

Analysis of the operation of a lead acid battery in a stand-alone hybrid system

Lata- Garcia Juan¹, Acosta José¹, Gómez Álvaro¹, Cárdenas David¹, Vega Nino¹, Gary Ampuño¹

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, jlatag@ups.edu.ec, jacostao@est.ups.edu.ec, agomezg@est.ups.edu.ec, dcardenasv@ups.edu.ec, nvega@ups.edu.ec, gampuno@ups.edu.ec

Abstract— An energy system is based on the ability to generate enough energy to meet demand at reasonable prices under appropriate environmental conditions and with high service reliability. Therefore, the storage of electrical energy has been a challenge in the implementation of energy systems, since different factors affect the generation of electrical energy. The batteries allow to store excess energy from renewable generation sources and then deliver it in certain periods in which it is necessary to improve the service, for example: voltage level, energy cost, reliability, loss levels, satisfy the load etc. What is proposed in the current study is to analyze the operation in an autonomous system, the state of charge and discharge (SoC), are critical factors to understand the state of a battery in use. The results show that the cost of replacement, operation and maintenance of the battery bank are the highest in the system, the bank's autonomy is 27.2 hours, the cost of storage wear is 0.419 \$/kWh

Keywords— battery, discharge, Energy, hybrid, lead acid

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.68>
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Análisis del Funcionamiento de una Batería de Plomo Acido en un Sistema Híbrido Autónomo.

Lata- Garcia Juan¹, Acosta José¹, Gómez Álvaro¹, Cárdenas David¹, Vega Nino¹, Gary Ampuño¹

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, jlatag@ups.edu.ec, jacostao@est.ups.edu.ec, agomezg@est.ups.edu.ec, dcardenasv@ups.edu.ec, nvega@ups.edu.ec, gampuno@ups.edu.ec

Resumen- Un sistema de energía se basa en la capacidad de generar suficiente energía para satisfacer la demanda a precios razonables en condiciones ambientales adecuados y con una alta confiabilidad de servicio. Por lo tanto, el almacenamiento de energía eléctrica ha sido un desafío en la implementación de sistemas de energía, ya que diferentes factores afectan la generación de energía eléctrica. Las baterías permiten almacenar la energía en exceso proveniente de las fuentes de generación renovable para luego ser entregada en ciertos periodos en los que es necesario mejorar el servicio, por ejemplo: nivel de voltaje, costo de energía, confiabilidad, niveles de pérdida, satisfacer la carga etc. Lo que se propone en el estudio actual es analizar el funcionamiento en un sistema autónomo, el estado de carga y descarga (SoC), son factores críticos para comprender el estado de una batería en uso. Los resultados muestran que el costo de reemplazo, la operación y el mantenimiento del banco de baterías son los más altos del sistema, la autonomía del banco es de 27.2 horas, el costo de desgaste de almacenamiento es de 0.419 \$ / kWh.

Palabras claves— Batería, descarga, energía, híbrido, plomo ácido

I. INTRODUCCIÓN

El incremento de la demanda energética de la población, no solo se debe la expansión demográfica sino a una sociedad consumista y ansiosa de satisfacer sus necesidades para su bienestar y entretenimiento. Debido a ésta problemática se hace dominante el uso y desarrollo de nuevas fuentes de energía para reemplazar los requerimientos crecientes de la actividad humana y de la industria [1].

Desde el descubrimiento de la energía eléctrica y sus posibles usos, se ha mantenido la constante necesidad y se han enfocado enormes esfuerzos en poder almacenarla. En la actualidad existen diversas maneras de lograrlo, ya sea para su reserva a gran escala o para prevenir fallas en pequeños sistemas, uno de los dispositivos más usados alrededor del mundo son las baterías, por su fácil accesibilidad, disponibilidad y eficiencia.

Evaluar un sistema híbrido para un manejo apropiado de la energía procedente de fuentes intermitentes es una tarea compleja por la falta de predictibilidad del clima, varios investigadores han planteado metodologías, algoritmos matemáticos y aplicaciones de software para conseguir un dimensionamiento adecuado [2],[3],[4],[5]. Los sistemas de almacenamiento desempeñan dos funciones principales, que es almacenar el exceso de energía de las fuentes renovables cuando la carga no lo requiere y entregar la energía almacenada cuando los generadores no pueden suministrar la demanda, en esta última función su rol principal es disminuir las variaciones de la

red a consecuencia de la intermitencia de las fuentes primarias o puesta en marcha de algún equipo.

