

Artículo Original

Evaluación de la eficiencia del proceso de regeneración de energía desde el motor hacia las baterías para vehículo eléctrico del programa Zero Emission del Instituto Superior Tecnológico Luis Rogerio González

Evaluation of the efficiency of the energy regeneration process from the motor to the batteries for electric vehicles of the Zero Emission program of the Luis Rogerio González Technological Institute

Álvaro Rodríguez - Carlos Urgilés

Carrera de Tecnología Superior en Electricidad, Instituto Superior Tecnológico Luis Rogerio González, Azogues, Ecuador

alvaro.rodriguez@istitutoscanar.ec

remigio.urgiles@istitutoscanar.ec

RESUMEN

El artículo contiene los parámetros de diseño e implementación de un generador de ozono industrial mediante arco eléctrico generado por una bobina de encendido de cartucho alimentada por un circuito oscilador, con entrada de aire del ambiente, para el diseño se ha tomado como referencia la frecuencia de 4kHz que es la óptima a la que trabaja un equipo generador de ozono con ingreso de oxígeno por tanque. El proceso será controlado por una HMI mediante una placa con microprocesador, para tener tres modos de operación: continuo, temporizado y de medición de ozono mediante un sensor de alta concentración MQ131.

Palabras Claves

frecuencia, HMI, O₃, ozono, ppm

ABSTRAC

The article contains the design and implementation parameters of an industrial ozone generator through of an electric arc generate by a cartridge ignition coil powered by an oscillator circuit, with ambient air input, for the design the frequency has been taken as reference of 4kHz which is the optimum to work an ozone generating equipment with oxygen input per tank. The process will be controlled by an HMI using a microprocessor board, to have three modes of operation: continuous, timed and ozone measurement using a high concentration sensor MQ131.

Keywords

frequency, HMI, O₃, ozone, ppm

I. INTRODUCCIÓN

Con el aumento de la contaminación a nivel mundial, los coches eléctricos han incrementado su aceptación y uso en el mercado automotriz, muchas son las razones, entre las que se podrían indicar: cero emisiones de gases contaminantes en circulación, menos averías mecánicas, mantenimientos casi inexistentes, entre otras. [1]

Los Vehículo Eléctricos (VE) debutaron en Europa en el año 1880 y aparecieron en América en 1920, pero hacia 1970 el VE comenzó a ser fabricado de nuevo y ha continuado hasta ahora, a pesar de sus problemas con la autonomía y el precio, sin embargo, los avances y mejoras que presentan actualmente los convierten en una buena alternativa para el uso de energías limpias en la movilidad, reduciendo el impacto ambiental de los motores a combustión. [2]

Los vehículos eléctricos utilizan un motor eléctrico para el aporte de movimiento a las ruedas motrices, ya sea que estos funcionen atracción o propulsión, además de baterías químicas, pilas de combustible o ultracondensadores para sus correspondientes fuentes de energía. [3]

La principal fuente de energía de un vehículo eléctrico es la batería, la misma que según [4], es el elemento primordial de su sistema eléctrico, está diseñada para acumular y abastecer de energía al motor y los sistemas de control. Con el avance tecnológico, se pretende incrementar la densidad de energética, su potencia y reducir el tiempo de carga, para, de esta manera tener vehículos eléctricos con mayor autonomía, es decir que puedan circular un mayor número de kilómetros hasta su nueva recarga. [5]

Desde hace algún tiempo, los fabricantes de vehículos se han propuesto recuperar parte de la energía cinética que se desperdicia en frenadas, resultando esto un aspecto fundamental en un VE. El uso del sistema de freno regenerativo puede aportar una energía muy valiosa para los acumuladores (baterías) de forma que, con un control adecuado, incremente la autonomía del vehículo con solo usarlo. [6]

En todos los tipos de vehículos eléctricos, durante el frenado, el motor se convierte en un generador y parte de la energía que normalmente se desperdiciaría en forma de calor se transforma en mecánica al girar el motor, y posteriormente en energía eléctrica, que, mediante un inversor puede almacenarse en la batería, este funcionamiento corresponde al frenado regenerativo. [7]

Para volver a cargar la batería se invierte el sentido de la intensidad de corriente en los bornes de la misma. La velocidad de carga y descarga en el acumulador es más lenta, lo cual es un factor decisivo en el uso del vehículo eléctrico. La energía eléctrica que hay que suministrar a la batería, igual que la que ésta cede, ha de ser en forma continua. El motor de propulsión en la mayoría de vehículos eléctricos es alimentado por corriente alterna trifásica, debido a esto se requiere transformar la corriente continua entregada por la batería en el tipo de corriente que requiere la carga. En referencia a la carga de la batería, esta se realiza con corriente continua; considerando que la red eléctrica entrega corriente alterna, también es necesaria una transformación, es decir en los procesos descritos se requieren procesos de rectificación e inversión. [6]

