

Competitividad de los sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos para la electrificación rural

Competitiveness of the wind-photovoltaic hybrid systems for the rural electrification

Ciaddy Rodríguez-Borges^I, Antonio Sarmiento-Sera^{II}

I. Corporación Eléctrica Nacional, CORPOELEC. Venezuela

Correo electrónico: ciaddyrodriguez@yahoo.es

II. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. CETER. La Habana. Cuba

Recibido: 9 de abril de 2014

Aceptado: 8 de septiembre de 2014

Resumen

La posibilidad de electrificación rural mediante extensión de la red eléctrica o mediante el uso exclusivo de generadores diésel suelen ser soluciones costosas, que además presentan alto impacto ecológico. Este trabajo abordó el planteamiento de opciones de electrificación empleando sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos con bajo respaldo diésel. Los sistemas propuestos están dimensionados para un número de viviendas y nivel de recursos renovables disímiles en función de cada localización. Se abordan distintos rangos de demandas mediante los 4 sistemas híbridos propuestos y se propone un procedimiento simple de ayuda para la selección. Fue realizado un análisis económico que permitió obtener como principal conclusión la comprobación de la mayor competitividad de estos sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos respecto a la generación diésel en función al costo equivalente de la energía y el impacto ambiental para la condición de disponibilidad de recursos renovables de una gran mayoría de regiones de América Latina y el Caribe

Palabras claves: competitividad energética, electrificación rural, sistema híbrido.

Abstract

The possibility of rural electrification by means of extension of the electric net or by the exclusive use of generating diesel are usually expensive solutions, besides presenting this last option high ecological impact. This work approached the electrification options using wind-photovoltaic hybrid systems with low diesel support. These systems are sized for a number of housings and level of resources renewable dissimilar in function to each localization. Different ranges of demands were approached by means of 4 proposed hybrid systems. It was proposed a simple procedure of help for the selection it was carried out an economic analysis that allowed to obtain the main conclusion when checking the biggest competitiveness in these wind-photovoltaic hybrid systems regarding the diesel generation in function to the cost of the energy and the environmental impact for the condition of renewable resources of a great majority of regions of Latin America and the Caribbean.

Key words: energetic competitiveness, rural electrification, hybrid system.

Introducción

Las tecnologías que emplean sistemas híbridos de energía basados en el aprovechamiento de fuentes renovables de energía son consideradas hoy día, como una alternativa apropiada para abordar los problemas de electrificación rural en diversas comunidades, dada la evolución que han presentado estas tecnologías y la disminución de sus precios en los mercados internacionales [1-2], lo cual ha generado que deban valorarse respecto a las tecnologías tradicionales de electrificación (extensión de la red eléctrica o uso generadores diésel) debido a sus elevados costos de operación, baja fiabilidad (compra y transporte de combustibles, mantenimiento, frecuentes averías, entre otras) y los problemas asociados con las emisiones de los combustibles fósiles [3-4].

Entre los aspectos a valorarse para la selección de sistemas de electrificación rural usualmente eran considerados aquellos de índole técnicas y económicas, pero posteriormente se ha encontrado la necesidad de valorar múltiples criterios considerando como relevantes los aspectos ambientales y sociales [4]; debido a los diferentes señalamientos efectuados respecto a las diferencias que pueden hallarse en cada una de las tecnologías de electrificación rural y donde se especifica en el caso de las tecnologías convencionales, las mismas generarán emisiones de gases contaminantes en función al porcentaje de combustible diésel que empleen [4-6].

El análisis de la posibilidad de empleo de fuentes renovables de energía para diversas regiones de América Latina y el Caribe (ALC), viene siendo estudiado por varios especialistas en la materia, quienes han afirmado, que debido a los recursos energéticos presentes las fuentes de energía solar fotovoltaica y eólica, tienen una alta posibilidad de convertirse en propuesta muy factibles para su utilización en la satisfacción de un conjunto de necesidades energéticas de diferentes comunidades rurales, que no cuenta con electrificación, en función a la variación en los costos de las tecnologías [7-8].

En este contexto, este estudio valora la competitividad para la electrificación rural en algunos países de ALC, de un conjunto de sistemas híbridos eólicos fotovoltaicos propuestos (que emplear un reducido respaldo de generación diésel, cercano al 10 %), respecto a los sistemas de generación diésel convencionales, justificando su utilización con respecto a los costos equivalentes de la energía que ofrecen y la posibilidad de una baja contaminación ambiental, demostrándose que mediante un procedimiento sencillo puede seleccionarse un sistema híbrido adecuado, más competitivo en términos económicos y ambientales para la electrificación rural de cada comunidad.

Para comprobar los supuestos de este estudio, se consideró un conjunto de escenarios de disponibilidad de recursos y posibles demandas de energía que suelen estar presentes en comunidades rurales no electrificadas que son comunes para distintas regiones geográficas de América Latina y el Caribe y que ameritan la valoración de tecnologías por contar con: comunidades dispersas sin electrificación y con disponibilidad de recursos energéticos para los cuales es de interés valorar tecnologías competitivas que puedan ser empleadas para la electrificación rural [9-11].