Evans [6] en una de sus investigaciones revisa varias tecnologías de acumulación de energía, donde puede comparar parámetros de eficiencia, capacidad de energía, densidad de energía, tiempo de ejecución, costos de inversión capital, tiempo de respuesta, vida útil en años y sus ciclos, la autodescarga y madurez de cada alternativa de almacenamiento de energía, finaliza que la elección del sistema de almacenamiento depende de los requisitos individuales como aumento en la capacidad de los sistemas y la certeza de la energía entregada.

En la referencia [7] el artículo proporciona un medio práctico de monitoreo para cuando las baterías funcionen en el llamado régimen de ciclos de flotación, la estimación del estado de la carga de la unidad de almacenamiento se realiza mediante dos enfoques: la técnica de modo deslizante y el modelado de lógica difusa, durante el desarrollo de la investigación los autores comprueban que la primera técnica tienen mayor robustez ante la imprecisión de parámetros y el tipo de comportamiento, con un número reducido de datos se logra diseñar el esquema de monitoreo. Los modelos desarrollados pueden ser utilizados para otro tipo de unidades de almacenamiento.

En la referencia [8], los autores llevan investigaciones experimentales donde concluyen que en la práctica, la potencia debe proporcionar la suficiente energía posible para reemplazar una cantidad específica de carga drenada de una batería para satisfacer las necesidades energéticas de la carga en un momento solicitado. La potencia disponible en el banco de baterías es un indicador directo de rendimiento de la batería y está limitada por la tensión, amperaje, estado de la carga, densidad y la temperatura.

El software HOMER Energy es el estándar mundial para optimizar el diseño de microgrid en todos los sectores, desde las energías de los pueblos y las utilidades de las islas hasta los campus conectados a la red y las bases militares. Originalmente el programa es desarrollado en el Laboratorio Nacional de Energías Renovables y homologado por HOMER Energy, HOMER (Modelo de Optimización Híbrida para Recursos Múltiples de Energía) anida tres poderosas herramientas en un solo producto de software, de manera que la ingeniería y la economía trabajan codo a codo [9]. HOMER simula el funcionamiento de una microgrid híbrida durante un año entero, en pasos de tiempo de un minuto a una hora.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.68>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

II. SISTEMA PROPUESTO

A. Batería de plomo ácido (PB)

La energía que es producida por los generadores renovables y no es requerida por la carga es almacenada en un banco de baterías, la energía almacenada que puede usarse durante las horas de la noche o cuando haya un mayor consumo y este no pueda ser previsto a través de generación renovable. El banco de baterías utilizado en el sistema es de plomo ácido, este tipo de baterías son ideales para ciclo de trabajo ampliamente utilizados en sistemas híbridos de energías renovables debido al tener una vida útil aproximada de 15 años con 2000 ciclos y un 85% de eficiencia energética [10].

Dependiendo de la energía que puede ser producida a partir de recursos renovables y la demanda de potencia de carga, el estado de carga de la batería puede encontrarse en modo de carga o descarga, para los modos de carga y descarga, puede ser calculada de la siguiente forma [11]:

$$SOC (\%) = 100 * \left(1 - \frac{\int ibat * dt}{Q}\right) \quad (1)$$

Dónde: $SOC (\%)$ es el estado de carga en tiempo t , $ibat (A)$ es la corriente de la batería, y Q es la máxima capacidad de la batería, tal como lo muestra la ecuación 1.

La batería utilizada para el presente estudio es una Kinetic que presenta las siguientes propiedades: Voltaje nominal 12 V, capacidad nominal 1 kWh, capacidad máxima 83.4 Ah, capacidad de radio 0.403, eficiencia de carga y descarga 80%, máxima corriente de carga 16.7 A, máxima corriente de descarga 24.3 A.

B. Panel Fotovoltaico (PV)

La energía del sol proyectada mediante los rayos de sol puede ser capturados por las células fotovoltaicas para luego ser convertidas en voltaje DC mediante el proceso de combinación y recombinación de los fotones.

El comportamiento eléctrico en una célula fotovoltaica puede ser diseñado por una fuente de corriente no lineal conectada en serie con la resistencia en serie de células intrínsecas [12].

