

Análisis comparativo de generadores reusados para generación eléctrica a partir de bicicletas estáticas

Comparative analysis of reused generators for electric generation based on static bikes

R. Rodríguez¹, G. Osma², R. Rengifo³, F. Rueda⁴, G. Ordóñez⁵

¹ GISEL, Universidad Industrial de Santander, Colombia. ruber.rodriguez@correo.uis.edu.co

² GISEL, Universidad Industrial de Santander, Colombia. gealosma@uis.edu.co

³ GISEL, Universidad Industrial de Santander, Colombia. ronaldblack7@gmail.com

⁴ GISEL, Universidad Industrial de Santander, Colombia. frueda1214@gmail.com

⁵ GISEL, Universidad Industrial de Santander, Colombia. gaby@uis.edu.co

RECIBIDO: abril 21, 2017. ACEPTADO: junio 2, 2017. VERSIÓN FINAL: noviembre 1, 2017.

RESUMEN

Este trabajo compara el desempeño de dos generadores eléctricos reusados (un alternador de automóvil y un motor DC de imanes permanentes) acoplados a una bicicleta estática. A partir de pruebas de rendimiento físico, se determinó la potencia mecánica promedio (62,13 W) y máxima (150 W) entregada por un tripulante. Asimismo, se implementó un sistema de inyección de potencia mecánica y un sistema de adquisición de datos para determinar el rendimiento de los generadores. Se inyectó potencia mecánica gradualmente al sistema bicicleta-generador y se midió la potencia eléctrica de salida. Se determinaron las pérdidas de vacío y la eficiencia para cada generador. Seguidamente, se validaron las pruebas de rendimiento con tripulantes. Se encontró que las potencias promedio generadas con el motor DC y el alternador son 56,4 W y 25 W, respectivamente. Se concluye que generadores con características similares al usado en esta investigación son viables para generar energía cuando son acoplados a bicicletas estáticas.

PALABRAS CLAVE: Bicicleta spinning, Generación eléctrica, Motor de imanes permanentes, Potencia humana.

ABSTRACT

This research compares the performance of two reused electric generators (a car alternator and a permanent magnet DC motor) coupled to a stationary bike. From physical performance tests, the average (62.13 W) and maximum (150 W) mechanical power delivered by a person were determined. Furthermore, an injection mechanical power system and a data acquisition system were implemented to determine the performance of the generators. Mechanical power was gradually injected into the bicycle-generator system and electrical output power was measured. The vacuum losses and the efficiency for each generator were determined. Subsequently, performance tests were validated with real people. It found the average powers generated with the DC motor and the alternator are 56.4 W and 25 W, respectively. It concludes that generators with characteristics similar to the DC motor used in this research are viable to generate energy when they coupled to stationary bikes.

KEYWORDS: Electric power generation, Human power, Permanent magnet, Spinning bike.

1. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de energías renovables alternativas ha fomentado la investigación de soluciones que logren

satisfacer parte de la demanda energética, y con ello, disminuir el deterioro ambiental [1], [2].

Dentro de las diversas opciones de generación no convencional, existe una alternativa que se basa en el aprovechamiento de la energía entregada por un

tripulante a una bicicleta estática, la cual es usualmente perdida en forma de calor. Dicha energía puede ser transformada en energía eléctrica por medio de un generador para ser almacenada o inyectada a una red eléctrica.

El aprovechamiento de la energía entregada a una bicicleta para producir energía eléctrica se remonta a los años 1880s, cuando Richard Webber impulsó un sistema de acople por rozamiento de una dinamo a la rueda delantera de la bicicleta. Posteriormente, en 1895 se comercializó la dinamo de botella desarrollada por Ward y Goldstone de Salford. En 1935 la Compañía Ciclo Raleigh y George William Rawlings solicitaron una patente para una dinamo de buje que llevó a una serie de invenciones llamada *Dynohub* [3].

Estos sistemas se emplearon para alimentar luces de seguridad y señalización. Infortunadamente, tenían baja eficiencia. No obstante, desde 2000 se han realizado trabajos orientados a mejorar el desempeño de esta estrategia de generación. Dos de estos trabajos consisten en las implementaciones realizadas en los gimnasios *California Fitness* de Hong Kong [4] y *The Green MicroGym* de Portland, Oregon (USA) [5], [6].