Métodos y Materiales

Los sistemas de generación diésel, pueden ser adquiridos para diferentes necesidades energéticas, a los fines de evitar el sobredimensionamiento, se seleccionó un conjunto de cuatro sistemas híbridos con bajo respaldo diésel, debido a que en estudios anteriores se encontró que las comunidades rurales suelen agruparse en un rango que comprende de 4 hasta 45 viviendas [8], cuyo rangos de demanda diaria van desde 12 kWh a 180 kWh, por lo que al simularse bajo los distintos escenarios de recursos energéticos propuestos y bajo la limitantes de empleo de generación fósil (menor al 10 % de aporte de generación basada en combustibles diésel) se obtuvo la necesidad de contemplar como mínimo 4 sistemas para poder satisfacer la amplia necesidades energéticas, evitando incurrir para algunas comunidades en sistemas sobredimensionados o por el contrario que no satisfagan las condiciones expuestas [12]. Las capacidades de estos equipos se ilustran en la figura 1.

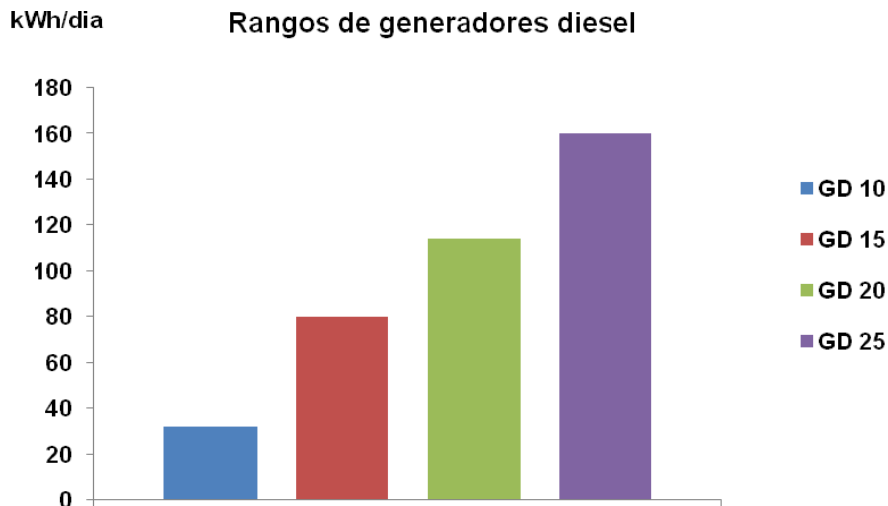


Fig. 1. Conjunto de sistemas híbridos contemplados en función a su generación diésel

Otra de las ventajas que presenta la selección de los cuatro sistemas propuesto (ver Fig. 1) es compromiso entre la conveniencia de manejar una cantidad relativamente pequeña de modelos o sistemas energéticos que faciliten la estandarización del conjunto nacional, así como su montaje, mantenimiento y con la amplitud en la cantidad de sistemas energéticos para acoplar con la menor diferencia posible, los desajustes entre cada caso (vivienda y comunidad) con la opción que más se ajuste a sus características.

Para el dimensionado de sistemas híbridos existen diversos métodos, casi todos en la actualidad basados en el uso de herramientas informáticas, las cuales son de utilidad para evaluar el comportamiento energético. Se eligió el programa *HOMER*, del *National Renewable Energy Laboratory*, NREL, por permitir modelar y evaluar el comportamiento energético de un sistema bajo diversos parámetros técnicos y económicos durante todas las horas del año.

La configuración de los 4 sistemas híbridos propuestos, se presentan a continuación en la tabla 1, los cuales agrupan un conjunto de tecnologías que están siendo usadas a nivel mundial en diversos proyectos, como por ejemplo, en los proyectos de electrificación venezolanos [4].

Tabla 1. Sistemas híbridos y sus componentes

Sistemas Híbridos (SH)	Parámetros				
	FV	Eo	Baterías	Generador	Control-Inversor
	(kWp)	(kW)	(kWh)	(kW)	(5 kW)
SH 10 kW	3,0	3	38,4	10	2
SH 15 kW	5,4	6	76,8	15	2
SH 20 kW	8,4	9	96,0	20	3
SH 25 kW	10,8	12	153,6	25	4

Estos sistemas son denominados en función de la capacidad que presentan para satisfacer determinadas demandas energéticas, por ejemplo, Sistema Híbrido, SH 10 kW, cuya capacidad está dada principalmente por el generador diésel, ya que el mismo *per se*, es capaz de satisfacer toda la demanda; más sin embargo, el acompañamiento de generadores que emplean fuentes renovables (eólico-fotovoltaico), permiten disminuir el porcentaje del aporte de la generación diésel hasta llevarlo a una reducida utilización cercana al 10 %.

La configuración de los sistemas híbridos propuestos, es en paralelo, esta se representa en la figura 2, donde la estrategia de control seleccionada es la del Ciclo de Carga, la cual condiciona que cuando las fuentes renovables o la carga de las baterías no puedan suministrar la demanda instantánea, el sistema diésel asuma toda la carga (plena potencia nominal) hasta cargar las baterías.