Una matriz fotovoltaica es un grupo de varios módulos fotovoltaicos que se conectan eléctricamente en serie y circuitos paralelos para generar la corriente y el voltaje requeridos en DC, mediante un convertidor electrónico se lo lleva a AC. Por lo tanto, la corriente disponible para una matriz PV se puede expresar como lo muestra la ecuación 2 [13].

$$I_{PV}^{av}(t) = N_p I_{ph}(t) - N_p I_{rs}(t) \left(\exp\left(\frac{q(V_{PV}(t) + I_{PV}(t)R_s)}{N_s A_c k T}\right) \right) \quad (2)$$

Donde, N_p es el número de módulos paralelos, y N_s es el número de celdas conectadas en serie en cada módulo paralelo.

Por lo tanto, la generación de energía disponible de una matriz PV en la ecuación 3 es:

$$P_{PV}^{av}(t) = V_{PV}(t) I_{PV}^{av}(t) \quad (3)$$

Donde, $V_{PV}(t)$, es el voltaje de salida del módulo PV.

C. Inversores

Los componentes del sistema propuesto necesitan inversores de DC/AC para interconectarse la alimentación de los generadores con el consumo de la carga, los generadores tienen como salida en DC mientras que la mayoría de los electrodomésticos son en AC. Los convertidores deberán responder a ciertos desafíos, en los cuales intervienen los términos de la relación de voltaje, fluctuación de salida de corriente, la eficiencia energética, el costo y la confiabilidad en caso de tolerancia a fallas del interruptor de potencia [14].

El convertidor de potencia DC / AC en cada fuente de energía está representado por su equivalente a un valor promedio, que se compone de una fuente de corriente controlada en el lado del bus DC [15].

D. Radiación Solar

La ubicación seleccionada tiene una abundante radiación solar y posee cerca de 12 horas de sol diarias en las coordenadas $2^{\circ}12.5'S$, $79^{\circ}52.2'W$, que se muestra en la Fig. 1. los datos son obtenidos a través del software HOMER, su promedio anual es de $4.630 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$.

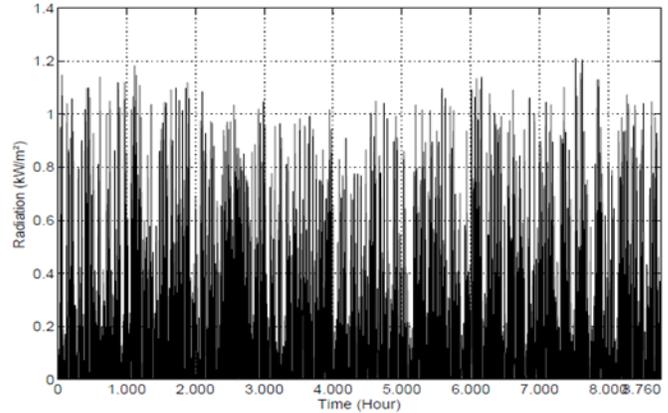


Fig. 1. Radiación Solar Anual

E. Demanda de la carga

Las simulaciones son realizadas para satisfacer la demanda de una familia promedio de 5 integrantes en la ciudad de Guayaquil, la vivienda se encuentra ubicada ($2^{\circ},13.8'S$, $79^{\circ},54.5''S$).

La carga de consumo está caracterizada por un consumo mínimo (0.239 kW), consumo medio (0.66 kW) y consumo máximo (1.4 kW), la curva característica de consumo es similar a los habitantes residencial de la ciudad de Guayaquil y se muestra en la Fig. 2.