Según Adam Boesel [5], diseñador de *The Green MycroGym*, un ser humano puede generar entre 50 W y 150 W, para rutinas de ejercicio no intensas con períodos de 30 minutos. Para *The Green MycroGym* se diseñó el sistema “*Human Dynamo*”, en el cual varias bicicletas se conectan mecánicamente a un mismo generador, alcanzando una eficiencia del 70% [6]. La potencia de salida promedio por persona fue 56 W.

Por otro lado, el gimnasio *California Fitness* utilizó 18 máquinas entre bicicletas y elípticas para operación aislada con el fin de alimentar lámparas fluorescentes a partir de una batería (24V y 150 Ah). Se determinó que las máquinas elípticas tienen un mejor desempeño energético debido a que aprovechan todo el peso del tripulante (cuerpo).

En el 2010, la organización *Working Bikes* exhibió dos aplicaciones de aprovechamiento de la potencia humana en la “*Midwest Renewable Energy Fair*”, como son el uso de una bicicleta de montaña (hasta 200W) y la utilización de una dinamo de botella en una bicicleta para aplicaciones de baja potencia (hasta 6W) [7]. Asimismo, en el año 2011 la empresa Finlandesa NOKIA desarrolló el sistema Nokia DC-14 [8] que es un kit de accesorios acopiables a una bicicleta común que permite cargar el teléfono móvil.

Además del interés comercial, algunas universidades alrededor del mundo han abordado el estudio de este tipo de sistemas, tal es el caso de *California Polytechnic State University (USA)* [9], *Amrita Vishwa Vidyapeetham University (India)* [10], *Universidad Industrial de*

Santander (Colombia) [11], [12] y *Massey University (Nueva Zelanda)* [13].

En 2009, *California Polytechnic State University* fabricó un tipo de bicicleta estática para aprovechar la potencia mecánica generada por un deportista. La investigación se centró en el diseño y la creación de la estructura de la bicicleta y los acoplos con los instrumentos de potencia. El generador utilizado en la implementación tenía una tensión nominal de 24 V y una potencia de 220W [9].

En 2012, Kannan *et al.* [10] propusieron un sistema de generación de energía a base bicicletas en hogares de zonas no interconectadas a la red eléctrica de transmisión. Esta iniciativa consideró que la bicicleta es el principal medio de transporte en India. En dicho estudio se evidenció que un alternador es una opción viable para aplicaciones de potencia entre 100 W y 400 W y que la dinamo es apropiada para aplicaciones de baja potencia (menores a 5 W).

Impulsado por el potencial de este tipo de sistemas, Osma [14] en 2011 propuso la implementación de un mini-gimnasio en la Universidad Industrial de Santander - UIS (Colombia) como espacio de generación de energía a partir de bicicletas estáticas. El diseño fue elaborado por Nuñez y Flórez [11] y contempló dieciocho (18) unidades generadoras con dos tipos de conexión, una acoplada a la red y la otra aislada para la alimentación de cargas específicas y baterías. Posteriormente, en 2013 Durán y Gil [12] implementaron el proyecto piloto de este sistema incluyendo como aspecto fundamental la reutilización de componentes descartados, como lo fue una bicicleta estática y un alternador de automóvil. El piloto consideró los dos tipos de conexión (conectado a la red y aislado) de forma no simultánea.

Por otra parte, en 2014 Sanjay [13] diseñó un sistema electromagnético que generó hasta 60 W. Dicho proyecto se orientó al diseño de un prototipo energético ajustable a cualquier bicicleta existente en un gimnasio. La Tabla 1 presenta un breve resumen de trabajos relacionados con este tipo de soluciones de generación de energía eléctrica. Según la revisión de literatura realizada, se evidenció que un limitante al abordar el diseño de un sistema de este tipo es la escasez de información sobre las especificaciones de los generadores utilizados; además, existe la tendencia a suponer que la potencia generada promedio por una persona es fácilmente 300 W, lo cual lleva a sobredimensionar los diseños. Es por esto que, en este trabajo se establecen los niveles de potencia promedio generados por un grupo de personas a través de una prueba de resistencia física (potencia mecánica).

La prueba permitió establecer valores de potencia máxima y la velocidad de pedaleo, con esta información es posible establecer las características del generador. Sin embargo, se optó por reusar un motor DC como generador.

Tabla 1. Trabajos relacionados con generación eléctrica a partir de bicicletas.

