

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO SOLAR-EÓLICO CON ALMACENAMIENTO MEDIANTE BATERÍAS Y CAPACITORES

DESIGN AND EVALUATION OF A HYBRID SOLAR-WIND SYSTEM WITH STORAGE USING BATTERIES AND CAPACITORS

José Sandino Kaul Uc

Universidad Autónoma de Yucatán, México
jossan.dino@gmail.com

Luis Josué Ricalde Castellanos

Universidad Autónoma de Yucatán, México
lricalde@correo.uady.mx

Manuel Israel Flota Bañuelos

Universidad Autónoma de Yucatán, México
manuel.flota@correo.uady.mx

Eduardo Ernesto Ordoñez López

Universidad Autónoma de Yucatán, México
eduardo.ordonez@correo.uady.mx

Braulio José Cruz Jiménez

Universidad Autónoma de Yucatán, México
braulio.cruz@correo.uady.mx

Recepción: 11/noviembre/2020

Aceptación: 27/noviembre/2020

Resumen

Este artículo presenta el diseño y evaluación de un sistema híbrido solar y eólico con almacenamiento mediante baterías de plomo ácido y supercapacitores. El sistema híbrido aprovecha la complementariedad del recurso solar y eólico presente en la región para generar electricidad con una menor probabilidad de intermitencia. El almacenamiento del sistema híbrido suministrará energía a la demanda de carga si los paneles solares y el aerogenerador no la satisfacen. Los supercapacitores son importantes en el almacenamiento del sistema ya que pueden satisfacer picos en la demanda de energía. Además de poseer dispositivos de almacenamiento, el sistema híbrido está conectado a la red pública de CFE como respaldo de suministro

de energía, en caso de que los dispositivos no puedan responder a la demanda. El objetivo principal del trabajo es el diseño y análisis del comportamiento de los elementos del sistema híbrido que satisface una demanda de carga tipo doméstico bajo condiciones meteorológicas de Mérida, Yucatán.

Palabras Clave: Baterías plomo ácido, costos, sistemas híbridos solar-eólico, supercapacitores.

Abstract

This article presents the design and evaluation of a hybrid solar and wind system with storage using lead acid batteries and supercapacitors. The hybrid system takes advantage of the complementarity of the solar and wind resources present in the region to generate electricity with a lower probability of intermittency. The hybrid system storage will supply power to load demand if the solar panels and wind turbine do not meet it. Supercapacitors are important in system storage as they can meet high energy demands in a short time. In addition to having storage devices, the hybrid system is connected to CFE's public grid as a backup for the power supply, in case the devices cannot respond to demand. The main objective of the work is the design and analysis of the behavior of the elements of the hybrid system that satisfies a domestic energy demand under the meteorological conditions of Mérida, Yucatán.

Keywords: *Costs, hybrid solar-wind systems, lead acid batteries, supercapacitors.*

1. Introducción

El rápido agotamiento de los combustibles fósiles, las emisiones de gases de efecto invernadero y el aumento en el consumo energético mundial, han desembocado una carrera en la búsqueda de fuentes alternas de energía. Las energías solar y eólica son las fuentes renovables que presentan un mayor impulso en la actualidad, sin embargo, el uso separado de estas fuentes para satisfacer una demanda de carga tiene como principal inconveniente su variabilidad. Debido a esto, la disponibilidad de la energía proveniente de sistemas fotovoltaicos y eólicos,

actualmente no pueden competir de forma independiente con las fuentes convencionales de generación.

En México, con una insolación media de 5 kWh/m², el potencial solar es de los más altos del mundo. En cuanto al recurso eólico los estudios del NREL y diversas instituciones mexicanas (ANES, AMDEE, IEE) han cuantificado un potencial superior a los 40,000 MW, siendo las regiones con mayor potencial, el Istmo de Tehuantepec y las penínsulas de Yucatán y Baja California. A nivel regional, Yucatán es considerado como la tercera región con mayor potencial eólico y solar en México. La irradiación solar se estima de 6 kWh/m². Este gran potencial es atractivo para empresas públicas y privadas para el desarrollo de proyectos como plantas de generación eléctrica de pequeña y gran escala con fuentes renovables [Torres, 2006].

Se ha disminuido considerablemente los costos de producción y almacenamiento de diversas fuentes de energía renovables de pequeña escala, y se trabaja a nivel mundial en su integración a las redes eléctricas. La integración de fuentes de energía se observa en primeras instancias en los sistemas híbridos fotovoltaico-eólicos como fuentes complementarias para aplicaciones autónomas y conexiones a la red eléctrica [Ricalde, 2011]. Se realiza investigación en la integración de diversas fuentes de energía de pequeña escala tales como solar térmica, biomasa, celdas de combustible y mareomotriz a nivel mundial y nacional, bajo nuevos y avanzados esquemas de control constituyendo lo que se denomina una red eléctrica inteligente. Dado que los costos de producción de las aplicaciones fotovoltaicas y eólicas se han reducido considerablemente se han convertido en la elección primaria de generación de energía en las redes eléctricas inteligentes.