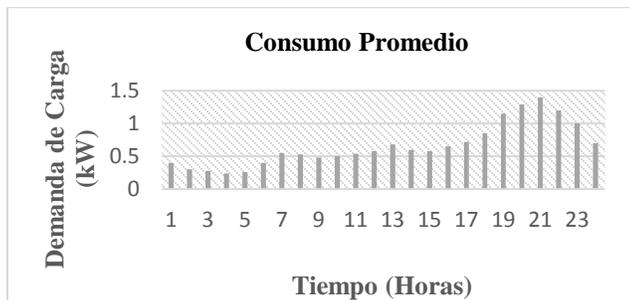


Fig. 2. Curva Característica Consumo Promedio

III. ANÁLISIS

La arquitectura optimizada en Homer del sistema propuesto se muestra en la Fig. 3. donde el sistema está compuesto por una matriz fotovoltaica de 18 kW, 30 baterías de plomo ácido de 1 kWh, un convertidor de 2 kW. El costo total de cada uno de los componentes del sistema que detalla Homer se muestran en la tabla 1 y muestra que para la batería de plomo ácido genérica de 1kWh se requerirá una inversión capital de \$9,000.00, el costo de reemplazo \$13,751.20, operación y mantenimiento \$3,878.25, combustible \$0.00, salvamento (\$31.68) obteniendo un valor total de \$26.597,78, para el panel Kyocera KD 145 SX-UFU una inversión única de \$18.000 en la cual no requerirá de costos en reemplazo, operación y mantenimiento, combustible, salvamento el convertidor del sistema necesitará un capital inicial de \$600.00, costo de reemplazo \$254.56, con valor 0 en operación, combustible y mantenimiento, salvamento (\$47.91) dando un total de \$806.65, finalmente el costo global del sistema generará un valor por capital de \$27,600.00, reemplazo \$14,005.77, operación y mantenimiento \$3.878.25, salvamento (\$79.59) y total \$45,404.43. Los resultados de optimización mostrados por HOMER de acuerdo a las especificaciones se observan en la tabla 2.

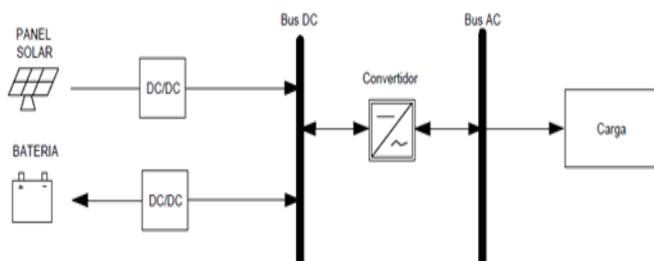


Fig. 3. Arquitectura del sistema propuesto

TABLA 1. COSTO TOTAL COMPONENTES DEL SISTEMA

Componente	Capital (\$)	Reemplazo (\$)	O&M (\$)	Combustible (\$)	Salvamento (\$)	Total (\$)
Batería de plomo ácido genérica 1kWh	\$9,000.00	\$13,751.20	\$3,878.25	\$0.00	(\$31.68)	\$26,597.78
Panel Kyocera KD 145 SX-UFU	\$18,000.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$18,000.00
Convertidor de Sistema	\$600.00	\$254.56	\$0.00	\$0.00	(\$47.91)	\$806.25
Sistema	\$27,600.00	\$14,005.77	\$3,878.25	\$0.00	(\$79.59)	\$45,404.43

La simulación logró los siguientes resultados, el Capital Inicial del Sistema es \$27,600, Costo de Energía Nivelado (COE) es 0.607, Costo Total (NPC) \$45,404, Costo de Operación \$1,377 respectivamente.

Acorde a las características de la batería de plomo ácido mostrados en la tabla 3 se obtiene un sistema con una autonomía de 27.2 horas con lo que se logra más de un día de energía sin la necesidad de alimentación de los generadores renovables.

El costo desgaste del almacenamiento es de 0.419 \$/kWh, la capacidad nominal es de 30.0 kWh, la capacidad usable nominal es de 18.0 kWh, el rendimiento de energía de por vida es de 24,000 kWh, la vida esperada es 6.27 años, el costo promedio de energía es 0 (\$/kWh), la energía ingresada o alimentada al banco de baterías es 4,267 (kWh/yr), la energía entregada o de salida es 3,422 (kWh/yr), el agotamiento de almacenamiento es 9.34 (kWh/yr), las pérdidas de energía del banco es de 854 kWh/yr, el rendimiento anual es de 3.826 (kWh/yr), el voltaje del bus es de 12 V.

TABLA 2. RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN

Sistema	Plomo Ácido
COE (\$)	0.607
NPC (\$)	45,404
Costo de Operación (\$)	1,377
Costo Inicial (\$)	27,600

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA DE PB

Cantidad	Valor	Unidad
Autonomía	27.2	h
Costo desgaste de Almacenamiento	0.419	(\$/kWh)
Capacidad Nominal	30	kWh
Capacidad Usable Nominal	18.0	kWh
Rendimiento por vida	24,000	kWh
Vida Esperada	6.27	yr año
Costo promedio de energía	0	\$/kWh

A. Estado de carga genérico de PB

En la Fig. 4 se muestra el comportamiento del estado de carga genérico de plomo durante el periodo de un año determinado en horas, en los siguientes intervalos (128, 129, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 4040, 4041, 4042, 5165, 5166, 5167, 5168, 5169, 7494, 7495, 7496, 7497) el porcentaje de la batería presenta los valores mínimos en un 40%, mientras que en la hora 186 el estado de carga de la batería presenta su valor de carga máximo 99.50576%