II. MÉTODO

Dentro del estado del arte con pertinencia a la presente investigación, en el Ecuador se han realizado análisis de sistemas de frenado regenerativo orientados a modelos específicos de vehículos híbridos comerciales, sin embargo, en la presente se analiza el comportamiento de un mecanismo adaptado a un vehículo originalmente de combustión, que al retirar su fuente de potencia térmica se convierte a eléctrico, para la elaboración del método utilizado se referencian investigaciones relevantes con respecto al sistema de frenado regenerativo, sistemas de gestión de baterías y acumuladores de níquel metal hidruro, para posteriormente proceder con el método experimental definido para el análisis, respecto a la falta de investigaciones referentes al tema.

El frenado regenerativo se presenta cuando los motores actúan como generadores, durante el proceso de frenado la energía de frenado, se transforma en energía eléctrica, la que es llevada a la fuente de alimentación eléctrica mediante un inversor. Con respecto a las máquinas de corriente continua, para que estas suministren energía eléctrica a la fuente, deberán generar una fuerza electromotriz mayor que la tensión de la fuente, lo que se logra incrementando la velocidad de giro o reforzando el campo magnético ya sea del estator o el rotor del motor generador (depende de su configuración) con una corriente de excitación más intensa. El efecto de frenado regenerativo se manifiesta únicamente cuando el rotor está girando, por lo que su uso principal es para frenado de vehículos en los descensos. [8]

En un vehículo eléctrico cada vez que el conductor deja de presionar el pedal del freno y procede a levantar el pie del actuador es el momento en el que el motor pasa al modo de generador, suspendiendo la entrega de energía desde el controlador hacia el motor desapareciendo así el campo eléctrico que antes propulsaba el vehículo, y ahora entrega energía al rotor, el cual genera un campo magnético que al girar induce una corriente a la bobina del estator, el controlador permite almacenar en las baterías esta energía que aparece en el estator, la creación de esta inducción eléctrica requiere de fuerza siendo esta la frenante que ahora se manifiesta deteniendo el vehículo. [9]

En la investigación realizada por [10], el autor siguiendo una metodología experimental realiza mediciones en un vehículo Toyota Prius, mediante diferentes sensores que le permiten establecer la presencia y correcto funcionamiento de regeneración por frenado en este modelo. Se aprecia que este sistema actúa al soltar el pedal del acelerador manteniendo la inercia del vehículo y que se incrementa al pisar el freno debido a que en este vehículo la corriente sobre el rotor aumenta al frenar incrementado la fuerza motriz de frenado del motor, incrementando la corriente regenerada a favor del sistema.

Con base al trabajo investigativo anterior el análisis experimental del presente trabajo se realiza mediante la medición y registro de parámetros eléctricos del vehículo, los valores a considerarse en este análisis son en voltaje de cada uno de los paquetes de baterías, así como la corriente que entrega y recibe el sistema a diferente régimen de funcionamiento en consumo o regeneración. Un decremento en el valor de voltaje de las baterías indica la descarga de las mismas mientras que un incremento de este valor indica la ganancia de energía o carga. Por otro lado, al registrar los

valores de intensidad de corriente eléctrica permite conocer si las baterías están recibiendo o entregando energía del sistema, en caso de darse el caso se comprobaría la presencia de regeneración en el vehículo convertido. El sentido de la circulación de corriente se puede conocer mediante el uso de un sensor bidireccional de circulación de la corriente arrojando valores negativos y positivos en sus lecturas, uno para cada sentido de circulación.

III. REGISTRO DE DATOS

Para la obtención de valores de los parámetros eléctricos de las baterías del VE del Instituto Superior Tecnológico “Luis Rogerio González”, cuyo montaje se ilustra en Fig. 1, se procede de la siguiente manera:



Fig. 1. Sistema eléctrico del VE del Instituto Superior Tecnológico “Luis Rogerio González”.