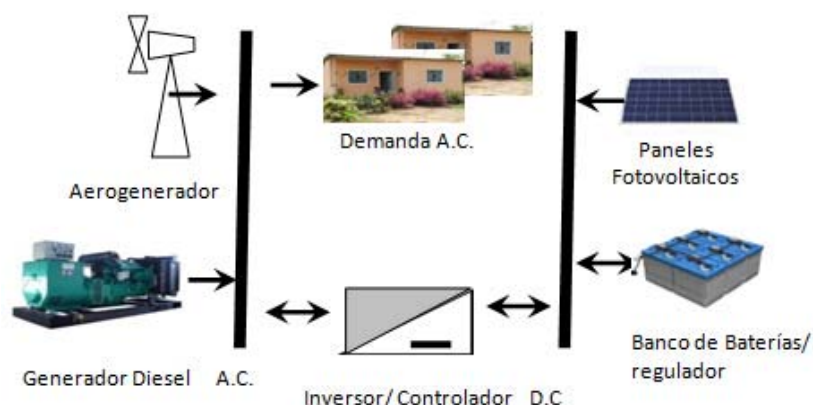


Fig. 2. Sistema híbrido de generación eólica-fotovoltaica-diésel

La figura 2 representa en términos generales a los sistemas híbridos SH, en los cuales cada uno presenta: una determinada potencia fotovoltaica (kWp), eólica (kW), una cantidad de baterías, un generador diésel y una cantidad de inversores bidireccionales (controladores) de 5 kW; por lo que el aporte de cada fuente de generación, estará condicionado a la capacidad dispuesta para cada tipo de generador y a la disponibilidad de recursos energéticos existente en cada comunidad.

El conjunto de tecnologías con el que se procedió a valorar estos sistemas ya ha sido probado para las distintas condiciones climatológicas en algunas regiones de ALC, los costos más representativos de cada uno de sus componentes se presentan a continuación en la tabla 2, para ello se utiliza como unidades monetarias los dólares estadounidenses (\$), se presentan también los costos de operación, mantenimiento y la vida útil de estas tecnologías, asumiéndose en todos los sistemas propuestos una tasa de descuento del 10 % y el costo del combustible diésel a razón de 1,10 \$/L, el cual corresponde al promedio de precio de marzo 2014 de los mercados de ALC. [13].

Tabla 2. Costos de la tecnología para su adquisición, operación y mantenimiento anual

Descripción de tecnologías		Costo de adquisición	Costo Anual de mantenimiento	Vida útil (años)
Módulo fotovoltaico	Monocristalino 24 V y 13 % de eficiencia	1310 \$/kW	10 \$/kW	25
Aerogenerador	3 kW de 24 V en CA con regulador	2630 \$/kW	33 \$/kW	15
Inversor-Controlador	Inversor SMA 5 kW, 48 V, 100 A	730 \$/kW	100 \$	5
Baterías	De plomo ácido, de 2 V, 1000 Ah	501 \$	2 \$/batería	20
Generador motor diésel	Potencia 10, 15, 20 y 25 kW	6782 \$ (10 kW), 7834 \$, 8976 \$ y 10438 \$ respectivamente	2 \$/h. de operación (incluye combustible)	15000 horas de operación

Fuentes: elaboración propia a partir de datos y precios consultados en internet para las marcas y características de los equipos señalados en los siguientes sitios:

Datos y precios

- TECHNOSUM. Techno Sun-Lista de precios para energía solar, paneles Mono cristalino 24 volt y 13 % de eficiencia. <http://www.technosun.com/es/descargas/lista-precios-solar-fotovoltaica.php>
- HOPPECKE. Baterías de plomo ácido, tubulares de 2V, 1000 Ah. http://www.hoppecke.de/content/download/brochures/rp/OPzS_en.pdf
- BORNAY. Aerogenerador de 3 kW de 24 volt en CA con regulador. <http://www.bornay.com/media/download/431>
- SMA Sunny Island. Inversor 5048 5 kW, 48V, 100A con acoplamiento AC y DC. http://www.sppowerunits.co.za/Documents/Datasheet%20-%20SI_6H_8H.pdf
- Motores de generación diésel. Motoresgeneradores Yanmar de 10,15, 20,25 kW de potencia. <http://spanish.alibaba.com/goods/yanmar-Diesel-engine.html>
- Comité de Cooperación de hidrocarburos de América central CCHAC. 2014. Precios promedio de combustibles al consumidor en Centroamérica de 23 de febrero al 01 de Marzo 2014. <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2014/01/Precios-CCHAC-del-23-febrero-al-01-marzo-2014.pdf>

Dentro de la caracterización de los recursos energéticos, se consideró un rango de valores de irradiación solar desde 4 a 7 kWh/m² día y una velocidad promedio del viento desde 3 a 7 m/s; los cuales son representativos del conjunto de condiciones presentes en la amplitud de comunidades rurales ubicadas en distintas regiones de ALC, según los datos de registros satelitales de la agencia NASA [14].

Se asume una variación mensual de la irradiación solar global y de la velocidad del viento que se ilustran en la figura 3 y representativas del comportamiento típico encontrado en las diversas regiones de ALC una vez realizado el análisis del conjunto de datos satelitales suministrado por la agencia NASA para diferentes regiones de ALC [14].