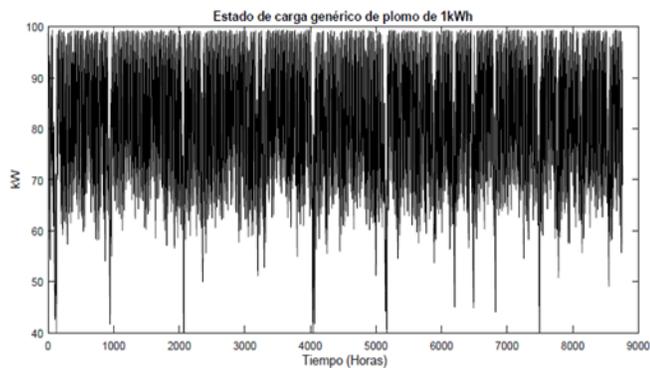


Fig. 4. Estado de carga genérico de plomo

B. Potencia de carga genérico de PB

La potencia se determina como la magnitud que nos indica la rapidez de energía que requiere para funcionar adecuadamente el sistema híbrido bajo estudio, dicha potencia eléctrica es medida en vatios.

En la Fig. 5 se muestra el comportamiento de carga genérico de plomo durante el periodo de un año determinado en horas, en el cual, dentro de las 8760 horas analizadas, 4760 horas en diferentes intervalos de tiempo presentan un valor mínimo de 0 kW, mientras que en la hora 129 y 2073 (día 5 de enero y 27 de marzo respectivamente), el valor máximo llega a un valor de 6,708217 kW.

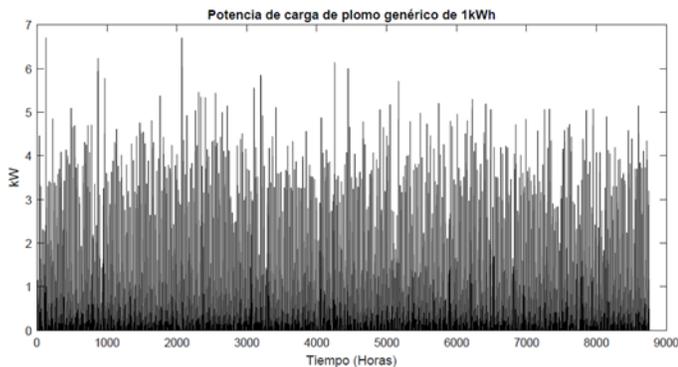


Fig. 5. Estado de carga genérico de plomo

C. Potencia de carga máxima genérico de PB

Al momento de realizar la simulación el software tiene algunas limitaciones, la primera limitación es la del modelo de almacenamiento genético que es la máxima cantidad de energía que puede absorber el sistema, la segunda limitación se refiere con la tasa de carga máxima del componente que es el valor de A/Ah.

En la Fig. 6 se muestra el comportamiento de carga máxima plomo genérico durante el periodo de un año determinado en horas, en el cual, dentro de las 8760 horas analizadas, el valor mínimo de 0 kW se presenta en la hora 3 (1 de enero) y el valor máximo de 6.708217 kW, se hace presente en 453 horas en diferentes intervalos de tiempo dentro del periodo considerado.

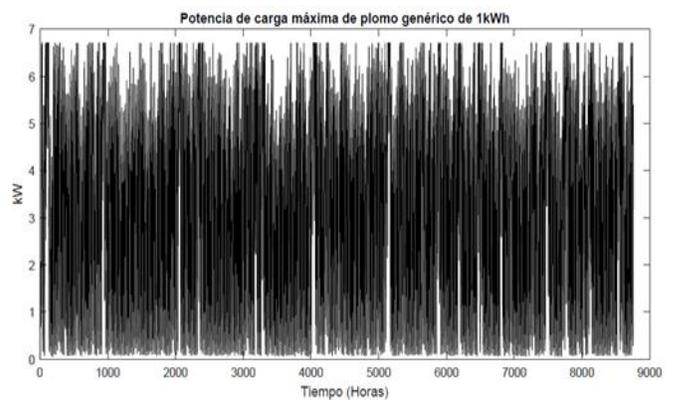


Fig. 6. Potencia de carga máxima de plomo genérico

D. Potencia de descarga genérico de PB

En la Fig. 7 se muestra la gráfica de la potencia de descarga de la batería de plomo ácido genérico en el cual, dentro de las 8760 horas analizadas, 3999 horas en diferentes intervalos de tiempo presentan un valor mínimo de 0 kW, mientras que en su valor máximo 2,105263 kW se muestra en los siguientes intervalos de horas 717, 1916, 2493, 2900, 3093, 3117, 3556, 3788, 3789, 4125, 4965, 7533, 8732.