Fuente.	Año	Lugar	Tipo de Máquina	Tipo de Trabajo	Carácter del Estudio	Comentarios
[5]	2008	Hong Kong, China	Spinning y elíptica	Implementación	Comercial	Implementación en 18 máquinas para cargar una batería y alimentar lámparas fluorescentes.
[5]	2008	Portland, Oregon USA	Spinning	Implementación	Comercial	Implementación mixta con paneles fotovoltaicos, que logró generar un 36% de la energía consumida por el gimnasio.
[5] [6]	2008	Portland, Oregon, USA	Spinning	Implementación	Comercial	Se implementó un grupo de bicicletas estáticas, conectadas a un único generador en el gimnasio <i>The Green MycroGym</i> .
[9]	2009	San Luis Obispo, USA	Bicicleta estática	Diseño y fabricación	Investigativo	Implementación de un nuevo tipo de máquina para hacer ejercicio. Pueden generar 100 W a 70 rpm.
[15]	2009	San Diego, USA	Bicicleta estática	Simulación	Investigativo	Simulación de los componentes eléctricos que se utilizarían para generar energía eléctrica a partir de una bicicleta estática.
[7]	2010	Wisconsin, USA	Bicicleta de montaña	Implementación	Investigativo	Se utilizó una polea en V para conectar el generador con la rueda. Se estimó una potencia generada de hasta 200 W.
[7]	2010	Wisconsin, USA	Bicicleta con dinamo de botella	Implementación	Investigativo	Utilizaron una dinamo de botella con potencia nominal 6 W para cargar un dispositivo electrónico de 5 V.
[16]	2010	Bogotá, Colombia	Bicicleta estática	Estudio de factibilidad	Investigativo	Análisis de la cantidad de energía disponible en esta clase de sistemas y su posterior aprovechamiento, pensando en posibles aplicaciones de generación distribuida.
[11]	2011	Bucaramanga, Colombia	Bicicleta estática	Diseño	Investigativo	Diseño para una futura implementación de 18 máquinas generadoras, con 3 subsistemas eléctricos que permitían entregar potencia a la red, a una carga aislada y almacenar en una batería. Implementación de un sistema electromagnético que aprovecha el giro del volante de inercia de una bicicleta estática, para generar energía eléctrica. Se logró un máximo de generación de 60 W a una velocidad del volante de 110 rpm
[9]	2014	Palmerston North, Nueva Zelanda	Bicicleta estática	Diseño e Implementación	Investigativo	

Fuente: Las mencionadas en la tabla.

La utilización del motor DC presentó ventajas como la reducción del costo del proyecto y un menor impacto ambiental. Finalmente, se realizaron pruebas con ambos generadores para determinar las mejoras obtenidas.

La Sección 2 presenta la metodología empleada para el desarrollo de la investigación; la Sección 3 presenta los resultados y el análisis de los mismos; por último, la Sección 4 presenta las conclusiones de la investigación.

2. METODOLOGÍA

Inicialmente, se indagó sobre la fisiología de un ciclista, la disposición física adecuada de la bicicleta y los limitantes del piloto implementado por Durán y Gil [12]. La comparación entre los generadores comprende cuatro etapas: (i) Hallazgo experimental de la capacidad (potencia) de un tripulante, (ii) Determinación de características técnicas (iii) Pruebas de eficiencia, y (iv) Resultados de la comparación.

Con el fin de encontrar el intervalo de generación de un tripulante, se diseñó una prueba de condición física para medir la potencia mecánica sobre el volante de inercia de la bicicleta estática utilizada por Durán y Gil [12].

A partir de las restricciones del sistema y los límites de potencia de un tripulante, estudió la alternativa de generación con un motor DC, previo diseño de un sistema de transmisión mecánica más eficiente.

Para determinar la eficiencia del sistema de transmisión volante – generador, se diseñó un sistema de inyección de potencia mecánica, conformado por un motor de inducción acoplado al volante de la bicicleta y un variador de frecuencia que permitió controlar la velocidad del motor de inducción. Por último, se realizaron pruebas de generación con tripulantes para comparar el desempeño de los generadores dispuestos y la comodidad del pedaleo. La Figura 1 presenta el esquema del sistema de inyección de potencia mecánica. La descripción de las etapas de investigación y las pruebas realizadas se muestran a continuación.

2.1. Potencia mecánica generada por un tripulante

Se diseñó una prueba de condición física utilizando el piloto de generación [12]. Se midió la potencia mecánica en el volante de inercia y la velocidad media del mismo. Los criterios y parámetros que intervienen en el análisis estadístico de la prueba son población, diseño de la prueba de potencia física y determinación de la muestra.