A. Sistema de adquisición y registro de datos

El sistema de adquisición y registro de datos diseñado e integrado al vehículo eléctrico está basado en una placa de procesamiento Arduino Mega, la cual mediante las conexiones y elementos que se exponen a continuación es capaz de leer y guardar en una memoria micro SD los parámetros eléctricos que se presentan en el vehículo en tiempo real, así también el sistema es capaz de mostrar al operador mediante una pantalla a color los valores actuales de funcionamiento, En la Fig. 2. se observa la medición de los 11 paquetes de baterías denotados desde V1 hasta V11 y también el voltaje de una batería de vehículo regular utilizada para los sistemas eléctricos originales del vehículo denotada como VB, esto se ilustra en la Fig. 2.



Fig. 2. Sistema de lectura visualización y registro de parámetros eléctricos.

B. Voltaje individual y total

El vehículo es alimentado por 11 paquetes de baterías, cada uno tiene una tensión de 11.5 voltios como máximo, sumando a plena carga una tensión total de 126.5 voltios.

Para la medición y registro de datos se conectaron cables de prueba en la unión serie entre los paquetes como se observa en la Fig. 3, posterior a esto, se acondicionan las señales mediante divisores de tensión a fin de que no excedan un valor de 5 voltios, que es la magnitud máxima que puede manejar la placa de procesamiento, entonces, los registros se transforman a sus equivalentes, es decir, los valores reales de voltaje en cada uno de los paquetes conectados en serie y así también el voltaje total del sistema. Estos valores son grabados en la memoria del sistema para su posterior análisis.

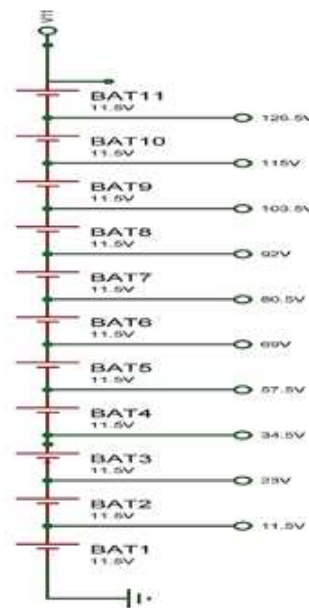


Figura 3. Conexión de tomas para medición de voltajes.

C. Corriente

Para la medición de corriente se utilizó el sensor de corriente de núcleo dividido YHDC HALL HSTS35, mismo que está conectado al cable positivo de la alimentación de la batería, Fig. 4(a), la señal emitida por el sensor ingresa a la paca de adquisición de datos, Fig. 4(b), y finalmente el valor de la medición se muestra en la pantalla del sistema Fig. 4(c).



Fig. 4(a). Sensor de corriente conectado al cable positivo de la batería.



Fig. 4(b). Placa de adquisición de señal de corriente.



Fig. 4(c). Visualización del valor de corriente.

IV. ANÁLISIS DATOS RECOLECTADOS

A. Voltaje individual de cada batería

Como se aprecia en la Fig. 5 se obtuvieron los valores de voltaje de cada uno de los 11 paquetes de baterías de forma individual. En las gráficas se puede apreciar la variación en los niveles de tensión en regímenes de carga y descarga que sugieren la presencia del sistema de freno regenerativo,

sin embargo, es importante contrastar estos valores con los valores de corriente, ya que estos incrementos de voltaje podrían deberse a la recuperación de las baterías luego de ciclos de alta exigencia. Además, se observa el desgaste de los paquetes de baterías instalados en el vehículo, observándose diferentes niveles de tensión en cada paquete y sus caídas más pronunciadas en las baterías con mayor desgaste.

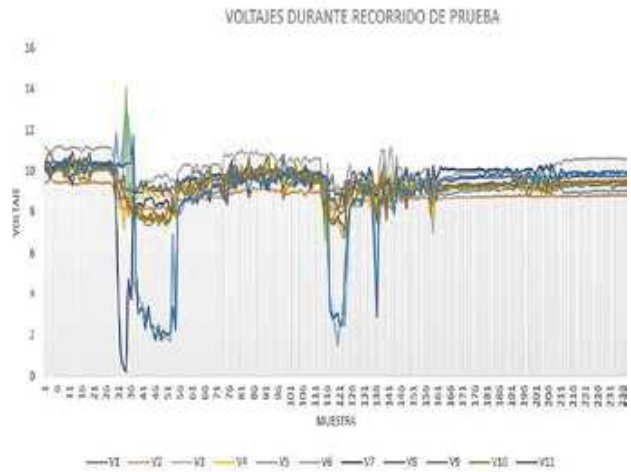


Fig. 5. Formas de onda de voltaje de cada paquete de baterías

B. Voltaje total

De manera similar a lo que se observa en el comportamiento individual de cada batería, en el voltaje total también se observan variaciones positivas y negativas en sus niveles de tensión durante un recorrido de prueba, sin embargo, se debe analizar la corriente y la ruta seguida para determinar si se trata de una recuperación de la batería o la entrega de energía por parte del sistema de regeneración, en la Fig. 6. se aprecia el comportamiento del nivel de tensión total del sistema.