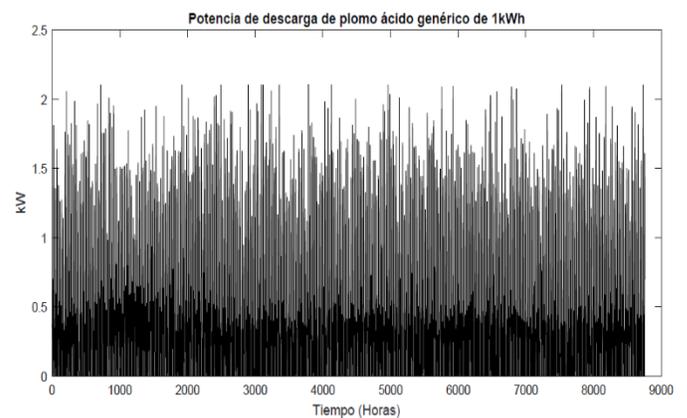


Fig. 7. Potencia de descarga genérico de plomo

E. Potencia de descarga máxima genérica de PB

La máxima potencia de descarga tiene que ser controlada para evitar el daño prematuro del banco de almacenamiento, el regulado de carga ayuda al sistema de control de la misma forma que se controla la máxima descarga de energía que este alrededor del 40%.

En la Fig. 8 se muestra la gráfica de la potencia de descarga máxima de la batería de plomo ácido genérico la cual es analizada para un año, el valor mínimo es de 0 kW se hace presente en los siguientes intervalos de horas 127, 128, 5164, 5165 (día 5 de enero y 3 de agosto respectivamente), mientras en su valor máximo la gráfica presenta su valor de 7,834109 kW y en el periodo de las 8760 horas que es lo que tiene un año se hace presente 6551 veces

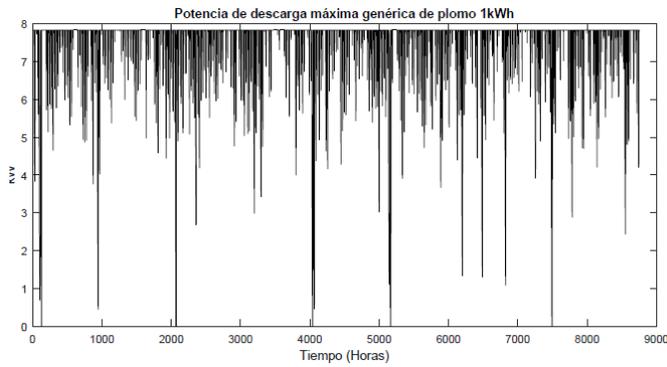


Fig. 8. Potencia de descarga máxima genérico de plomo

F. Pruebas de Laboratorio Experimentales

Las pruebas de laboratorio se realizaron en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, para el análisis del estudio de batería de Pb se realizaron varios tipos de descargas las cuales se van a presentar y detallar en las gráficas que se mostrarán a continuación y posterior una vista comparativa con el software Homer Pro.

El módulo utilizado cuenta con una batería de plomo ácido y una batería de gel, la cual en el presente trabajo no ha sido utilizada.