En la actualidad existen más de mil millones de personas en países en vías de desarrollo que no cuentan con un suministro de electricidad o éste no satisface sus requerimientos. A pesar de que existe una amplia extensión de la red eléctrica, gran parte de la población mundial carece de una fuente de energía eléctrica. De igual manera, se vive una crisis energética debido a que se agotan las reservas de los combustibles derivados del carbón y del petróleo, encareciendo su explotación y consumo.

Los costos de producción y almacenamiento de diversas fuentes de energía renovables de baja capacidad han disminuido sensiblemente debido a una mayor implementación de estas tecnologías. En diversos centros de investigación se trabaja a nivel mundial en la integración de las fuentes de energía renovables a redes eléctricas inteligentes (Smart grids) utilizando avanzados sistemas de monitoreo, comunicaciones y control [Corona, 2014].

El control de una red eléctrica inteligente a pequeña escala, conocida como microred, se realiza mediante un gestor energético, en la cual se puede implementar algoritmos de inteligencia artificial para el control de generación y consumo de energía en la microred.

El problema de la variabilidad de generación de energía usando fuentes renovables por separado se mejora empleando un sistema híbrido. En la región se presenta una complementariedad del recurso solar y eólico, por lo que se integran módulos solares y aerogeneradores al diseño. El uso de sistemas híbridos eólico-fotovoltaico con almacenamiento generalmente de baterías plomo-ácido. Sin embargo, un sistema de almacenamiento mediante supercapacitores tiene múltiples ventajas como el suministro de una gran cantidad de energía en un periodo corto de tiempo. Por tanto, el objetivo es diseñar una microred eléctrica compuesta por fuentes de generación fotovoltaicas y eólicas, almacenamiento mediante baterías de plomo ácido y supercapacitores, con la evaluación del sistema diseñado mediante datos meteorológicos disponibles en la región.

2. Métodos

Para el diseño y análisis del comportamiento de los elementos del sistema híbrido para satisfacer la demanda de carga tipo doméstico se evalúa las variables meteorológicas disponibles en el sitio de estudio, así como la demanda de carga. Con base en el análisis se proponen los elementos del sistema.

VARIABLES METEOROLÓGICAS Y DEMANDA DE CARGA

Los datos meteorológicos empleados para este análisis fueron proporcionados por el laboratorio de energías renovables de la facultad de ingeniería UADY. Los

datos de demanda de carga fueron medidos en una casa típica en la ciudad de Mérida. Los datos en este estudio corresponden a promedios de cada minuto, por lo que los análisis fueron hechos con ese intervalo de tiempo.

El tiempo de análisis fue de dos días, debido a que se muestran mejores de resultados con respecto a las baterías. Se tuvieron 48 horas de datos, tanto en los datos meteorológicos como en las mediciones de carga. Los datos meteorológicos corresponden a dos días típicos consecutivos del mes de febrero de 2019. Los resultados se muestran en las figuras 1 a 3.

La gráfica de radiación muestra dos días consecutivos con una diferencia significativa en cuanto a la intermitencia en las mediciones. La elección de estos días es para tener un mejor análisis en el desempeño del sistema híbrido en estudio. Se observan valores de radiación máximos de aproximadamente 900 W/m^2 .

En la figura 2 se observan las mediciones de temperatura ambiente de los días consecutivos, se tiene una temperatura ambiente pico de $31 \text{ }^\circ\text{C}$.

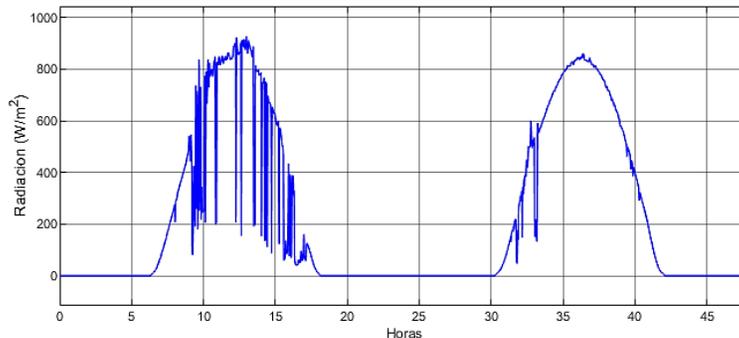


Figura 1 Radiación solar medida (días típicos febrero).

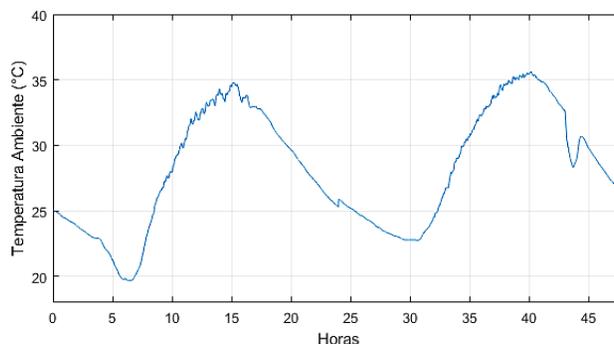


Figura 2 Temperatura ambiente medido (días típicos febrero).