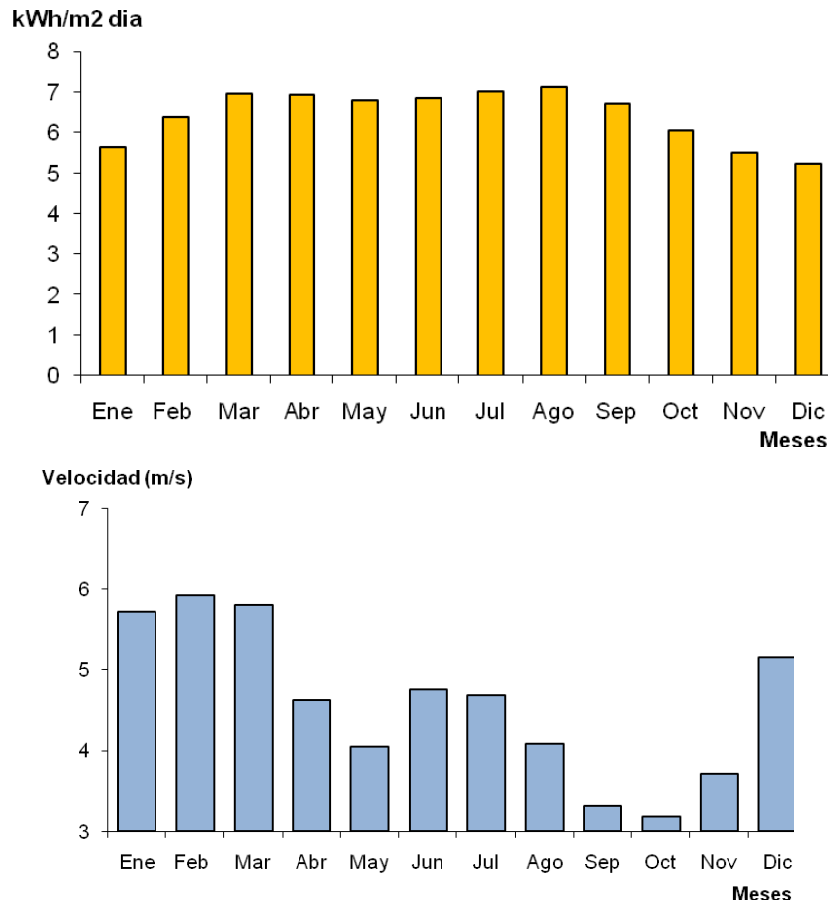


Fig. 3. Comportamiento promedio mensual de Irradiación solar y viento asumido en el estudio

Una de las disyuntivas que se presentan en el dimensionado de sistemas energéticos para electrificación rural, es la determinación de la demanda de energía de la comunidad, siendo importante declarar, que algunas investigaciones suelen reflejar la capacidad del sistema en función a la cantidad de viviendas, pero el criterio manejado en este estudio, es el análisis del consumo total de la comunidad, empleando la cantidad de viviendas solo como referencia al equivalente del consumo energético total, se utiliza un promedio por vivienda de 2 kWh/día, bajo este criterio se presenta una mayor amplitud al reconocer el uso de la energía eléctrica en otras actividades socio productiva en estas comunidades, considerando un rango de consumo total de 12 a 180 kWh/día.

Para el desarrollo del trabajo se emplearon simulaciones con el programa HOMER, contemplando tres variables de entrada (irradiación solar, velocidad de viento y consumo de energía), las cuales fueron probadas para el conjunto de combinaciones en los rangos definidos para cada variable; valorando en cada caso el aporte diésel requerido y los costos de la energía equivalente generada por cada sistema energético propuesto, los resultados obtenidos se presentan a continuación.

Resultados y Discusión

Los resultados de simulaciones realizadas con el sistema SH 10 kW se presentan en la tabla 3, con los cuales fue posible generar un conjunto de curvas de comportamiento de este sistema, para distintas disponibilidades de recursos, de igual forma se procedió con cada uno de los sistemas propuestos.

Tabla 3. Matriz de resultados de simulación del sistema híbrido SH 10 kW

Demanda de la comunidad	Irradiación solar	Velocidad del viento	% FV	% Eo	% GD	Cantidad de viviendas
(kWh/día)	(kWh/m²día)	(m/s)				
12	4	4	51	39	10	6
14	5	4	56	34	10	7
16	6	4	59	30	11	8
18	4	5	34	54	12	9
20	5	5	41	49	10	10
22	6	5	45	44	11	11
24	4	6	28	62	10	12
26	5	6	32	58	10	13
<u>28</u>	<u>6</u>	<u>6</u>	<u>36</u>	<u>53</u>	11	<u>14</u>
30	4	7	23	67	10	15
32	5	7	27	63	10	16
34	6	7	31	59	10	17

Fuente: Elaboración propia, % FV: aporte fotovoltaico; % Eo: aporte eólico; % GD: aporte de diésel

El comportamiento que sigue cada uno de estos sistema estacionalmente fue simulando generándose matrices (tablas de comportamiento) que muestran los distintos aportes de cada fuente de generación, tal es el caso de la tabla 3 generada para el sistema SH 10 kW en la cual puede valorarse para un caso, partiendo por ejemplo de una irradiación solar de 6 kWh/m²día, una velocidad de viento promedio: 6 m/s, que es posible contar con un aporte fotovoltaico del 36 %, eólico de un 53 % y diésel del 11 %, lo que permite suplir un consumo de 28 kWh/día, que es el equivalente a 14 viviendas aproximadamente con un reducido empleo de generación diésel del 11 %.