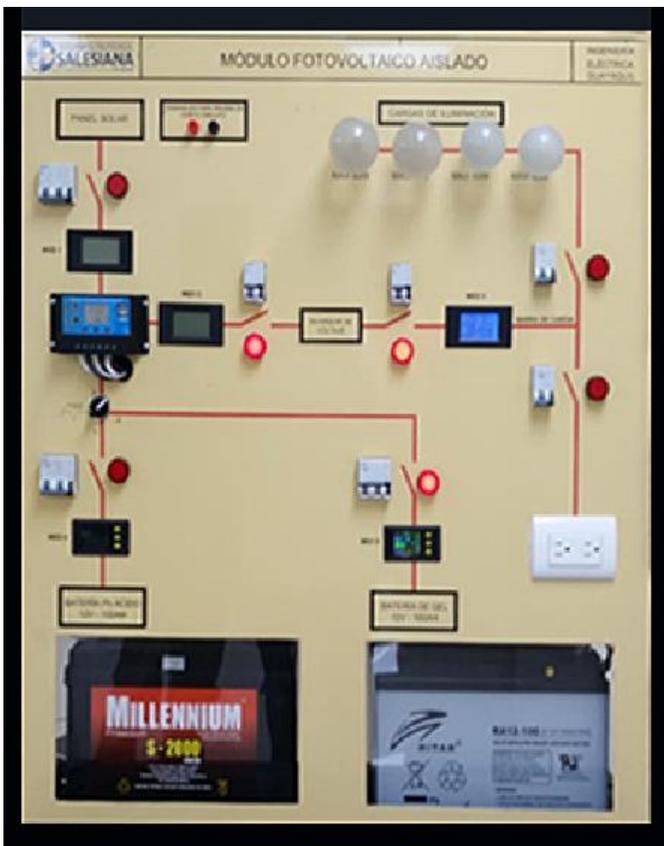


Fig. 9. Módulo de pruebas de baterías en la UPS



Fig. 10. Gráfica descarga controlada de batería de Pb en Wh

La figura 10 muestra una descarga controlada de la batería de plomo ácido en un periodo estable de 5 horas aproximadamente alimentada por varias cargas en diferentes intervalos de tiempo, las cargas van desde 120 watts máximos hasta 20 watts mínimo, los cuales iban descargando paulatinamente el estado de la batería hasta que el circuito alimentado no podía abastecerse y lo colocaba en circuito abierto para la protección de las cargas y elementos del sistema implementado. En cada pulso de caída como muestra la línea de color azul que es la corriente, es donde el sistema con las cargas simuladas no podía abastecerse y se debía disminuir la potencia de carga para la descarga de la batería.



Fig. 11. Gráfica descarga intensiva de batería de Pb en Wh

La figura 11 muestra una descarga más intensiva de la batería de plomo ácido en un periodo estable de 4 horas aproximadamente alimentada por varias cargas en diferentes intervalos de tiempo, las cargas que fueron colocadas en el módulo esta vez iban desde los 200 watts máximos hasta 20 watts mínimo, esto con el afán de poder verificar el estado de descarga de la batería a un ritmo un poco más acelerado y verificar su desarrollo en el sistema implementado. Como podemos observar la caída de corriente, (línea azul) se da más seguido que en el gráfico anterior y esto debido al aumento del número de cargas en los intervalos de horas.

REFERENCIAS

- [1] F. Rocchi, "La sociedad de consumo en tiempos difíciles: el modelo estadounidense y la modernización de la publicidad argentina frente a la crisis de 1930," *Hist. Crítica No.40*, vol. 65, no. 65, pp. 93–114, Jul. 2017.
- [2] J. Lata-García, C. Reyes-Lopez, F. Jurado, L. M. Fernández-Ramírez, and H. Sánchez, "Sizing optimization of a small hydro/photovoltaic hybrid system for electricity generation in Santay Island, Ecuador by two methods," in *2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, 2017, pp. 1–6.
- [3] S. Ahmadi and S. Abdi, "Application of the Hybrid Big Bang-Big Crunch algorithm for optimal sizing of a stand-alone hybrid PV/wind/battery system," *Sol. Energy*, vol. 134, pp. 366–374, 2016.
- [4] A. Cano, F. Jurado, H. Sánchez, L. M. Fernández, and M. Castañeda, "Optimal sizing of stand-alone hybrid systems based on PV/WT/FC by using several methodologies," *J. Energy Inst.*, vol. 87, no. 4, pp. 330–340, 2014.
- [5] J. Lata-García, F. Jurado, L. M. Fernández-Ramírez, and H. Sánchez-Sainz, "Optimal hydrokinetic turbine location and techno-economic analysis of a hybrid system based on photovoltaic/hydrokinetic/hydrogen/battery," *Energy*, vol. 159, pp. 611–620, Sep. 2018.
- [6] A. Evans, V. Strezov, and T. J. Evans, "Assessment of utility energy storage options for increased renewable energy penetration," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 6, pp. 4141–4147, Aug. 2012.
- [7] O. Skrylnyk, R. Lepore, C. S. Ioakimidis, M. Remy, and M. Frère, "State-of-charge observers for lead-acid storage units used in autonomous solar applications," *J. Energy Storage*, vol. 14, pp. 1–7, Dec. 2017.
- [8] C. C. López, "Sistema de control para optimizar la eficiencia de un equipo fotovoltaico de bombeo directo accionado por un motor de inducción," 2014.
- [9] C. D. E. I. Eléctrica, "Análisis del rendimiento de los acumuladores de energía del sistema fotovoltaico existente en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca," 2015.
- [10] J. F. Manwell and G. Jon, "Lead acid battery storage model for hybrid energy systems," vol. 50, no. 5, pp. 399–405, 1993.
- [11] M. Mehrabankhomartash, M. Rayati, A. Sheikhi, and A. M. Ranjbar, "Practical battery size optimization of a PV system by considering individual customer damage function," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 36–50, 2017.
- [12] P. F. Puleston, P. E. Battaiotto, and F. Valenciaga, "Power control of a photovoltaic array in a hybrid electric generation system using sliding mode techniques," *IEE Proc. - Control Theory Appl.*, vol. 148, no. 6, pp. 448–455, 2001.
- [13] D. Feroldi and D. Zumoffen, "Sizing methodology for hybrid systems based on multiple renewable power sources integrated to the energy management strategy," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 16, pp. 8609–8620, 2014.
- [14] Y. Kalinci, A. Hepbasli, and I. Dincer, "Techno-economic analysis of a stand-alone hybrid renewable energy system with hydrogen production and storage options," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 24, pp. 7652–7664, 2015.
- [15] M. Castañeda, A. Cano, F. Jurado, H. Sánchez, and L. M. Fernández, "Sizing optimization, dynamic modeling and energy management strategies of a stand-alone PV/hydrogen/battery-based hybrid system," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 38, no. 10, pp. 3830–3845, 2013.