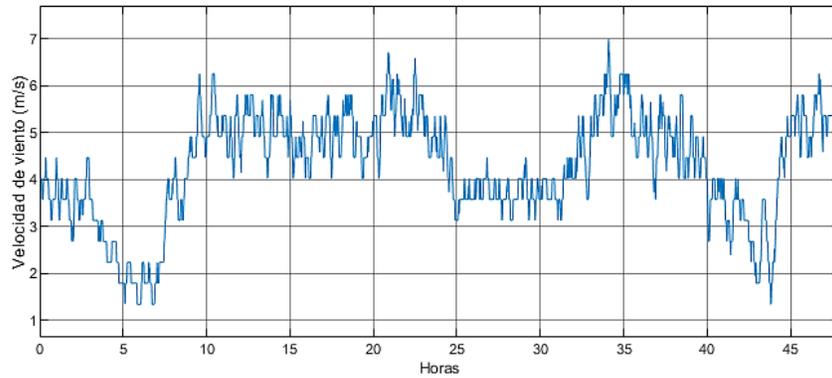


Figura 3 Velocidad de viento (días típicos de febrero).

La velocidad de viento se muestra en la figura 3, se observa que tiene un valor mínimo de aproximadamente de 1.5 m/s y un valor máximo de aproximadamente 7 m/s, en el periodo en estudio. Es importante observar que los datos tienen un comportamiento escalonado, esto es debido a la resolución de los sensores de medición. Las mediciones de la demanda de carga de la casa típica se realizaron mediante un analizador de calidad de energía marca Fluke Modelo 435. En la casa se obtuvieron medidas de potencia en cada línea (dos líneas, 220 V) de suministro de energía de la red pública CFE. En la figura 4 se muestra la demanda de carga.

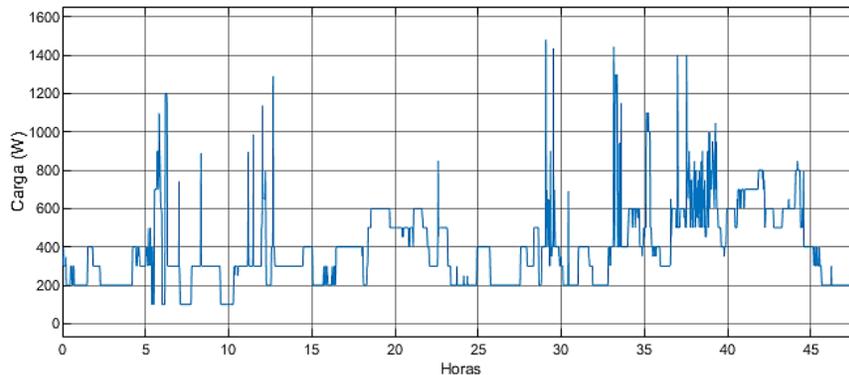


Figura 4 Demanda de carga de cada típica de dos días consecutivos.

Con los datos de temperatura ambiente, se calcula la temperatura alcanzada por los módulos solares, el cual está directamente relacionado con la generación de potencia, figura 5. Con base en estos datos meteorológicos se realiza el análisis de desempeño del sistema híbrido.

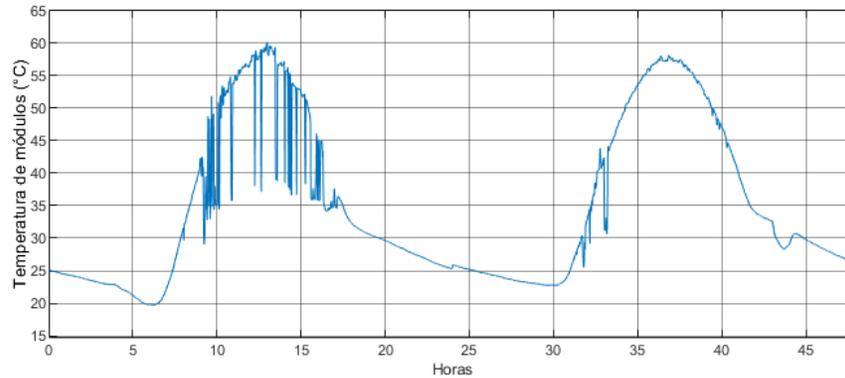


Figura 5 Temperatura calculada de los módulos solares tomando en cuenta las características, temperatura ambiente y radiación solar.

Elementos del sistema híbrido

Los módulos solares, aerogenerador, baterías y capacitores empleados en el sistema híbrido tienen las siguientes características.

En la tabla 1 se muestra las características del módulo empleado. Modelo Trina Solar TSM-315 PA14A.08 de 315 W.

Tabla 1 Características de módulos fotovoltaicos.

Características de módulos	
Potencia nominal	315 W
Voltaje circuito abierto (V_{oc})	46 V
Corriente corto circuito (I_{sc})	8.86 A
Voltaje máxima potencia (V_{mp})	37.9 V
Corriente máxima potencia (I_{mp})	8.38 A
Número de celdas por módulo	72

El modelo de aerogenerador empleado es Aeolos-H 2 kW con potencia nominal de 2 kW. En la tabla 2 y figura 6 se muestran las características del aerogenerador.

Tabla 2 Características de aerogenerador.

