

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS
PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS DEL VEHÍCULO
SOLAR ELÉCTRICO DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

JESÚS ADRIAN SANTAMARIA GIRALDO

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2016

JESÚS ADRIAN SANTAMARIA GIRALDO

TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGATIVA PARA OPTAR POR EL
TITULO DE TECNÓLOGO ELECTRICISTA

ASESOR TÉCNICO

MS.c JOSE ALFREDO PALACIO FERNÁNDEZ
DOCENTE DE CARRERA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO,
MEDELLÍN

ASESOR METODOLÓGICO

ALEJANDRO POSADA, PH.D.
PH.D. ING. AEROESPACIAL, ESPECIALISTA EN AERONÁUTICA, ING.
MECÁNICO Y PILOTO
DOCENTE INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO, MEDELLÍN

CARLOS MARIO SERNA
ING DE MATERIALES UDEA
DIRECTOR SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN AMBIENTAL SIA

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2016

Escribe aquí tu dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres
y mis asesores.

AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo a mis padres por haber confiado en mí y realizar un gran esfuerzo día a día para permitirme estar aquí en la Institución realizando mis estudios.

A mi asesor metodológico Jose Alejandro Posada por brindarme la orientación necesaria cada vez que se la solicite a lo largo del proyecto.

A mi co-asesor Carlos Mario Serna por creer en mí y orientarme sobre la realización de trabajos escritos.

Al asesor técnico Jose Alfredo Palacios por apoyarme desde los aspectos electrónicos involucrados en el proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	7
1.2 FORMULACIÓN.....	7
2. JUSTIFICACIÓN.....	8
3. OBJETIVOS.....	9
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	9
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
4. MARCO TEÓRICO	10
6. RESULTADOS	15
CONCLUSIONES.....	19
BIBLIOGRAFÍA.....	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vehículo Solar-Eléctrico Rizoma 0.1 Diseñado y Construido en la Institución Universitaria Pascual Bravo.	8
Figura 2. Plano eléctrico del SAD implementado durante el proceso de descarga del vehículo solar Rizoma 0.1 en vacío sin las ruedas.....	12
Figura 3. Plano eléctrico del SAD implementado durante el proceso de carga con la red eléctrica del vehículo solar Rizoma 0.1.....	12
Figura 4. Plano eléctrico del SAD implementado durante el proceso de carga por medio del panel solar en el vehículo solar Rizoma 0.1.	13
Figura 5. Voltaje de las baterías durante el proceso de descarga.	15
Figura 6. Corriente de las baterías durante el proceso de descarga.	15
Figura 7. a) Voltaje y b) Corriente durante el proceso de carga de las baterías por medio de la red eléctrica.	16
Figura 8. Voltaje del panel durante el proceso de carga con el panel solar.....	16
Figura 9. Voltaje de carga de las baterías durante el proceso de carga solar.	17
Figura 10. Corriente de carga de las baterías durante el proceso de carga solar.....	17
Figura 11. Voltaje según el fabricante, voltaje y corriente de las baterías medidos por el SAD durante el proceso de descarga profunda.....	18
Figura 12. Voltaje de circuito abierto de las baterías durante el proceso de carga completa con el panel solar.....	18

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente el planeta está ante un grave problema de emisiones de CO₂ generadoras del cambio climático y de partículas cancerígenas de la combustión de combustibles fósiles. En Beijing los niveles PM 2.5 se han elevado hasta 568 µg/m³, superando ampliamente el límite de 25 µg/m³ recomendado por la OMS (BBC News, 2015). Los vehículos eléctricos se presentan como la mejor solución a estos problemas.

1.2 FORMULACIÓN

¿Es posible mejorar la calidad del aire de las ciudades mediante el desarrollo de vehículos eléctricos capaces de soportar los ciclos de conducción de las ciudades?

2. JUSTIFICACIÓN

Cada vez se hace más evidente la baja calidad del aire en las ciudades, esto lleva a pensar en alternativas que ayuden a reducir la cantidad de CO₂ que se emite diariamente a la atmosfera y en este punto aparecen los vehículos eléctricos como la solución más viable. Los principales problemas de estos vehículos son el elevado tiempo de recarga, el bajo nivel de autonomía y el costo. Esto obliga a estudiar y analizar más a fondo el funcionamiento y el consumo energético de estos vehículos y evaluar posibles mejoras que solucionen parcial o totalmente los problemas mencionados. La Institución Universitaria Pascual Bravo diseñó y construyó un vehículo solar eléctrico que fuera asequible y sirviera como plataforma para que los estudiantes aprendieran, experimentarían y desarrollaran nuevas tecnologías de movilidad sostenible (Figura 1). Sin embargo, la versión actual de este vehículo no cuenta con un sistema para la adquisición, registro y visualización de los datos del performance de vehículo en tiempo real. Este proyecto busca diseñar e implementar este sistema.