2.1.1. Población

La población analizada fue los estudiantes de ingeniería eléctrica e ingeniería electrónica de la Universidad Industrial de Santander.

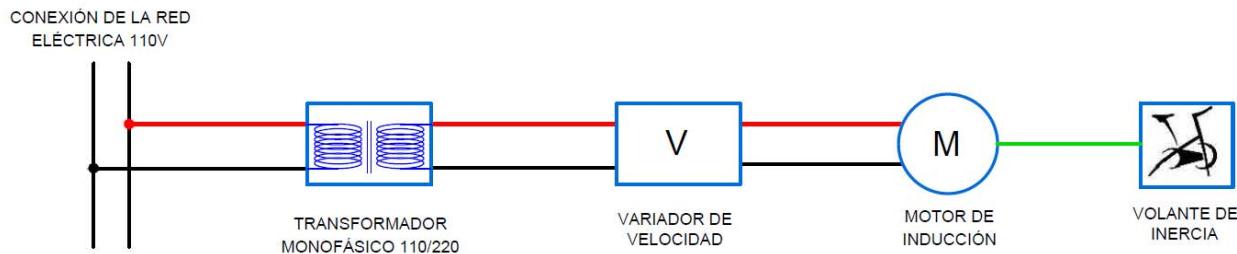


Figura 1 Diagrama de conexión del sistema de inyección de potencia mecánica. **Fuente.** Elaboración propia.

2.1.2. Diseño de la prueba de potencia física

La prueba de rendimiento consistió en hacer girar continuamente el plato de la bicicleta durante seis (6) minutos (tiempo recomendado por Rios [18]) utilizando las extremidades inferiores. El tripulante debía permanecer sentado en el sillín de la bicicleta en la totalidad de la prueba con el fin de no involucrar el peso corporal total.

Se consideraron seis niveles de par de frenado en cada prueba, para lo cual se empleó un sistema de freno de mordazas previamente caracterizado. La Tabla 2 presenta el par de frenado para cada nivel.

La velocidad se midió sobre el volante de inercia de la bicicleta mediante un sensor de velocidad acoplado a un módulo NI USB 6009. La adquisición y procesamiento de datos se realizó mediante el software LabVIEW.

Tabla 2. Nivel de dificultad y par de frenado.

Nivel de dificultad	Par de frenado [Nm]
VI	5,83
V	4,07
IV	3,38
III	2,61
II	2,21
I	1,66

Fuente. Elaboración propia.

2.1.3. Determinación de la muestra

Para determinar el tamaño de la muestra (n) se empleó la ecuación (1) considerando una población normalmente distribuida, donde z es el factor de distribución de acuerdo al nivel de confianza, σ^2 es la varianza y E es el error esperado [19].

$$n = \frac{z^2 \sigma^2}{E^2} \quad (1)$$

La varianza se determinó a partir de un muestreo previo de 31 participantes. Se encontró una desviación estándar σ de 17,5 W y con un nivel de confianza del 97% (equivalente a $Z = 2,17$) y un error de 5 W en la potencia promedio. Se determinó que la muestra aleatoria ha de ser de 58 tripulantes.

2.2. Selección del generador y diseño del sistema de transmisión de potencia mecánica

La búsqueda de un generador reusado se realizó según la disponibilidad de componentes en los centros de reciclaje de la ciudad de Bucaramanga (Colombia).

Una opción de generación fue el empleo del alternador de una motocicleta. A pesar de ser desechados, suelen hallarse en buen estado, por lo que su reutilización es viable. Sin embargo, se descartó por el requerimiento de velocidades superiores a 4 000 rpm, y de etapas adicionales para la elevación de la velocidad.

Finalmente, se reusó un motor DC de imanes permanentes perteneciente a una bomba de aspersión de un equipo de compactación. El motor DC se caracterizó en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la UIS (Ver Numeral 3.2). Se implementó un sistema de sincronización (poleas dentadas) para el acople mecánico del motor DC al volante de inercia de la bicicleta. El generador se dispuso sobre rieles para tensar la correa dentada. La Figura 2 muestra el diseño del sistema de transmisión de potencia mecánica.