Modelo	Aeolos-H 2 kW
Potencia nominal	2 kW
Velocidad nominal	12 m/s
Velocidad de inicio	3 m/s
Velocidad de corte	25 m/s
Diámetro de rotor	4 m

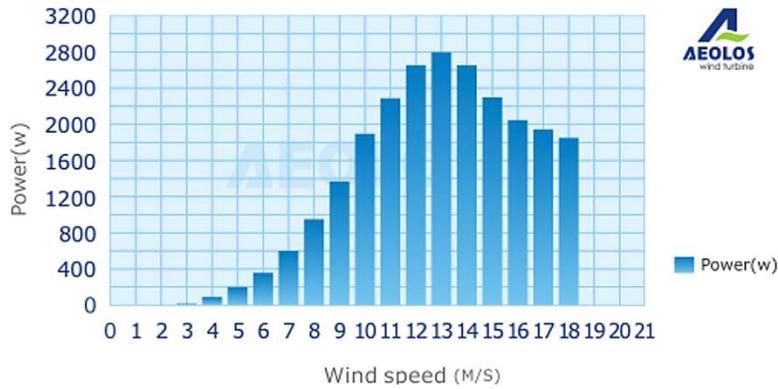


Figura 6 Curva de potencia de aerogenerador, proporcionado por el fabricante.

El modelo de batería empleado es Trojan J185H-AC y los capacitores son 48 V SCM AVX, tabla 3. En la figura 7 se muestra la configuración del sistema híbrido a analizar.

Tabla 3 Características de sistema de almacenamiento.

	Baterías	Banco Capacitores
Modelo	Trojan J185H-AC	48 V SCM AVX
Almacenamiento	5,980.00 kWh (dos baterías)	52.14 Wh
SOC mínimo	20 %	
Capacitancia		165 F
Corriente Pico		2,165.80 A

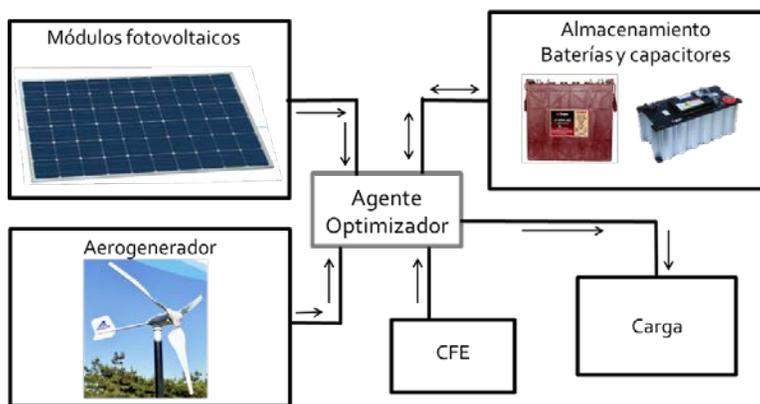


Figura 7 Configuración de sistema híbrido.

En la configuración del sistema híbrido se consideran los módulos fotovoltaicos y aerogeneradores como dispositivos de generación. El almacenamiento se realiza

mediante las baterías y los capacitores. De igual manera existe un respaldo de la red eléctrica pública de CFE. Se obtiene en primera medida una configuración óptima que se muestra en la tabla 4.

Tabla 4 Configuración de sistema híbrido.

Configuración de sistema híbrido a analizar	
No. Módulos fotovoltaicos (315 W)	2
No. Aerogeneradores (2 kW)	1
No. Baterías (2.99 kWh)	2
No. Banco de Capacitores (52.14 Wh)	1

En cuanto a las baterías, se propone dividir equitativamente su capacidad en dos sub-bancos. Es decir, como el sistema tendrá dos baterías, cada sub-banco tendrá una batería. La finalidad de esta división es para realizar una gestión de cargas del sistema, que se describirá en la siguiente sección.

Las baterías almacenarán o suministrarán energía para satisfacer la demanda de carga, siempre y cuando se encuentren entre los límites permisibles.

En el diagrama de flujo (figura 8) se observa que, si la generación de energía por medio de los módulos fotovoltaicos y el aerogenerador es mayor a la demanda de carga, entonces esa diferencia se almacenará en el banco de baterías.

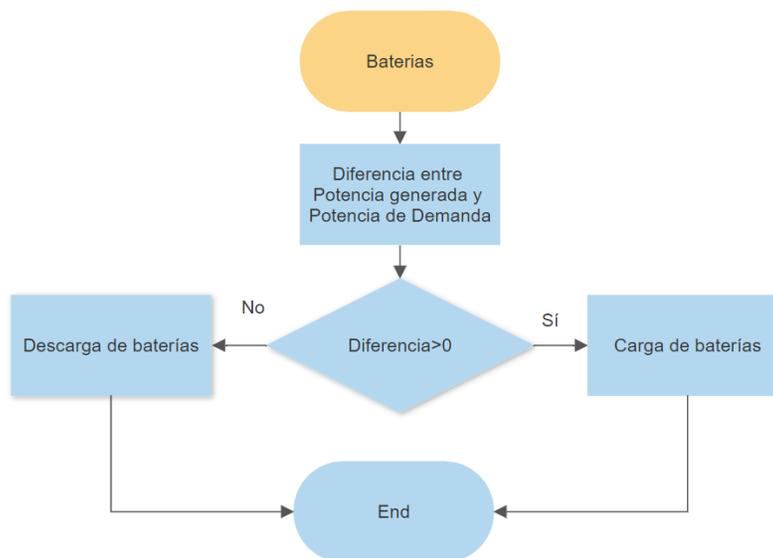


Figura 8 Diagrama de la función lógica para carga de baterías.