Figura 1. Vehículo Solar-Eléctrico Rizoma 0.1 Diseñado y Construido en la Institución Universitaria Pascual Bravo.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar dispositivos eléctricos, electrónicos y de software que permitan visualizar y obtener datos del performance del vehículo solar eléctrico Rizoma 0.1 diseñado y construido en la Institución Universitaria Pascual Bravo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Implementar el programa para el sistema micro controlado de adquisición.

Obtener los niveles máximos y mínimos de carga y descarga de las baterías del vehículo.

Almacenar los niveles y tiempos de carga de las baterías con el panel solar.

4. MARCO TEÓRICO

Estos vehículos vienen desarrollándose desde hace mucho tiempo, pero su desarrollo fue desplazado por los vehículos de combustión interna. Los cuales, a pesar de ser más contaminantes y menos eficientes, presentan niveles de autonomía muy superiores y un tiempo de recarga mucho menor.

Algunos vehículos solares eléctricos experimentales han alcanzado autonomías de incluso 500 km mediante el uso de baterías de litio-ion (Cesareo et al., 2010). Sin embargo, la mayoría de estos vehículos tienen un elevado tiempo de recarga, bajo nivel de autonomía y alto costo. La Institución Universitaria Pascual Bravo diseñó y construyó un vehículo solar eléctrico que fuera asequible y sirviera como plataforma para que los estudiantes aprendieran, investigaran y desarrollaran nuevas tecnologías de movilidad sostenible (Figura 1). Para mejorar la autonomía de estos vehículos se debe analizar más a fondo su funcionamiento y su consumo energético.

El vehículo solar eléctrico Rizoma 0.1 ofrece la posibilidad de integrar dos sistemas de generación, como lo son el Kinetic Energy Recovery System (KERS) y la energía solar fotovoltaica. La combinación de estos dos sistemas de generación plantea muchas preguntas que solo pueden ser resueltas estudiando el consumo energético del vehículo, para poder establecer con exactitud el papel que desempeñan el KERS y el panel solar en los niveles de autonomía del vehículo.

KERS significa Sistema de Regeneración de Energía Cinética, y es un sistema que convierte la energía cinética de las llantas en energía eléctrica. Existen varios tipos de KERS pero en este caso se cuenta con un KERS eléctrico. El cual consiste en un motor eléctrico que hace las veces de generador. Cuando se desacelera el rotor continúa girando por inercia y parte de esta energía es suministrada a las baterías.

Mediante la implementación de un SAD se puede registrar y graficar de manera precisa el consumo energético del vehículo e implementar mejoras que ayuden a reducirlo. La adquisición y el análisis de datos están claramente ligados al desarrollo experimental de la ciencia (Vera et al., 2006). Actualmente existen sistemas que permiten integrar diversos recursos para controlar y monitorear diferentes variables de un proceso, los cuales se conocen genéricamente como

SAD (Manuel, 2001; Osorio et al., 2010). Los SAD ofrecen la posibilidad de estudiar el comportamiento de las variables involucradas en un proceso, esto permite crear un registro preciso de los valores que toman las variables en un instante de tiempo dado. Esto hace de los SAD una herramienta muy poderosa usada en diversas áreas y con múltiples propósitos.

Los SAD se componen de diferentes etapas. En la primera se requiere determinar las variables del proceso que contienen la información requerida para el análisis y el tipo de transductores adecuados. La segunda etapa requiere el acondicionamiento de estas variables, con el propósito de convertirlas en señales eléctricas que se adecúen a las especificaciones del SAD. La tercera etapa hace uso de las señales adquiridas, las cuantifica y las convierte en un código digital equivalente para enviarlas a un ordenador mediante un protocolo de comunicación. La cuarta y última etapa consiste en la utilización de un software especializado, con el fin de procesar los datos equivalentes a las variables registradas para su manipulación, de acuerdo con la aplicación específica del SAD (Creus, 2005; Osorio et al., 2010).