En la figura 4 se refleja la diferencia de los aportes de cada fuente empleando el HOMER y puede observarse gráficamente la diferencia del sistema diésel puro GD 10 kW y el sistema híbrido SH 10 kW para la demanda de 28 kWh/día, reflejándose en el caso del sistema híbrido que el aporte de cada fuente es variable de mes a mes, en función al comportamiento de los recursos energéticos lo que influye en una variabilidad en cuanto a la contaminación emitida, pero en el promedio anual se mantiene cercana al 10 %.

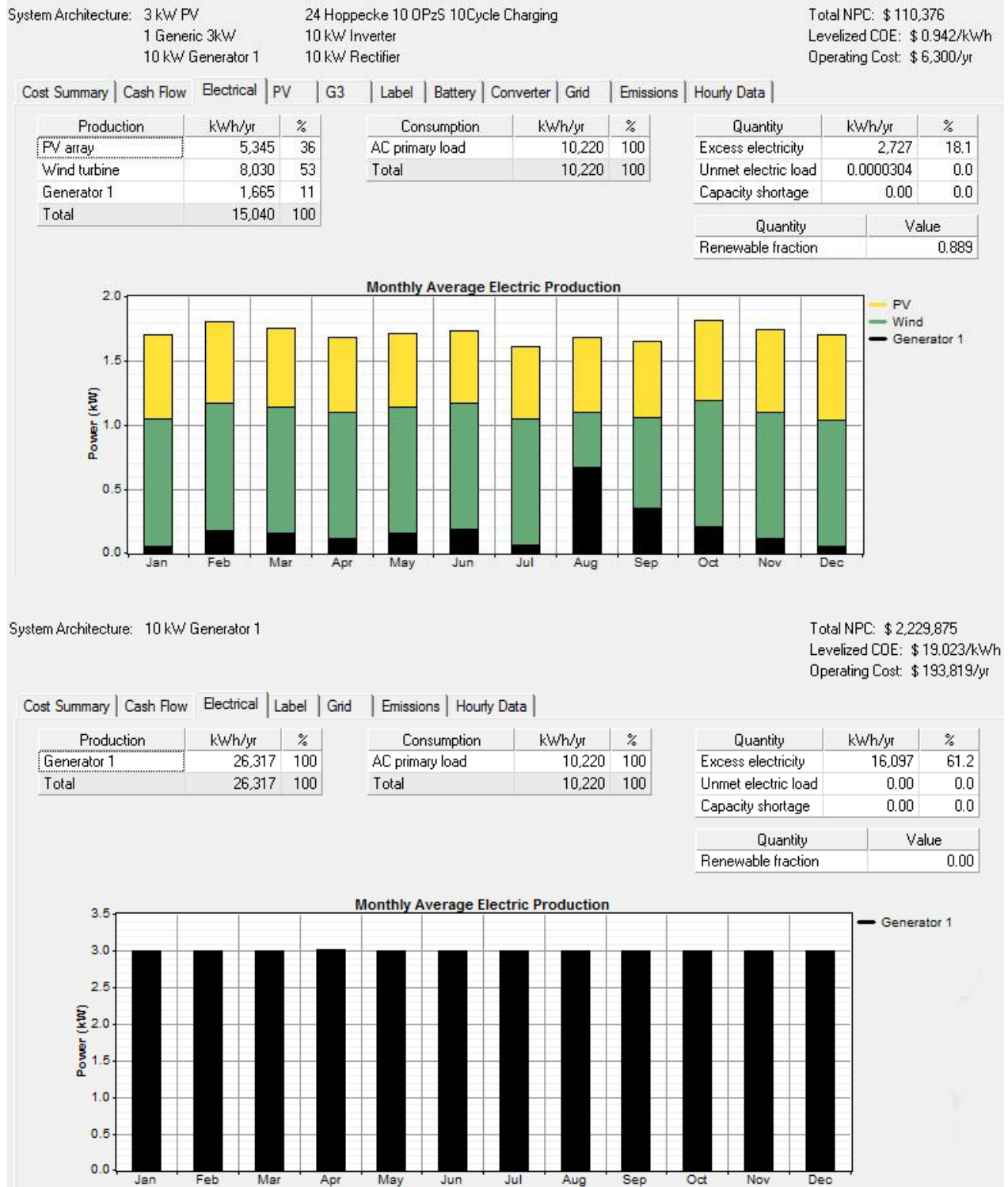


Fig. 4. Comportamiento mensual estimado para SH 10 kW y GD 10 kW para un consumo de 28 kWh/día

A partir de las simulaciones efectuadas, empleando distintas combinaciones de recursos energéticos para los sistemas propuestos, se procedió a sistematizar la combinación de recursos energéticos y consumos para cada sistema, a los fines de poder presentar un conjunto de curvas en las figuras 5 y 6 las cuales contienen 12 puntos de valoración para cada sistema híbrido, considerando consumo desde 12 kWh/día hasta 86 kWh/día, lo que resulta adecuado para el conjunto de comunidades en el estudio.