En caso de que la demanda de carga sea mayor, entonces las baterías suministrarán la energía necesaria.

En esta sección del modelo se realiza un análisis de las cargas, así como la gestión de ellas para el sistema híbrido. Se mencionan los principios que se proponen para la gestión de cargas:

La prioridad es la satisfacción de la demanda de carga en todo momento. En caso de que los módulos fotovoltaicos y/o aerogenerador no satisfagan esa demanda, la energía faltante se extrae del banco de baterías.

Se dará prioridad sobre el uso de la energía generada por los módulos fotovoltaicos y el aerogenerador que el suministrado por las baterías. Se procura tener el menor número de ciclos de carga y descarga de las baterías.

El banco de baterías se divide equitativamente en dos partes, con la finalidad de asignarle a cada sub-banco una función ya sea de carga o descarga. Esto contribuirá a un mayor tiempo de vida de las baterías.

Si en un sub-banco asignado para descarga llega a un estado de carga (SOC) mínimo, entonces este sub-banco se le reasignará la función de carga, mientras el otro sub-banco pasará de tener la función de carga a descarga (a pesar de que éste no haya llegado al estado de carga (SOC) máximo.

Si en un sub-banco asignado para carga llega a un estado de carga (SOC) máximo, es decir que la batería este completamente llena, éste se le reasignará como descarga y el otro sub-banco como carga (a pesar de que este no haya llegado al estado de carga (SOC) mínimo.

No se puede extraer energía de las baterías si estas se encuentran en el estado de carga mínimo. Existe una prioridad sobre la satisfacción de la demanda de carga que el almacenamiento de energía en cada momento.

Se procura reducir escenarios donde los módulos fotovoltaicos, aerogeneradores y baterías no puedan satisfacer la demanda de carga.

La asignación de las funciones de carga y descarga a cada sub-banco depende del estado inicial de carga:

Si los estados de carga iniciales son iguales, se asigna el primer sub-banco la función de carga y al segundo como descarga.

Si son diferentes, el de mayor SOC tendrá la función de descarga y el otro de carga. Se asignarán banderas dentro de los bloques de cada sub-banco para determinar si no se ha llegado a un SOC mínimo o el máximo. Si el valor de la bandera es 0, significa que se encuentra en un estado intermedio, si es 1, significa que se encuentra en el SOC mínimo, y si es 2, significa que se encuentra en el SOC máximo. De esta manera el gestor podrá determinar el cambio de funciones de los sub-bancos.

Si la demanda de carga es superior a un límite superior propuesto (generalmente mayor a 1000 W) y los módulos fotovoltaicos y aerogenerador no pueden satisfacer esta demanda, la potencia se extraerá de los capacitores, debido a su alta velocidad de carga y descarga.

Con base en estas estrategias se diseña el modelo en cual se pone a prueba la gestión de cargas. En los resultados se varía algunos parámetros con la finalidad de estudiar su comportamiento. Es importante mencionar que esta gestión de cargas no es la que se pretende alcanzar con la optimización, debido a que no se toma en cuenta factores como predicciones y costos.

3. Resultados

Desempeño de sistema híbrido

En esta sección se muestra los resultados de la simulación del sistema híbrido, analizando las cargas enviadas a los diferentes elementos, así como el costo de operación. Para realizar la simulación se muestran los parámetros usados en la tabla 5. Las simulaciones se realizaron con SIMULINK.

En las figuras 9 y 10 se muestra la potencia calculada de los módulos fotovoltaicos y aerogenerador. En la figura 11 se realiza una comparación de la potencia total de generación (módulos fotovoltaicos más aerogenerador) con la demanda de carga. En la figura 11 se observa que, en el periodo de estudio, la demanda de carga es mayormente superior en las horas donde no hay radiación solar, es decir, el aerogenerador no satisface la demanda. En las horas antes del amanecer, la demanda de carga es elevada, la velocidad de viento es baja y la radiación solar es nula, por lo que el sistema de almacenamiento y red eléctrica deberán satisfacerla.

En las figuras 12 y 13 se muestra el flujo de potencia hacia y desde las baterías en los momentos de déficit y exceso de generación.

Tabla 5 Características de simulación.

Características de simulación	
No. Módulos fotovoltaicos (315 W)	2
No. Aerogeneradores (2 kW)	1
No. Baterías (2.99 kWh)	2
No. Banco de Capacitores (52.14 Wh)	1
SOC mínimo baterías	20%
SOC mínimo capacitores	20%
SOC inicial Sub-banco baterías 1	80%
SOC inicial Sub-banco baterías 2	80%
SOC inicial Capacitores	0%
Límite máximo de carga para suministro de capacitores	800 W
Fixed-step size (fundamental simple time)	0.001

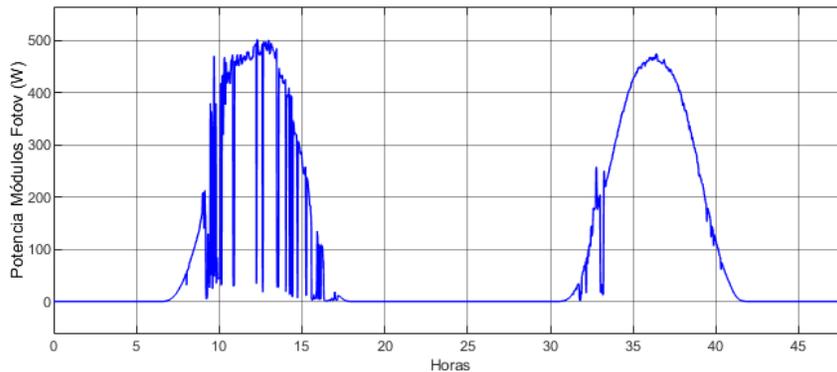


Figura 9 Potencia de módulos fotovoltaicos.