Para la implementación de un SAD se debe contar con hardware que digitalice y cuantifique las señales capturadas. Generalmente se emplean tarjetas de adquisición de datos comerciales que cumplen ampliamente con las necesidades de los SAD (Manuel, 2001; Osorio et al., 2010). Sin embargo, son equipos costosos, lo cual limita su aplicación en determinados sistemas (Osorio et al., 2010). Por esta razón, muchas veces se usan dispositivos más económicos y fáciles de usar que puedan cumplir las mismas funciones que una tarjeta de adquisición de datos comercial, más concretamente, un Arduino UNO.

Arduino es una plataforma de prototipos de código abierto basado en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino son capaces de leer una gran cantidad de entradas y convertirlas en una amplia cantidad de salidas, además pueden operar de manera independiente y guardar los datos medidos en una tarjeta de memoria. Se pueden programar para múltiples propósitos, para ello se utiliza el lenguaje de programación de Arduino (basado en Wiring), y el software de Arduino (IDE), basado en Processing (Arduino, 2015; Souza et al., 2011).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

El SAD implementado en el vehículo solar consta principalmente de los siguientes elementos: un computador, una placa Arduino uno, un shield con microSD para Arduino y dos sensores de corriente.

Los planos eléctricos del SAD durante el proceso de descarga en vacío, durante el proceso de carga con la red eléctrica y durante el proceso de carga por medio del panel solar se muestran en la Figura 2, Figura 3 y Figura 4, respectivamente.

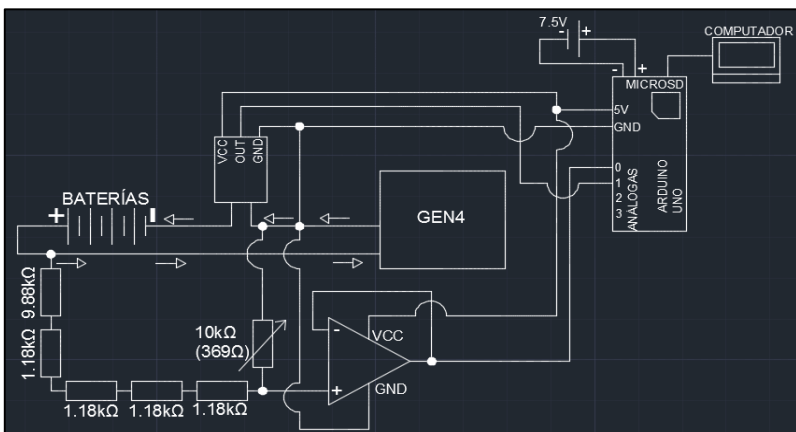


Figura 2. Plano eléctrico del SAD implementado durante el proceso de descarga del vehículo solar Rizoma 0.1 en vacío sin las ruedas.

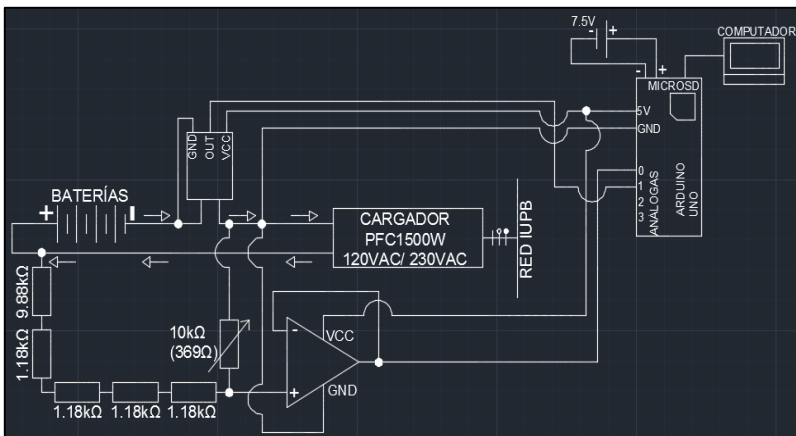


Figura 3. Plano eléctrico del SAD implementado durante el proceso de carga con la red eléctrica del vehículo solar Rizoma 0.1.