Fig. 6. Formas de onda de voltaje total del sistema

C. Comportamiento del sistema eléctrico en ruta normal

Se realizaron pruebas con vehículo recorriendo una ruta

variable con pendientes y frenadas debido al tráfico, a fin de observar el comportamiento del sistema eléctrico y verificar la presencia de corrientes variables de entrada y salida en las baterías, que sugieran la actuación del freno regenerativo. Los resultados obtenidos en términos de voltaje y corriente se observan en la Fig. 7, y muestran la presencia de corrientes de consumo y corrientes de recarga en el sistema, lo cual se le atribuye al consumo y regeneración por inercia. Al no estar bien marcado el comportamiento durante la regeneración se planeó una ruta con condiciones extremas de consumo y regeneración por inercia a fin de observar el comportamiento del sistema eléctrico.

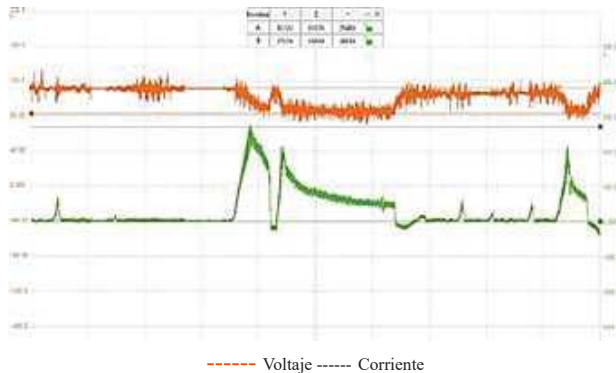


Fig. 7. Forma de onda de voltaje y corriente del sistema eléctrico en una ruta normal.

D. Comportamiento del sistema eléctrico en ruta extrema

A fin de establecer de manera clara la presencia del freno regenerativo en el sistema del vehículo convertido se eligió una ruta de pendiente pronunciada, a fin de cumplir con dos ciclos de trabajo, el primero de alto consumo de energía durante el ascenso del vehículo hasta la parte alta de la ruta con la potencia proporcionada por la batería y el segundo durante el descenso de la misma pendiente, aprovechando la gravedad e inercia, a fin de observar la actuación del sistema de regeneración por frenado y las cantidades de corriente que circulan en los conductores de la batería. El resultado de la primera fase se ilustra en la Fig. 8, donde se aprecia el comportamiento de la corriente durante el ascenso, la misma que se muestra decreciente debido a que las baterías pierden la energía acumulada como se evidencia por la caída de voltaje, finalmente el vehículo se detiene al no disponer de más fuerza electromotriz para avanzar. Ante la descarga prematura y vertiginosa de las baterías se evidencia el mal estado de las mismas, considerando que son baterías recicladas de un vehículo híbrido.

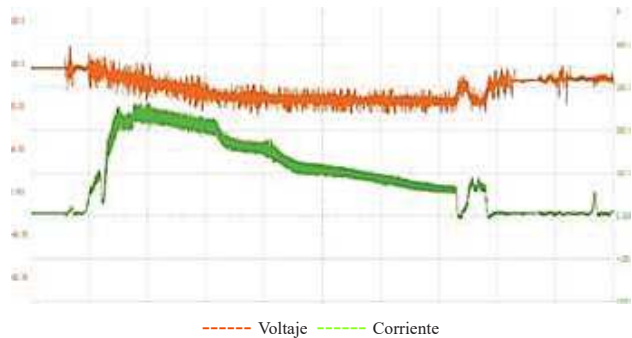


Fig. 8. Forma de onda de voltaje y corriente del sistema eléctrico en ascenso.

En la segunda fase, correspondiente al descenso de la misma pendiente se observó que en el sistema eléctrico del vehículo hubo una clara circulación de corriente en sentido inverso a la corriente de consumo, la misma que corresponde al sistema de regeneración del vehículo, este resultado se aprecia en la Fig. 9.