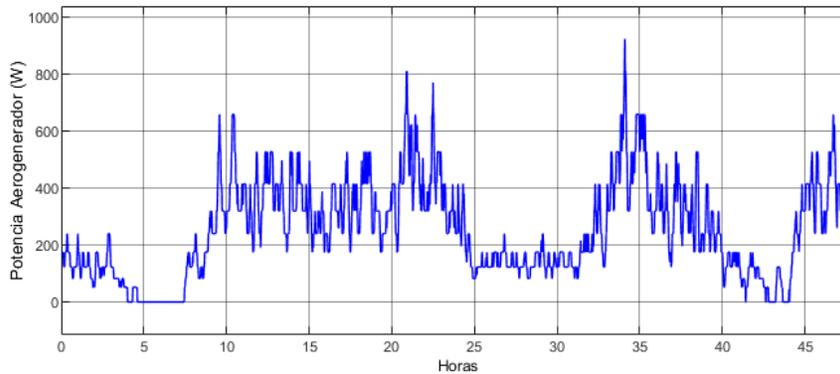


Figura 10 Potencia de aerogenerador.

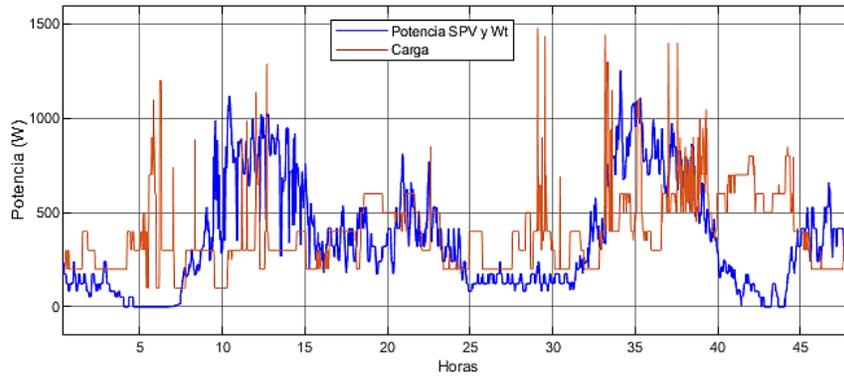


Figura 11 Potencia generada vs demanda de carga.

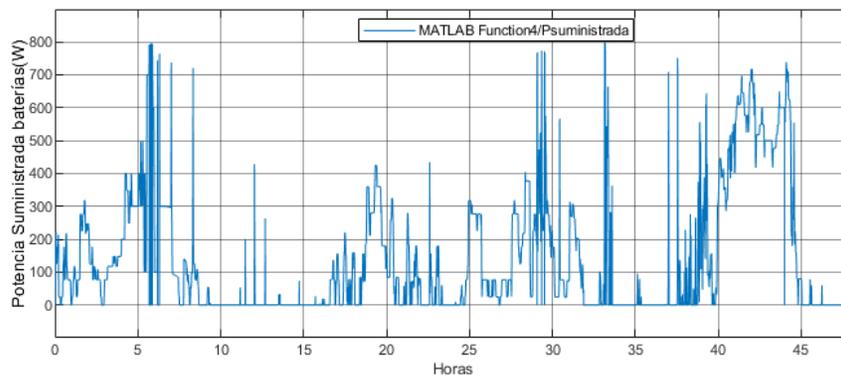


Figura 12 Potencia suministrada por las baterías.

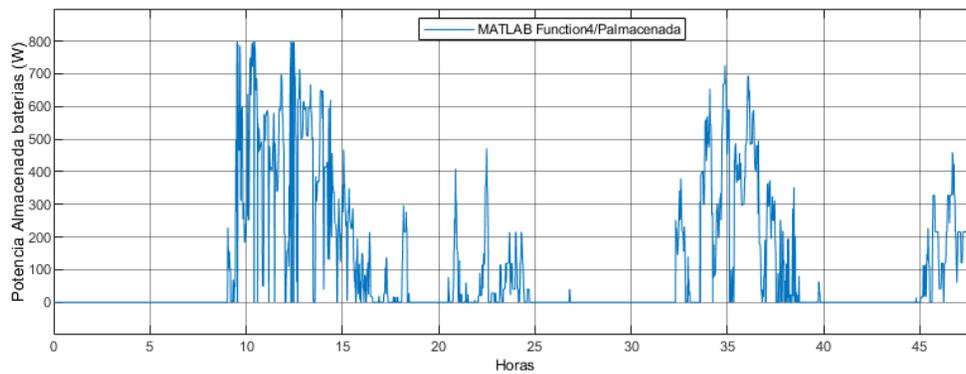


Figura 13 Potencia almacenada por las baterías.