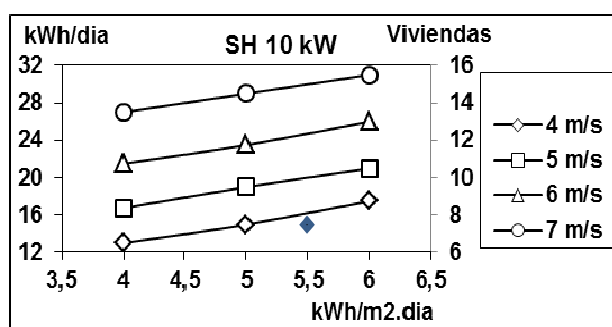


Fig. 5. Sistema Híbrido SH 10 kW

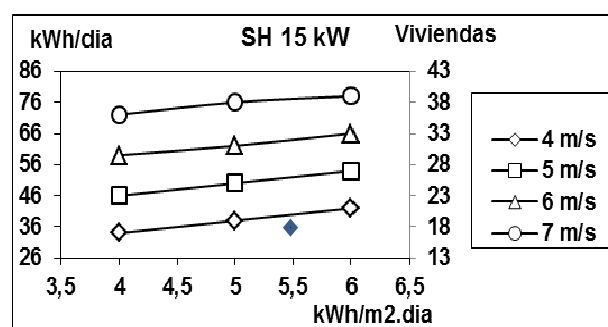


Fig. 6. Sistema Híbrido SH 15 kW

Debido a que existen comunidades con mayores consumos de energía diaria, fue necesario valorar nuevamente el comportamiento energético de los sistemas propuestos por lo que se proponen los sistemas SH 20 kW y SH 25 kW, si se requiere brindar el servicio eléctrico con un porcentaje de diésel cercano al 10 %, para los mismos rangos de recursos energéticos. En las figuras 7 y 8, se presentan el comportamiento reportado para los sistemas antes mencionados.

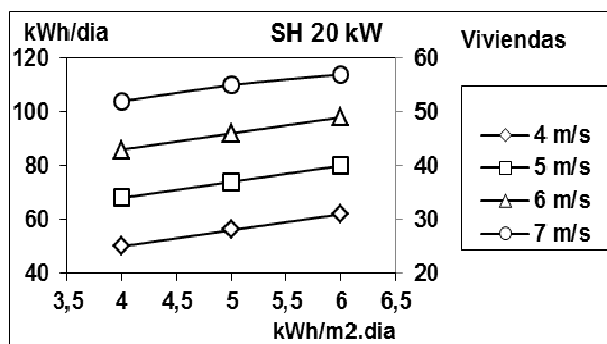


Fig. 7. Sistema Híbrido SH 20 kW

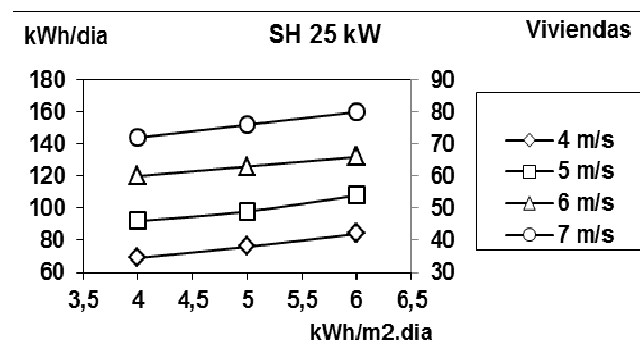


Fig. 8. Sistema Híbrido SH 25 kW

Debido a la oportunidad que brindan estos sistemas de curvas, para emplearse en las valoraciones del conjunto amplio de comunidades en ALC, pueden ser de utilidad para la valoración de estas soluciones tecnológicas. Para demostrar este planteamiento se ilustra un ejemplo con el procedimiento a seguir para la selección del sistema más adecuado, pueden observarse las diferentes condiciones de irradiación solar y de viento.

Se procedió como ejemplo a seleccionar una comunidad que se caracteriza por presentar una demanda de 28 kWh/día (14 viviendas), una irradiación solar de 5,5 (kWh/m² día) y velocidad del viento 3,6 m/s, como valores promedios anual, para la aplicación del procedimiento ilustrativo de este modelo,

Para la selección del sistema híbrido más adecuado para esta comunidad, se procede de la siguiente manera, considerando inicialmente el uso del sistema SH10 kW, se representa un símbolo (♦) para identificar los recursos energéticos de la comunidad, procediéndose a ilustrar en la figura 5 con (♦); si se mantiene el criterio del aporte diésel no mayor del 10 % (basamento efectuado para estas curvas) entonces el sistema SH 10 kW puede suministrar 14 kWh/día (aproximadamente 7 viviendas). Debido a que la comunidad de este ejemplo posee 14 viviendas debe evaluarse otra opción distinta al sistema SH 10 kW.

Por lo que se procede a explorar la posibilidad de instalar el sistema SH 15 kW en la comunidad, representado los recursos energéticos en la figura 6, mediante el símbolo (♦), se obtiene la posibilidad de suministrar hasta 34 kWh/día, con lo que es posible de dotar de servicio eléctrico a 17 viviendas, pero dado que la comunidad posee 14 viviendas, resulta adecuado este sistema, porque el aporte diésel siempre será inferior al 10 %.

El empleo de los sistemas SH 20 kW y SH 25 kW, sería un sobredimensionamiento al estar diseñados para mayores consumos al analizado, por lo que el evaluador deja por sentado que el más adecuado para su empleo es el sistema SH 15 kW.