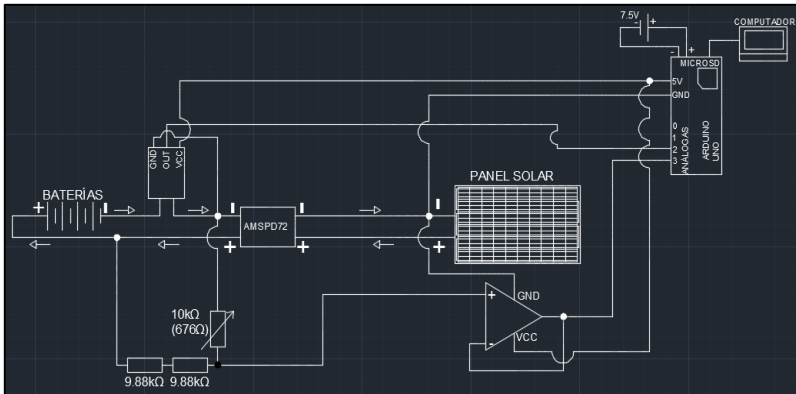


Figura 4. Plano eléctrico del SAD implementado durante el proceso de carga por medio del panel solar en el vehículo solar Rizoma 0.1.

Como se puede apreciar, el SAD mide el consumo de energía a la salida de las baterías. La función de las resistencias y del trimer es disminuir el voltaje nominal de las baterías (77.6V) al máximo voltaje que puede registrar el Arduino (5V). El amplificador operacional sirve de puente entre los 3.7V que entregan las resistencias y los 3.7V que recibe el Arduino. El sensor de corriente se coloca en serie con la tierra de las baterías, y la tierra de las baterías se conecta con la tierra del Arduino. El programa se transfiere al Arduino mediante el cable USB tipo AB, y luego el Arduino lo compila y lo ejecuta indefinidamente mientras se encuentre energizado.

El Arduino lee los datos en las entradas análogas (0 y 1 en el caso de la Figura 2). A estas entradas llega un valor de voltaje entre 0 y 5 voltios, el Arduino lo registra y mediante una serie de operaciones matemáticas convierte los valores de voltaje analógicos en los valores reales de medición y posteriormente los guarda en la microSD. Esta lectura es realizada cada 50 milésimas de segundo, y en cada lectura de datos registra una línea de texto con el siguiente formato:

Año/mes/día, hora: minutos: segundos, Voltaje, Corriente sensor 1
 2015/11/6,10:3:9, V=77.60, C=-3.17

Este intervalo de tiempo tan corto permite obtener entre 8 y 9 líneas de texto por segundo, lo cual resulta muy útil para estudiar todas las variaciones del voltaje y la corriente a lo largo de la medición.

Mediante el uso de este SAD se logró registrar el comportamiento del voltaje y la corriente, tanto en el proceso de descarga de las baterías, como en el proceso de carga de las mismas. El proceso de descarga se realizó en vacío (el vehículo

soportado en gatos) y a máxima potencia del motor. La descarga se realizó en intervalos de 20 a 30 minutos con el fin de proteger el motor del sobrecalentamiento. El tiempo total de medición fue de 2 horas, 2 minutos y 10 segundos. Luego se conectaron las baterías al cargador y se realizó la medición de forma continua hasta que las baterías estuvieran cargadas al 100%. Esta medición duró 2 horas, 54 minutos y 40 segundos.

Se descargaron nuevamente las baterías siguiendo los mismos parámetros de la descarga anterior y durante el mismo tiempo, luego se conectaron al panel solar y se dejaron cinco días al exterior para registrar el aporte energético del panel solar a las baterías.

Por último, se realizó una descarga profunda de las baterías y posteriormente se realizó la carga completa de las mismas usando únicamente el panel solar.

Paralelamente al proceso de medición con el SAD, se realizaron mediciones con el multímetro y la pinza amperimétrica, con el fin de medir voltaje y corriente respectivamente y verificar la veracidad de los datos registrados por el SAD.

6. RESULTADOS

El voltaje y la corriente medidos durante la descarga de las baterías en vacío y a máxima potencia se pueden observar en la Figura 5 y Figura 6, respectivamente.