Cuando la potencia generada es superior a la demanda de carga, las baterías tendrán que almacenar la energía. En la figura 12 se muestra la curva de potencia almacenada por las baterías. En caso de que la diferencia entre la demanda de carga y la potencia generada sea superior a 900 W en un instante dado, los

supercapacitores entregarán la energía necesaria. En el primer día de simulación se observa picos de potencia (figura 4) los cuales superan los 900 W, en estos picos de potencia los supercapacitores suministrarán la energía necesaria, los picos de potencia identificados se muestran en la tabla 6. La energía de los picos de potencia no excede la capacidad nominal de los supercapacitores, por lo que mantienen un buen desempeño.

Tabla 6 Picos de potencia registrados en el primer día de prueba.

Hora	Tiempo	Potencia	Energía
5:50 am	1 min	1,097 W	18.28 Wh
6:15 am	2.5 min	1,200 W	50 Wh
11:30 am	1 min	986 W	16.43 Wh
12:00	1 min	1,136 W	18.93 Wh
12:40	1 min	1,289 W	21.48 Wh

En cuanto al estado de carga de las baterías se observan en las figuras 14 y 15. Los dos sub_bancos tienen un estado de carga inicial de 0.8 y al final del periodo de prueba el sub_banco 1 tiene un estado de carga de 0.35 mientras que el sub_banco 2 de 0.77. Por tanto, en el periodo de estudio, la energía generada por los módulos fotovoltaicos y aerogenerador es menor a la energía demandada por la carga. Durante la simulación se presentaron casos en los que no se puede satisfacer la demanda de carga debido a que existe una gran demanda y los capacitores están en su estado de carga mínimo. De igual manera hay casos en los que existe un excedente en la generación de energía.

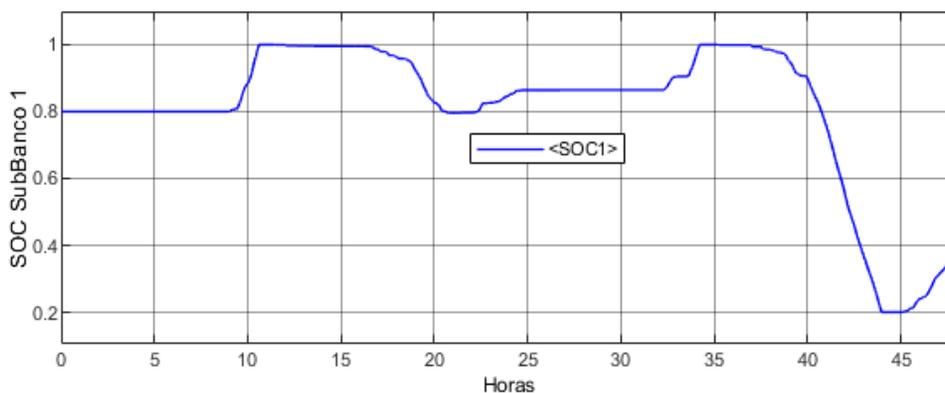


Figura 14 Estado de carga de Sub_banco 1.

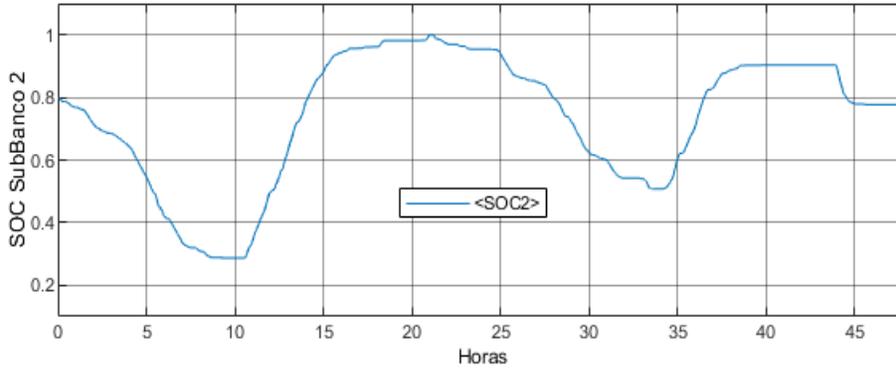


Figura 15 Estado de carga de Sub_banco 2.

Análisis energético

En esta sección se muestra las energías generadas, consumidas, almacenadas y suministradas en el periodo de estudio de 48 horas, tabla 7. En cuanto a costos, la figura 16 muestra la evolución de costos a lo largo del periodo de análisis.

Tabla 7 Resumen energético de desempeño.