2.3. Diseño del sistema de inyección de potencia mecánica controlada

Para la inyección de potencia mecánica se usó un motor de inducción trifásico de 2 HP, 1700 rpm y 220 V controlado por un variador de frecuencia [20]. El motor de inducción se acopló por medio de una correa en V al volante de inercia de la bicicleta. El diseño del acople mecánico se muestra en la Figura 2.

2.4. Pruebas de eficiencias con potencia controlada

Para la prueba de eficiencia se caracterizó el motor de inducción en vacío, variando la frecuencia eléctrica entre 15 Hz y 60 Hz. Seguidamente, los generadores fueron acoplados (de manera individual) para determinar el rendimiento de cada uno de ellos. Durante las pruebas el sistema se operó en modo conexión a la red. El generador se conectó a un inversor Grid Tie [17] y se incrementó la frecuencia del variador hasta que la potencia generada alcanzó un valor superior a la potencia media hallada en la prueba de potencia mecánica.

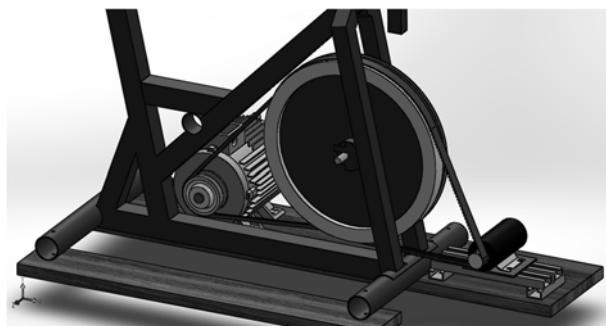


Figura 2. Diseño del sistema de transmisión de potencia mecánica. **Fuente:** Elaboración propia.

2.5. Pruebas de rendimiento con tripulantes reales

Se realizaron pruebas con tripulantes para validar los resultados obtenidos en las pruebas de eficiencia con potencia mecánica controlada. Estas pruebas consistieron en tripular el sistema bicicleta – generador por un periodo de cinco (5) minutos con la finalidad de visualizar la evolución de la velocidad, la potencia generada y la potencia entregada al inversor Grid Tie.

Finalmente, se compararon los resultados obtenidos para determinar la alternativa más eficiente. Las pruebas de rendimiento con potencia controlada y con tripulantes reales fueron monitorizadas por medio de un entorno virtual desarrollado en LabVIEW.

La Figura 3 muestra las conexiones eléctricas y la disposición de los sensores del sistema de monitorización

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Esta sección presenta los resultados de mayor relevancia de las pruebas realizadas, tales como la estimación de la potencia mecánica humana, la caracterización del motor DC como generador, la caracterización del comportamiento de los dos generadores para diversas velocidades y la comparación del desempeño entre ellos.

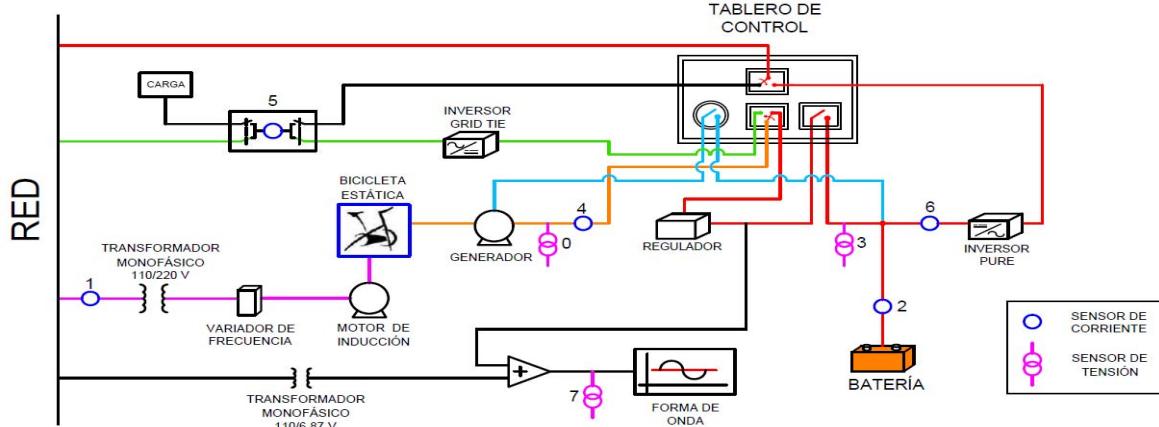


Figura 3. Diagrama unifilar del sistema de monitorización. **Fuente:** Elaboración propia.