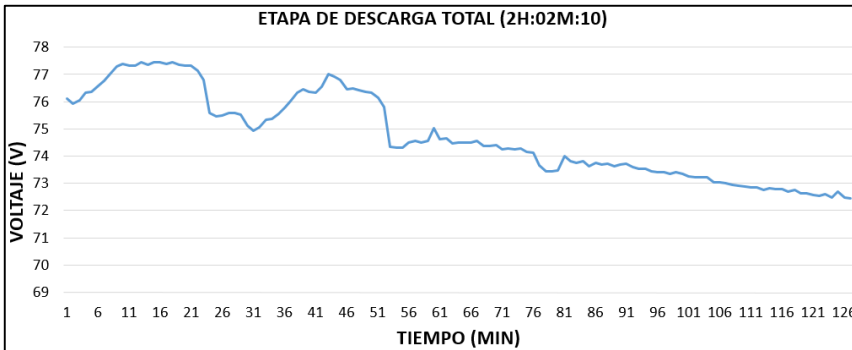


Figura 5. Voltaje de las baterías durante el proceso de descarga.

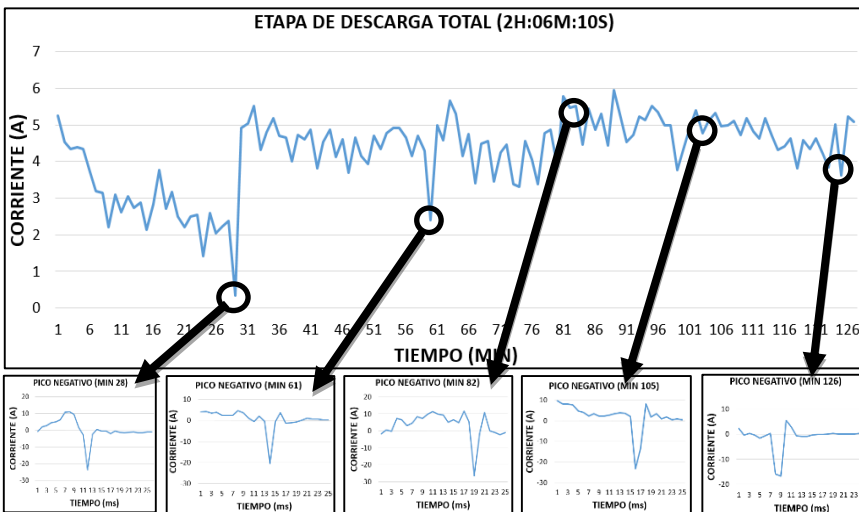


Figura 6. Corriente de las baterías durante el proceso de descarga.

Mientras que el voltaje y la corriente medidos durante la carga de las baterías por medio de la red eléctrica se presentan en la Figura 7.

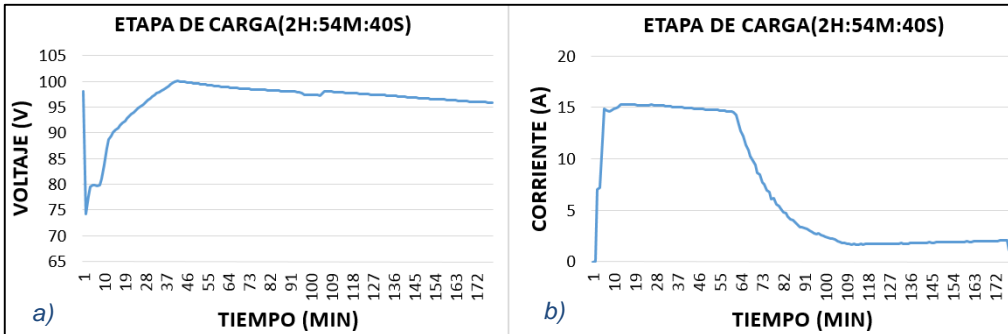


Figura 7. a) Voltaje y b) Corriente durante el proceso de carga de las baterías por medio de la red eléctrica.

La Figura 8 muestra el voltaje a la salida del panel solar desde el sábado 5 hasta el lunes 7 de diciembre de 2015.

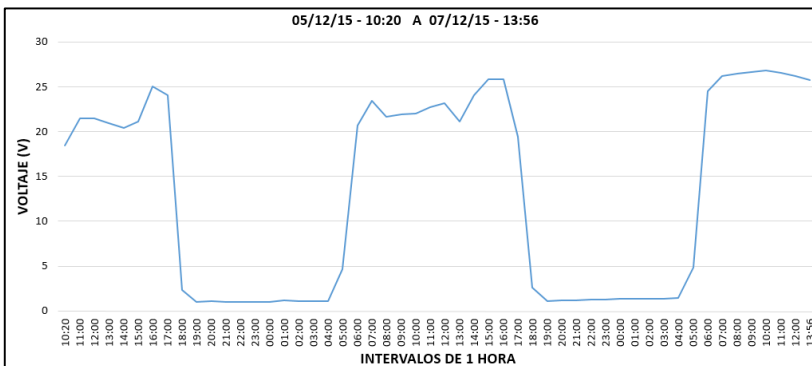


Figura 8. Voltaje del panel durante el proceso de carga con el panel solar.