Tipo de energías	Energía (Wh)
Demanda de carga	18,670.00
Módulos fotovoltaicos	5,007.00
Aerogenerador	12,100.00
Almacenada en baterías	4,972.00
Suministrada por baterías	6,447.00
Almacenada por capacitores	121.30
Suministrada por capacitores	79.40
Faltante (Red eléctrica)	258.50
Excedente	126.30
Costo de operación en periodo	\$ 22.40

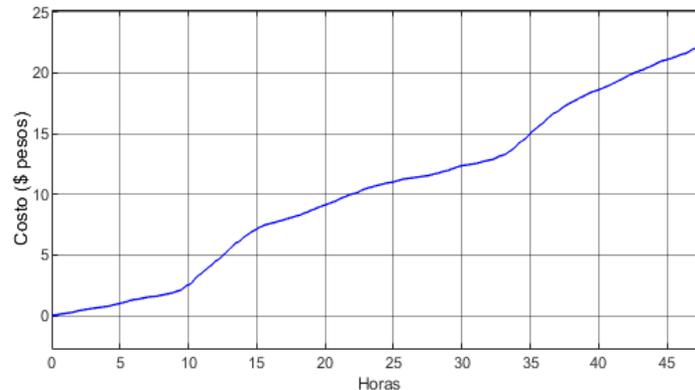


Figura 16 Incremento de los costos a lo largo del periodo de análisis.

4. Discusión

Los resultados muestran que, para dos días elegidos, el costo de funcionamiento del sistema es de \$22.40 pesos. La demanda de carga total de este periodo de tiempo analizado es de 18.67 kWh, mientras que la generación energética de los módulos fotovoltaicos y aerogenerador fue de 5.00 kWh y 12.10 kWh; se observa que la generación es inferior a la demanda de carga, sin embargo, se logró satisfacer la carga por las baterías. Es importante mencionar que en el primer día se tuvo muchas nubosidades por lo que la generación fotovoltaica es baja. La cantidad de energía almacenada por las baterías fue de 4.97 kWh y la suministrada fue de 6.45 kWh. En cuanto a los capacitores, estos son elementos que pueden suministrar potencia elevada en un periodo de tiempo corto, sin embargo, tienen una capacidad de almacenamiento reducida, en comparación de las baterías de plomo ácido; la energía almacenada y suministrada por los capacitores es de 0.12 kWh y 0.08 kWh, respectivamente. La energía que no es suministrada por las baterías, módulos fotovoltaicos y el aerogenerador para satisfacer la demanda de carga es suministrada por la red pública de CFE, ésta fue de 0.26 kWh. El bajo suministro de energía por la CFE es debido a un buen dimensionamiento del sistema híbrido.

5. Conclusiones

Este trabajo presenta el diseño y evaluación de un sistema híbrido solar-eólico con almacenamiento mediante baterías plomo-ácido y supercapacitores. La carga a satisfacer por el sistema híbrido es de tipo doméstico, el sistema está interconectado a la red pública de CFE como un respaldo en el suministro de electricidad en el caso de déficit en la generación por los módulos solares y aerogeneradores. El sistema de almacenamiento se divide en dos sub-bancos para tener un mejor desempeño y aumentar el tiempo de vida de las baterías, de igual manera, los supercapacitores se encuentran en el sistema de almacenamiento el cual provee potencia a la demanda, cuando éste es elevado en un periodo dado. El modelo de sistema híbrido se implementó en MATLAB/SIMULINK.

Los elementos del sistema híbrido diseñado satisfacen la demanda de carga doméstica de manera favorable debido a que la combinación de paneles solares con aerogeneradores proporciona una mejor disponibilidad de energía generada en todo momento. En periodos de nula o baja generación, la demanda se satisface mediante la red pública de CFE, sin embargo, fue de apenas 0.26 kWh, para el periodo de estudio (2 días). En periodos en donde la demanda de energía fue elevada (800 W) en pocos segundos, fue satisfecha por los supercapacitores.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Ashari M; Nayar C. (1999) An Optimum Dispatch Strategy using set points for a Photovoltaic (PV)–Diesel-Battery Hybrid Power System, *Solar Energy* 66, 1-9.
- [2] Ávila D. P., Alesanco G. R., Veliz A. J., (2011). Sistemas híbridos con base en la energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras, *Ingeniería Mecánica*, vol. 14, no. 1.
- [3] Buíel E., (2006) Development of lead-carbon hybrid battery/super capacitors. *Proc AdvCapacit World Summit 2006*; 2006:17–9.
- [4] Catzin G., (2011). Predicción de la velocidad del viento mediante redes neuronales de alto orden entrenadas con el filtro extendido de kalman. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- [5] Corona V., (2014). Control de voltaje mediante inversores fotovoltaicos en redes eléctricas inteligentes, Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida.
- [6] Gámez M., (2015). Optimización basada en redes neuroanles recurrentes para la operación de una micro-red de energía eléctrica. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. Unidad Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- [7] Razak N., Othman M., y Musirin I., (2010). Optimal sizing and operational strategy of hybrid renewable energy system using homer. 2010 4th International Power Engineering and Optimization, 495-501.

- [8] Muzaffar A., Basheer M., Deshmukh K., Thirumalai J., (2019) A review on recent advances in hybrid supercapacitors: Design, fabrication and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 101 (2019) 123–145.
- [9] Ricalde L. J., Ordonez E., Gamez M., y Sanchez E. N., (2011). Design of a smart grid management system with renewable energy generation. *IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications In Smart Grid*, 1-4.
- [10] Rubio E., (2016). Administración de flujo de potencia entre sistemas híbridos fotovoltaico-celda de combustible y el almacenamiento por medio de redes neuronales de alto orden. Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.