Para la valoración económica de estos sistemas, fue empleado el indicador de costo equivalente de la energía (CEE: Costo Equivalente de la Energía) [3], que suele usarse para la comparación de la competitividad de las tecnologías de electrificación rural, el análisis de las simulaciones realizadas, permitieron determinar que al variar la fracción de aporte renovable (mediante un análisis de sensibilidad), se presentan distintos costos de energía CEE dependiente del aporte de cada fuente, encontrándose que en cuanto el empleo de aporte diésel se incrementan estos costos, como se expone ilustrativamente en la

figura 9. Las distintas áreas de combinación de tecnologías están representadas en distintos colores y las áreas encerradas en un triángulo y rectángulo corresponde a los sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos SH 10 kW y SH 15 kW, con los de menores costos equivalente de la energía (CEE)

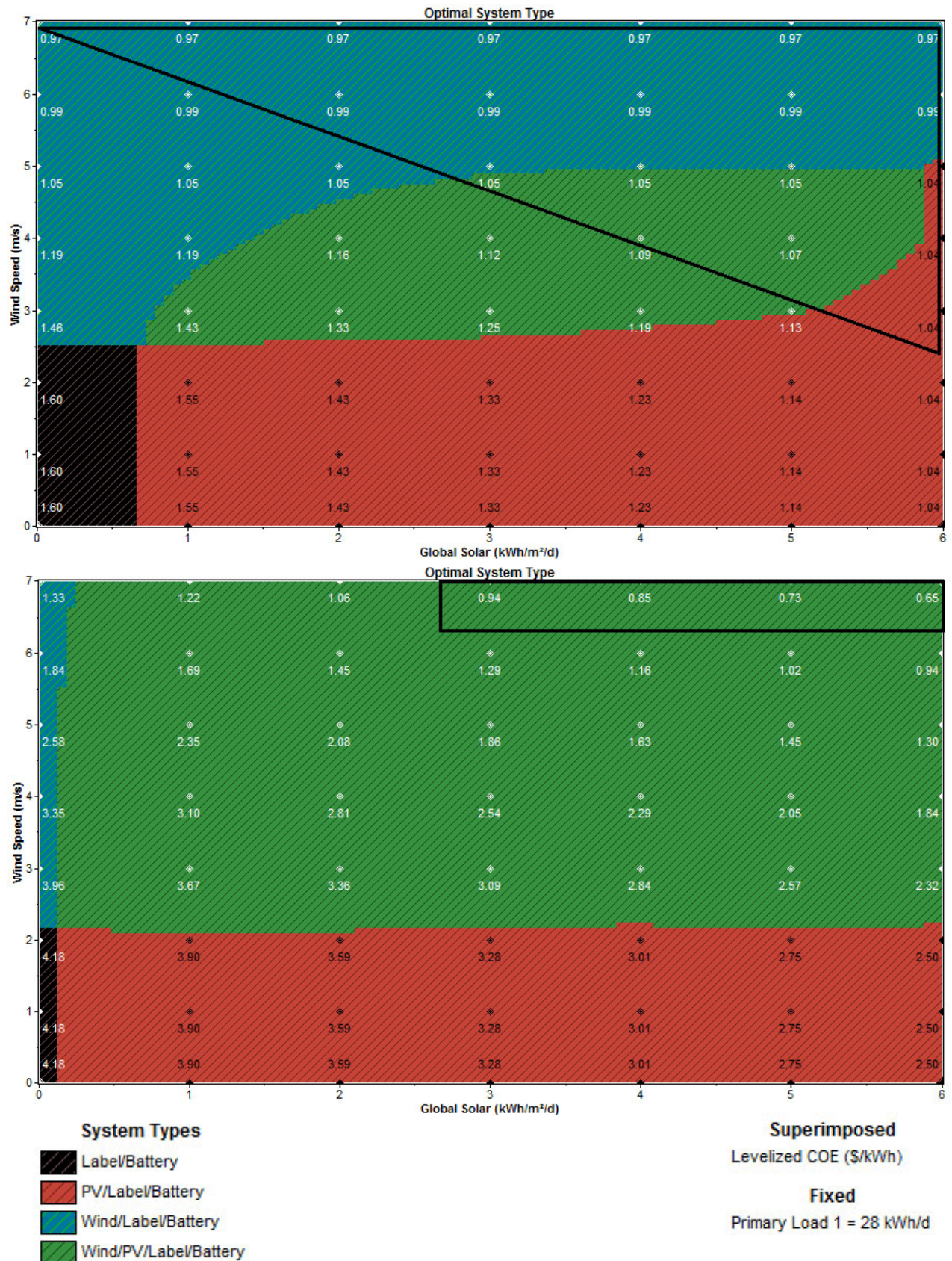


Fig. 9. Análisis de CEE para el SH 10 kW y SH 15 kW para distintas fracciones de aporte renovable

En la figura 9 la generación diésel pura con baterías está representada en negro, la generación eólica con diésel y baterías en azul, los sistemas híbridos fotovoltaico, diésel y baterías en coral y los sistemas híbridos fotovoltaico-eólico, diésel y baterías en verde. Observándose en los sistemas híbridos propuestos valores de CEE de 0,65 \$/kWh a 1,07 \$/kWh, mientras que los CEE obtenidos en los sistemas de generación diésel puro (GD 10 kW y GD 15 kW), el menor valor asciende de 1,60 \$/kWh a 4,18 \$/kWh.

