de comunidades aisladas. Se ha querido enfatizar en la posibilidad de introducir la tecnología de celdas combustibles del tipo PEM, como una posibilidad viable en la electrificación rural en Cuba; cumpliendo con una demanda promedio, típica de cualquier hogar cubano. Aplicando los softwares de modelación correspondientes, se observa que el sistema compuesto por 2kW de paneles fotovoltaicos de fabricación cubana, aerogenerador Swift rooftop de 1kW, celda de combustible ReliOn® T1000, de 1kW e inversor de 1kW, cumple con la demanda de 3.5kWh al día, típica de los hogares de la zona, en todo el año. Durante la simulación se comprobó que no existe ningún día con falta de electricidad.

El mundo ya se ha trazado una meta en cuanto al hidrógeno y las celdas de combustible, en este sentido ya hoy en día se estudian prototipos con hasta 100000 horas de trabajo sin averías, lo que nos lleva a plantearnos la necesidad de definir un escenario futuro favorable para el desarrollo de esta tecnología. Dada la capacidad de investigación existente en el país en esta materia, resulta atractivo analizar la alternativa de adelantar este



IX Congreso Internacional de la SMH, Saltillo 2009

paso y comenzar antes que se produzcan los cambios, a fin de prever la aparición de un nuevo paradigma que, como muchos otros, cambiará la forma de hacer las cosas en el mundo.

6.- Referencias

- 1- MATLAB: MATrix LABoratory, Manual del usuario. www.mathworks.es/products/matlab
- 2- HOMER: Modelo computacional para evaluar opciones de diseño de sistemas híbridos remotos conectados y no conectados a la red eléctrica. <https://analysis.nrel.gov/homer/>
- 3- PVSYST: Software de PC para el estudio, simulación y análisis de datos para sistemas fotovoltaicos. <http://www.pvsyst.com/ch/>
- 4- Rodríguez Gámez, María. *Integralidad de las fuentes renovables de energía para la electrificación rural*. Centro de investigaciones de Energía Solar, E-mail: gamez@cies.ciges.inf.cu.
- 5- Sarmiento Sera, Antonio. *Sistema híbrido eólico-fotovoltaico*. Revista Energía y tú, No.33, 2006. ISSN 1028-9925.
- 6- Moreno Figueredo, Conrado. *Producción de electricidad con pequeños aerogeneradores*. Revista Energía y tú, No.33, 2006, ISSN 1028-9925.
- 7- Soltura Morales, Rolando. *Mapa eólico de Cuba*. Instituto de Meteorología (INSMET), del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Cuba. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia37/HTML/articulo03.htm>
- 8- Krystal-planet. Compañía promotora y comercializadora de sistemas energéticos renovables y el uso eficiente de la energía. www.kristal-planet.com