El voltaje y la corriente en las baterías durante la carga con el panel solar durante esas fechas se pueden ver en la Figura 9 y Figura 10, respectivamente.

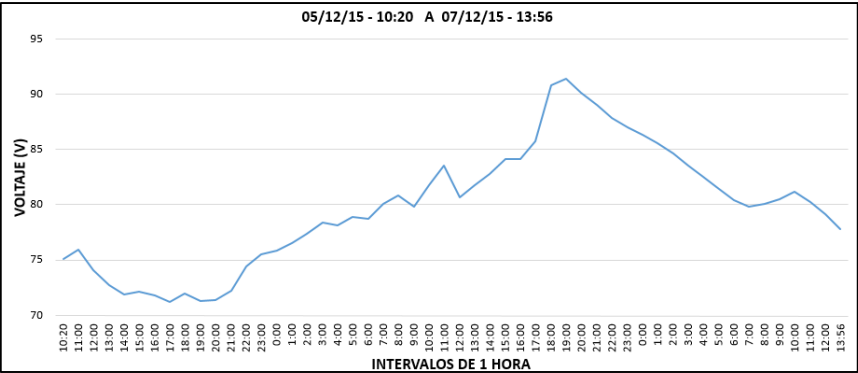


Figura 9. Voltaje de carga de las baterías durante el proceso de carga solar.

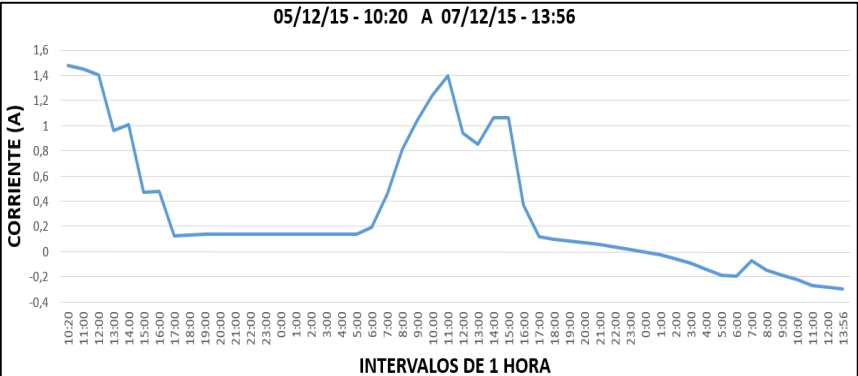


Figura 10. Corriente de carga de las baterías durante el proceso de carga solar.

El voltaje según el fabricante, así como el voltaje y la corriente medidos durante la descarga profunda de las baterías en vacío y a máxima potencia se pueden observar en la Figura 11.

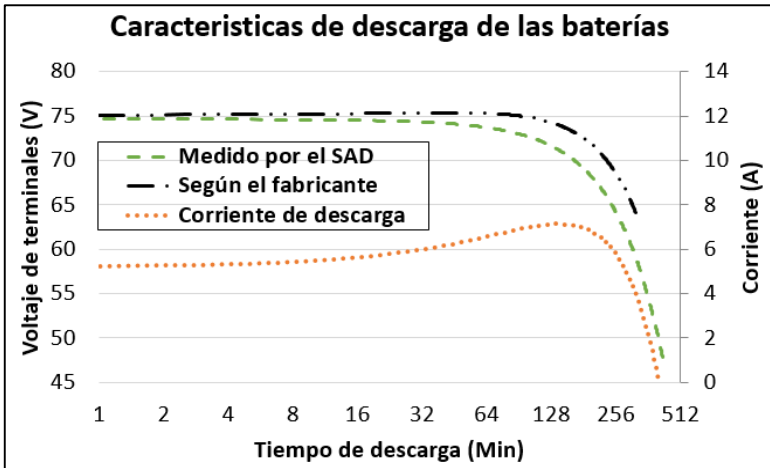


Figura 11. Voltaje según el fabricante, voltaje y corriente de las baterías medidos por el SAD durante el proceso de descarga profunda.

El voltaje de circuito abierto de las baterías durante la carga completa con el panel solar se puede ver en la Figura 12.