Al desarrollarse este análisis para los otros dos sistemas híbridos propuestos SH 20 kW y SH 25 kW, se obtuvieron resultados similares en su comportamiento con respecto al CEE en función a la proporción de renovables que presentan con respecto a los recursos energéticos disponibles; siendo concluyente que en todos los casos es menor el CEE para los sistemas con una fracción de aporte diésel cercano al 10 %.

Conclusiones

A través de la simulación se valoraron cuatro opciones de sistemas energéticos para la electrificación rural que emplean como fuente principal de generación la energía solar fotovoltaica y eólica, con un requerimiento de respaldo (aporte) diésel menor del 10%, obteniéndose un sistema de curvas que reflejan los comportamientos de los cuatro de sistemas energéticos propuestos para los rangos de recursos energéticos y consumo de energía de un número significativo de comunidades, lo que facilita la selección del sistema más adecuado a cada comunidad.

Los sistemas híbridos eólicos fotovoltaicos propuestos presentan menores costos equivalentes de energía respecto a los sistemas de generación diésel convencionales, los primeros, en el orden de 0,65 \$/kWh a 1,07 \$/kWh, mientras que los sistemas diésel se sitúan entre 1,60 \$/kWh a 4,18 \$/kWh, en dependencia de las características de cada comunidad. Se procedió a valorar simultáneamente el aspecto ambiental, en el cual se observó la predominante contaminación que se genera con el empleo de motores diésel por lo que en el aspecto económico (costo equivalente de la energía), como en el ambiental, los sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos propuestos son más competitivos para la Electrificación Rural para distintas regiones de ALC.

Referencias

1. Díaz Rodríguez J, Pabón Fernández L, Pardo García A. Sistema híbrido de energía utilizando energía solar y red eléctrica. Revista Digital L'ampsakos. 2012;(7):69-77. ISSN 2145-4086.
2. Nema P, Nemab R, Rangnekara S. A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2009;13(8):2096-103. ISSN 1364-0321.
3. Martínez Varona M, Fernández Arocha A, Molina Esquivel E, et al. Grupos electrógenos y su impacto ambiental. Revista de Higiene y Sanidad Ambiental. 2007;(7):217-21. ISSN 1579-1734.
4. Rodríguez Borges C. Valoración integral de sistemas híbridos para la electrificación rural. Múnich, Alemania: GRIN GMBH; 2011. ISBN 978-3-656-91520-1 [Citado 25 de agosto de 2014] Disponible en: <http://www.grin.com/es/e-book/293543/valoracion-integral-de-sistemas-hibridos-para-la-electrificacion-rural>.
5. Gül T. Integrated Analysis of Hybrid Systems for Rural Electrification in Developing Countries, Stockholm, Suecia: Royal Institute of Technology; 2004. p. 7-33 [Citado 25 de agosto de 2014] Disponible en: http://www2.lwr.kth.se/publikationer/pdf/files/lwr_ex_04_26.pdf
6. International Energy Agency. LEA. Perspectivas sobre tecnología energética: Escenarios y estrategias hasta el año 2050. Paris, Francia: OECD/IEA; 2006.[Citado 2 de abril de 2014] Disponible en: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp_Spanish.pdf
7. Kruger P. Alternative Energy Resources: The Quest for Sustainable Energy. USA: John Wiley & Sons, Inc; 2007. ISBN 978-0-471-77208-8.
8. Salaet S, Roca J. Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO₂: algunos posibles escenarios futuros de emisiones. Revista Galega de Economía. 2010;19(1):1-19. ISSN 1132-2799.
9. Rodríguez C, Sarmiento A. Sistemas de información geográfica y su aplicación en los proyectos de electrificación rural. ECO SOLAR. 2010;(32). ISSN 1028-6004.
10. Dolezal A, Majano A, Ochs A, et al. La ruta hacia el futuro para la energía renovable en Centroamérica. Evaluación de la situación actual, Mejores Prácticas, Análisis de brechas. Washington, USA: Worldwatch Institute; 2013.[Citado 6 de Marzo de 2014] Disponible en: http://www.worldwatch.org/system/files/CA_report_highres_spanish_2013_0.pdf
11. Posso F. Desarrollo en Venezuela de un sistema energético basado en el hidrógeno. I: Producción de hidrógeno electrolítico. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia. 2008;31(2):115-24. ISSN 0254-0770.

12. Rodríguez C, Sarmiento A. Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a la electrificación rural. Ingeniería Mecánica. 2011;14(1):13-21. ISSN 1815-5944.
13. Comité De Cooperación De Hidrocarburos De América Central. CCHAS. Precios promedio de combustibles al consumidor en Centroamérica de 23 de febrero al 01 de marzo 2014. Guatemala: Dirección General de Hidrocarburos; 2014.[Citado 6 de Marzo de 2014] Disponible en: <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2014/01/Precios-CCHAC-del-23-febrero-al-01-marzo-2014.pdf>
14. Atmospheric Science Data Center. ASDC. NASA Surface meteorology and Solar Energy: Data Subset. Langley, USA: National Aeronautics and Space Administration, NASA; 2014.[Citado 6 de Marzo de 2014] Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/subset.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>