Resultados de la prueba de potencia física

En prueba de potencia física, la potencia media entregada por la totalidad de los participantes fue 62,1 W y la velocidad media del volante de inercia fue 185,4 rpm. Se encontró un valor pico de potencia mecánica de 200 W. La Tabla 3 presenta los resultados promedio por nivel de dificultad.

Ya que se busca generar energía eléctrica, el nivel de dificultad se relaciona con la potencia eléctrica generada, entre mayor sea la velocidad del volante de inercia, mayor es la tensión en bornes del generador; y entre mayor sea el par de dificultad, mayor es la corriente generada. Según los resultados encontrados, la potencia nominal del generador acoplado a la bicicleta estática usada debe ser entre 150 W y 200 W.

3.1. Caracterización del motor DC empleado como generador

El proceso de caracterización del motor DC permitió establecer una capacidad de corriente en 8,6 A a 155 °C, con un conductor del rotor calibre 19 AWG (doble conductor). La resistencia del rotor se calculó indirectamente midiendo la corriente de rotor bloqueado a diferentes tensiones, determinándose en $0,9343 \pm 0,1612 \Omega$. La tensión inducida en el motor DC en función de la velocidad del volante está dada por la ecuación (2).

$$T = 0,099 \cdot n_v + 0,69 \quad (2)$$

Donde T es la tensión inducida del generador en vacío y n_v es la velocidad del volante acoplado al generador. La relación de velocidad del motor DC y el volante de la bicicleta es 12,7:1. El rango de velocidad apropiada para el motor DC es 1500 rpm - 3500 rpm.

La Tabla 4 presenta las características principales de los dos generadores.

Tabla 3. Resultados por niveles de la potencia entregada y velocidad de pedaleo en la prueba de potencia mecánica.

Género	Masculino (74 participantes)		Femenino (11 participantes)	
	Potencia [W]	Velocidad [rpm]	Potencia [W]	Velocidad [rpm]
Nivel de dificultad	VI	115,1	197,34	67,0
	V	75,4	173,9	50,4
	IV	61,0	170,7	41,9
	III	52,5	186,9	38,8
	II	48,7	205,4	37,9
	I	43,23	235,2	37,5
Promedio	66,0	194,9	45,6	145,0
Desviación estándar	17,1	47,8	9,0	20,1
Potencia media global	60,1	Desviación estándar	17,8	
Velocidad media global	185,4	Desviación estándar	478,0	

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 4. Características principales de los dos generadores.

Característica	Alternador de automóvil [12]	Motor DC como generador
Corriente nominal	55 A	8,6 A
Rango de velocidad	1 800 – 6 000 rpm	1 500 – 3 500 rpm
Ecuación de tensión inducida	$0,0731 \cdot n_{pe} + 1,05$	$0,099 \cdot n_v + 0,69$
Relación de velocidad (generador/volante)	11,06	12,68
Potencia de excitación de campo	20 W	0 W
Acople mecánico	Directo por fricción	Polea de sincronización

Fuente. Elaboración propia.

3.2. Eficiencia de los generadores

Para caracterizar el funcionamiento de los dos generadores se varió la frecuencia del motor de inducción hasta que el sistema alcanzó potencias de generación de 90 W. La Figura 4 presenta la comparación entre el rendimiento de los dos generadores. Se aprecia que la eficiencia del alternador de automóvil es negativa para velocidades del volante inferior a 143 rpm. La eficiencia del motor DC como generador es superior para cualquier velocidad y se estabiliza cerca al 60%.

3.3. Pruebas de potencia con tripulantes reales

Se realizaron pruebas de potencia con cuatro (4) tripulantes para cada generador. Las figuras 5 y 6 presentan la evolución por minuto de la potencia generada con el alternador de automóvil y el motor DC, respectivamente. La potencia registrada por tripulante corresponde al valor entregado en terminales del generador respectivo.

La Figura 5 permite apreciar que en ocasiones las pérdidas de potencia en el campo del alternador de automóvil son mayores a la potencia generada. Adicionalmente, la potencia máxima registrada es 46,5 W, lo cual equivale al 70% del valor máximo por minuto encontrado en la prueba de potencia con tripulantes del motor DC.

La evolución de potencia por minuto para los tripulantes empleando el motor DC como generador es estable y presenta similitud entre los tripulantes, además la potencia generada está comprendida entre 20 W y 65 W, y no existen pérdidas por excitación de campo.