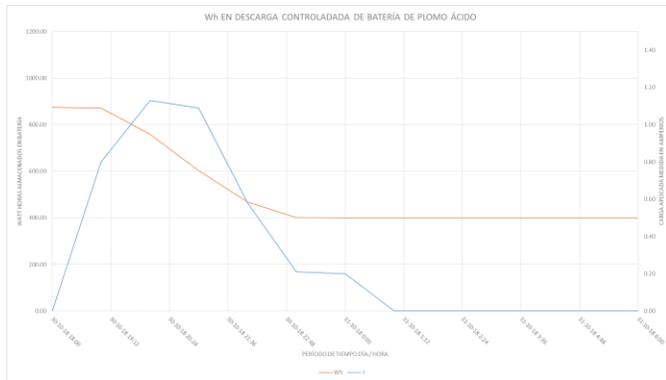


Fig. 12. Gráfica descarga controlada recopilatoria batería de Pb

La figura 12 muestra la descarga controlada recopilatoria de datos de la batería de Pb, y que se realizará junto con la filtración obtenida por el software Homer Pro que se muestra en la figura 13 y en las cuales muestra que los datos experimentales obtenidos en las pruebas de laboratorio son muy parecidos en cuanto a márgenes de corrientes y Wh acorde a las cargas simuladas en dicho programa, lo que otorga una fiabilidad en el estudio presentado y realizado.

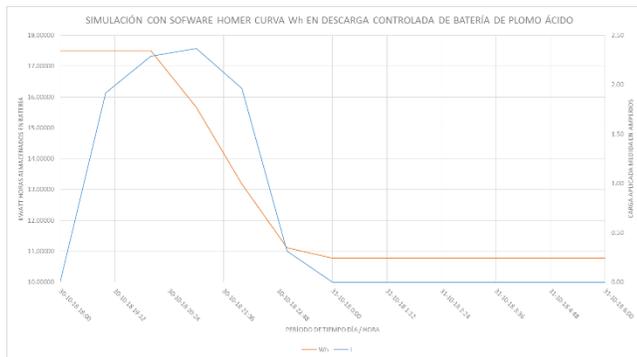


Fig. 12. Gráfica descarga controlada de la batería de Pb en Homer Pro

IV. CONCLUSIONES

El documento nos presenta una visión y comportamiento de almacenamiento de energía aplicado a un sistema híbrido compuesto por un panel fotovoltaico y batería de plomo ácido. Los resultados demuestran que el sistema analizado satisface la demanda propuesta, y que a través del análisis de la batería de plomo ácido y sus diferentes graficas de comportamiento de estado de carga y descarga, potencia de carga y descarga ofrecen un modelo de optimización que resulta rentable y apropiado para ser ejecutado en una vivienda promedio. Al realizar la simulación en Homer Pro se observó que el comportamiento en el software aportó características similares de descarga en las pruebas experimentales de laboratorio dando así que los porcentajes de error en descarga nos muestran un rango aproximado del 16% en el periodo de tiempo testeado.