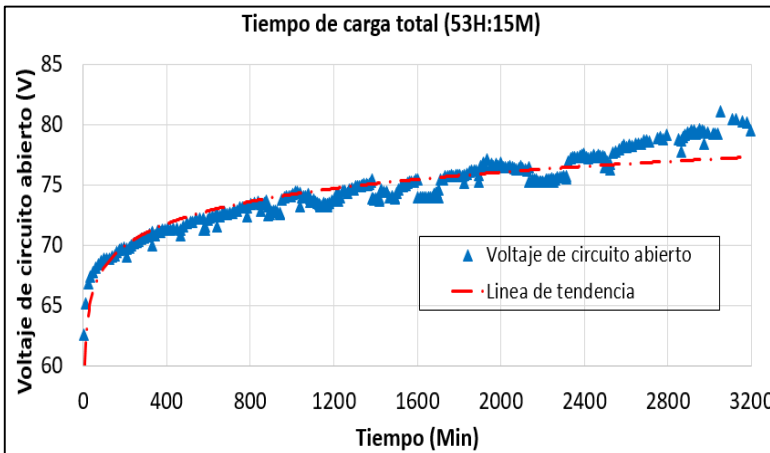


Figura 12. Voltaje de circuito abierto de las baterías durante el proceso de carga completa con el panel solar.

CONCLUSIONES

Etapa de descarga

La gráfica de voltaje de descarga (Figura 5), muestra como decae el voltaje de las baterías a medida que se descargan cuando se pone a funcionar el motor en vacío. Esta caída de tensión no es tan pronunciada debido a que estas baterías tienen la capacidad de mantener un nivel de tensión alto durante la descarga.

También se puede apreciar una caída de tensión relativamente alta en el minuto 125 al final de la gráfica de voltaje de descarga (Figura 5), la cual se produce de manera simultánea con el pico de corriente positivo de la gráfica de corriente de descarga (Figura 6). Esto podría ser solamente ruido que se filtró en la medición.

En todas las gráficas se puede observar una especie de ruido, el cual se debe al pequeño intervalo de tiempo entre la toma de datos. De manera particular, en la gráfica de corriente de descarga (Figura 6) se puede observar un ruido de mayor amplitud durante todo el tiempo de medición. Esto puede deberse a la corriente entregada por el KERS o bien podría ser ruido, aún se está analizando la causa y se harán las pruebas necesarias para determinar de manera definitiva la causa. Así mismo, también pueden apreciarse picos de corriente negativos en los minutos 28, 61, 82, 105, 123-126. Estos corresponden a la finalización de cada etapa de medición donde el motor se detiene y se deja enfriar. Estos pueden ser producidos por el KERS, ya que en estos momentos es donde el KERS entrega la mayor cantidad de corriente a las baterías. Aunque debido a su corta duración pueden ser ruido.

En la Figura 11 se puede ver como la gráfica de voltaje dada por el fabricante se compara muy bien con la gráfica de voltaje medida por el SAD, además se puede ver que el tiempo de descarga de las baterías es de cerca de 7 horas lo cual es un muy buen tiempo teniendo en cuenta que la descarga se hace a máxima potencia.

Etapa de carga

En la gráfica de voltaje de carga por medio de la red eléctrica (Figura 7), se puede apreciar como el cargador baja su voltaje hasta el voltaje de las baterías (75V – 77V), para luego empezar a subirlo de forma exponencial hasta su valor máximo, ese aumento de tensión, es posible gracias a los 15 A (corriente máxima que

soportan las baterías) que entrega el cargador al principio del proceso de carga (Figura 7). Luego de que la tensión está en sus valores máximos (100V), la corriente empieza a disminuir mientras el voltaje se mantiene relativamente constante. Finalmente, la corriente se mantiene en un valor mínimo de 2 A que continúa disminuyendo muy lentamente hasta que al final de ambas gráficas puede verse que el voltaje disminuye y la corriente tiene una pequeña escala al final, la cual corresponde al estado de carga flotante, el cual tiene inicio cuando las baterías están cargadas al 100% y evita la auto descarga de las mismas. Esto permite comprobar las tres etapas de carga:

Bulk (carga en bruto). La cual se da al inicio, cuando la corriente se mantiene constante en su valor máximo (15 A en este caso) para que el voltaje comience a elevarse.