Tomando como ejemplo un participante de las pruebas de potencia realizada, se puede apreciar que la potencia generada con el alternador de automóvil está por debajo de la potencia de alimentación del campo la mayor parte del tiempo, generando de esta manera una potencia media de 1,7 W. Al utilizar el motor DC como generador, el tripulante entrega una potencia media de 56,4 W, lo cual es congruente con los resultados de la prueba de potencia mecánica y las cifras expuestas por [6], [12].

La Figura 7 presenta la comparación de la potencia neta generada promedio con los dos generadores por un tripulante. La energía desarrollada en 300 segundos con el motor DC es 4,9 Wh, por el contrario, al emplear el alternador de automóvil, genera 2,1 Wh de los cuales, el 93% es consumido en la excitación del campo.

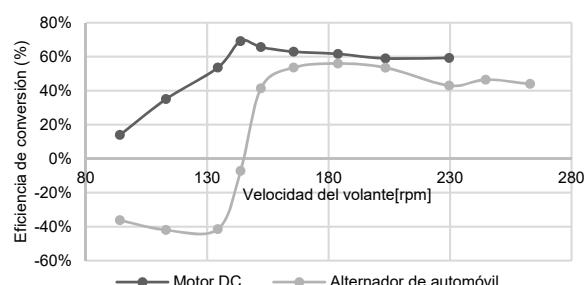


Figura 4. Comparación de la eficiencia de los dos generadores. **Fuente.** Elaboración propia.

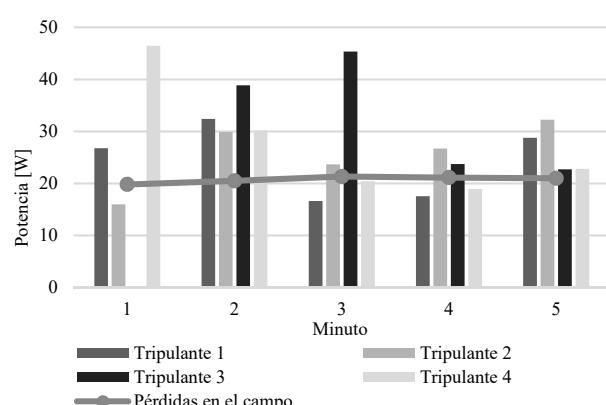


Figura 5. Evolución por minuto de los tripulantes con el alternador [12]. **Fuente.** Elaboración propia.

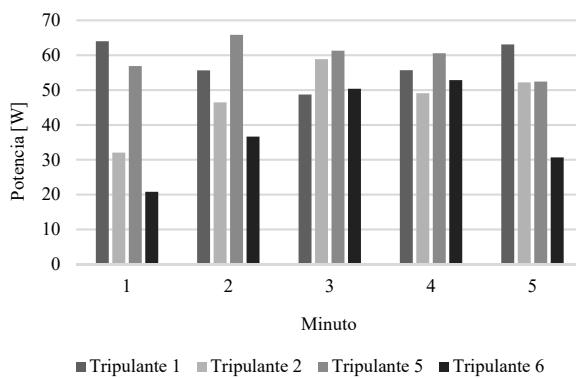


Figura 6. Evolución por minuto de los tripulantes con el motor DC como generador. **Fuente.** Elaboración propia.

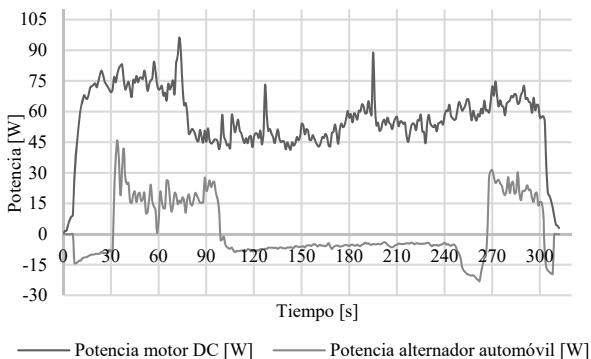


Figura 7. Evolución de un tripulante en las pruebas de generación con los dos generadores. **Fuente.** Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos en esta investigación, se estableció que un tripulante promedio está en capacidad de generar cerca de 200 W en un periodo no superior a 30 segundos, y entre 40W y 70W cuando alcanza un ritmo constante para un periodo de varios de minutos, siendo en promedio 66 W para un periodo de 6 minutos. Estos datos son sólo aplicables para el sistema construido.