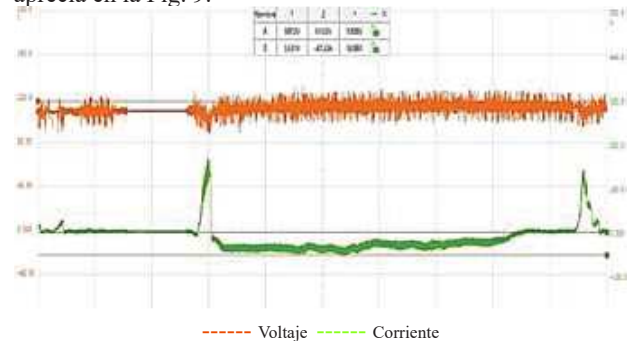


Fig. 9. Forma de onda de voltaje y corriente del sistema eléctrico en descenso.

Acorde a las mediciones, el sistema consumió 22355 vatios pico en ascenso y regeneró 5476 vatios pico durante el descenso del mismo tramo.

V. CONCLUSIONES

En base al comportamiento del voltaje y corriente del sistema, se concluye que el sistema de conversión de vehículo de combustión a vehículo eléctrico implementa un sistema de regeneración de energía mediante el frenado.

Con base a los resultados se puede decir que el sistema de frenado regenerativo es funcional, al proporcionar energía de retorno hacia las baterías del vehículo aprovechando la inercia de su movimiento, habría que analizar la existencia o no de un sistema de incremento de corriente del rotor al presionar el freno, lo que daría una mayor eficiencia a la regeneración.

Aparentemente, el sistema no incrementa la energía regenerada al presionar el freno, a diferencia de la mayoría vehículos eléctricos convencionales, este sistema se comporta como si no aumentara la intensidad en el rotor para incrementar la fuerza de frenado e incrementar la corriente

entregada a las baterías, siendo menos eficiente que muchos sistemas propuestos por los fabricantes de VE y HV.

Mediante el diseño, construcción e implementación del sistema de gestión de baterías de níquel metal hidruro, se puede adquirir en tiempo real los valores de los principales parámetros de funcionamiento de las baterías del vehículo eléctrico del Instituto Superior Tecnológico “Luis Rogerio González”, como son voltaje, corriente, así también almacenarlos en una memoria externa para su posterior tratamiento y análisis, convirtiéndose en una herramienta de gran utilidad para conocer el estado de operación del vehículo.

El análisis en una ruta de características bien marcadas de ascenso y descenso, evidenció de manera clara la presencia y comportamiento del sistema de regeneración del vehículo en el que se implementó el kit de conversión de combustión a eléctrico; se obtuvieron datos que muestran la actividad del sistema investigado, sin embargo, se presentó un grave inconveniente debido al mal estado de las baterías recicladas utilizadas en el VE, mismas que no tenían la capacidad de almacenamiento lo suficientemente grande para realizar recorridos en ascenso de gran duración, descargándose casi por completo de manera vertiginosa en tramos con inclinaciones ascendentes pronunciadas dejando al vehículo sin la capacidad de continuar el recorrido; a pesar de esta dificultad, los datos recabados permitieron distinguir el comportamiento del sistema de regeneración por frenado.

VI. REFERENCIAS

- [1] P. Arsuaga Chabot, Vehículos Eléctricos y Redes para su Recarga, Madrid: RA-MA S.A., 2010.
- [2] E. d. P. Carreño Aguillón, E. A. Vacca Melo y I. Lugo Ariza, «Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar,» Tecnura, pp. 91-106, 2012.
- [3] M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo y K. Ebrahimi, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, Boca Ratón: CRC Press, 2018.
- [4] J. Pancha, V. Rojas, V. Romero y J. Nejer, «Análisis del electrolito del acumulador automotriz a diferentes temperaturas en condición de encendido,» Ingenious, pp. 88-94, 2019.
- [5] O. Barrera Doblado y J. A. Ros Marín, Vehículos Eléctricos e Híbridos, Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A., 2017.
- [6] Sociedad de Tecnicos de Automocion (STA), El Vehículo Eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio., Barcelona: Libbooks, 2011.
- [7] T. Denton, SISTEMAS ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DEL AUTOMÓVIL - Tecnología automotriz: mantenimiento y reparación de vehículos, Ciudad de México: Alfaomega, 2016.
- [8] D. W. Hart, Electrónica de Potencia, Madrid: PRENTICE HALL, 2001.
- [9] E. J. Domínguez Soriano y J. Ferrer Ruiz, Sistemas de transmisión y frenado, Madrid: EDITEX, 2018.
- [10] E. Araujo Asang, Artist, Estudio y análisis del sistema de freno regenerativo del vehículo híbrido Toyota Prius. [Art]. Universidad Internacional del Ecuador, 2015.