Absorción. Es cuando el voltaje alcanza sus valores máximos (100V) y se mantiene constante, de tal modo que la corriente comienza a bajar.

Flotación. La cual se da a valores de voltaje constantes de 80V-83V y una corriente entre 0 y 1.7 A para compensar la auto descarga de las baterías.

Carga solar

En las gráficas de carga solar (Figura 8), se puede observar como el voltaje del panel baja súbitamente durante la noche (18:00 y 4:00) y sube a 20-26V durante el día. El regulador de carga solar se encarga de aumentar el voltaje entregado por el panel de 20-26V a 72-92V en la entrada de las baterías (Figura 9). La corriente cae a 0.1 A durante la noche, de las 17 a las 6 horas (Figura 10). No cae del todo a cero debido a la luz reflejada de la luna y de lámparas cercanas. Al final de la Figura 10 se puede ver como la corriente toma valores negativos después de las 0 horas. Este se puede deber a que las baterías están completamente cargadas, el panel solar no está generando y un poco de corriente entonces fluye hacia el regulador de carga donde es usada para su funcionamiento. En la gráfica de corriente (Figura 10), se puede observar como el domingo (parte central de la gráfica), el incremento de la corriente empieza desde las 6:00 y alcanza sus picos máximos en las horas del mediodía (donde la radiación solar es más fuerte), y luego decrece nuevamente a las 17:00. No obstante, los valores más significativos (superiores a 1 A) se presentan entre las 9:00 y las 15:00. Los resultados muestran que las baterías se cargaron desde las 20 horas del sábado hasta las 18 horas del domingo (aproximadamente 22 horas).

En la Figura 12 se puede ver como el voltaje de circuito abierto aumenta de forma logarítmica (un comportamiento muy similar al voltaje de descarga), el tiempo total empleado para la carga completa de las baterías fue de 2 días, 5 horas y 15 minutos, este tiempo es relativamente corto teniendo en cuenta que se realiza únicamente con el panel solar y que las baterías tenían una profundidad de descarga del 100%.

BIBLIOGRAFÍA

Arduino. (2015) Introduction: What is Arduino?
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

BBC News. (2015). China pollution: Beijing smog hits hazardous levels.
<http://www.bbc.com/news/world-asia-china-30826128>

Camero-Berrones, R.G., Zapata-Torres, M., Calzadilla-Amaya, O., Guillen Rodríguez, J., & Laría-Menchaca, J. (2012). Desarrollo de un sistema para medir tiempos en experimentos de movimiento rectilíneo. *Revista mexicana de física E*, 58(1), 18-23.

Cesareo Aviles, J. F., Mendoza Sanchez, J., & Paniagua Torres, M. (2010). Desarrollo de un Prototipo de Auto Solar. Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Veracruzana, Xalapa, México.

Creus, S. (2005). *Instrumentación Industrial*. Barcelona: Marcombo.

Hernández Suarez, C.A., Gómez Saavedra, V.A. & Peña Lote, R.A. (2014). Sistema de adquisición de datos para determinar el grupo de conexión en el transformador trifásico DL1080. *Tecnura* 18(42), 65-77.

Jiménez, C, Silva, P, Bravo, R, & Olivares, M. (2006). Sistema de adquisición de datos automatizado para EPR VARIAN línea E: interfaz de control y software de aplicación. *Revista mexicana de física* 52 (3), 153-155.

Manuel, A. (2001). *Instrumentación Virtual: Adquisición, procesado y análisis de señales*. Barcelona: Ediciones UPC.

Osorio, J.E., Pérez, J.D. & Rodríguez, M.A. (2010). Implementación de un sistema de adquisición de datos para monitorear una máquina de corriente directa. *Tecnura* 14 (27), 60-68.

Pérez Chavarría, M., & Estudillo Zamora, E. (2009). Development of a data acquisition system for an oceanographic buor. *Journal of applied research and technology* 7(2), 193-201.

Souza, A.R., Paixao, A.C., Uzeda, D.D., Dias, M.A., Duarte, S. & Amorim, H.S. (2011). La placa Arduino: Una opción de bajo costo para los experimentos de física con la asistencia del PC. *Journal of Physical Educación* 33 (1), 01-05.

Vera, C.A., Lopez, F.E., Reyes, L., Tobon, J. & Trujillo, M. (2006). Interfaz para Adquisicion de Datos Implementada en Matlab. Revista de la Sociedad Colombiana de Fisica, 38(2), 838–841.