Debido al sobredimensionamiento y al consumo del campo de un alternador del automóvil, la utilización de esta opción reduce notoriamente la eficiencia del sistema de generación. La potencia demandada por la excitación del campo representa entre el 70% y 93% de la potencia generada, por lo cual un generador de imanes permanentes es más viable para este sistema.

La función MPPT con la que cuenta el inversor Grid Tie [17] asegura la entrega de la potencia máxima del tripulante y evita cambios bruscos en la velocidad del volante, de esta manera es posible controlar la intensidad del ejercicio en la bicicleta estática disminuyendo el par

aplicado en los pedales, lo cual beneficia la comodidad durante la sesión de ejercicio.

El uso de un sensor de par dinámico permite medir en tiempo real la potencia mecánica inyectada al sistema de generación por un tripulante y por ende determinar con mayor precisión la eficiencia del sistema.

La reutilización de componentes minimiza los costos de adquisición. En ocasiones estos elementos han pertenecido a maquinaria robusta, siendo una señal de calidad; como por ejemplo el motor DC considerado como alternativa de generación en este trabajo de investigación.

5. REFERENCIAS

- [1] Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M., Miller, H. L. and Chen, Z. Climate change 2007, the physical science basis, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2007, 1007 p. ISBN 978 0521 88009-1 Hardback. 978 0521 70596-7 Paperback
- [2] Schneider, Stephen H., Easterling, William E. and Mearns, Linda O. Adaptation: Sensitivity to natural variability, agents assumptions and dynamic climate changes. Climatic Change 45, pp. 203-221, 2000.
- [3] Hadland, T. and Lessing, H. E. Bicycle design, a illustrated history. Massachusetts London, England: The MIT Press Cambridge, 2014, pp. 332-349.
- [4] Gambarota, L. Exercisers & Equipments. Motor Gym, [en línea], junio 2009, [fecha de consulta 08 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://www.motorwavegroup.com/Motorgym/>
- [5] Gibson, T. Turning sweat into watts. IEEE SPECTRUM, 48(7), pp. 50-55, Julio 2011. DOI: 10.1109 /MSPEC.2011.5910449
- [6] Technical Info. Human Dynamo, [en línea], [fecha de consulta 08 de febrero de 2016]. Disponible en: http://www.humandynamo.com/technical_info.html
- [7] Human powered machine innovations exhibited at the 2010 Midwest Renewable Energy Fair by Working Bikes Cooperative. Working Bikes, [en línea] 2010, [fecha de consulta 08 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://www.workingbikes.org/human-powered-machine-innovations-exhibited-at-the-2010-midwest-renewable-energy-fair-by-working-bikes-cooperative/>
- [8] NOKIA. Nokia Bicycle Charger Kit, Finlandia, 2010, 17 p.
- [9] Rounsevell, J., Shubert, C., Snitowsky, M. and Wong, A. Harvestin human exercise power at the Cal Poly Rec Center: exercise bike power generator II, San Luis

Obispo: California Polytechnic State University, Mechanical Engineering Department, 2009, 92 p.

[10] Megalingam, R. K., Veliyara, P. S., Murali, R. P. and Katoch, R. Pedal Power Generation, Internal Journal of Applied Engineering Research, 7(11), pp. 1473-1477, 2012.

[11] Flóres-Reyes, J. O. y Núñez-Rodríguez, C. F. Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de bicicletas estáticas, trabajo de pregrado, Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, 2011, 77 p.

[12] Durán-Chacón, J. V. y Gil Fernández, A. J. Generación de energía eléctrica apartir de una bicicleta estática: montaje de una unidad piloto, trabajo de pregrado, Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, 2013, 28 p.

[13] Sanjay, S. D. Harvesting electrical energy from a stationary bike: An experimental Approach, tesis (maestría en ingeniería electronica y sistemas informáticos), Nueva Zelanda, Massey University, Escuela de Ingeniería y Tecnología Avanzada, 2014, 151p.

[14] Osma-Pinto, G. A. Uso racional de la energía en el edificio de Eléctrica II a partir del diseño de aplicaciones energéticas sostenibles, trabajo de investigación (Maestría en Ingeniería Eléctrica), Bucaramanga,

Colombia, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, 2011. 253 p.

[15] Huber, E., Sanchez, R. y Sato, S. The Power Workout: converting exercise into electrical energy. San Diego, Universidad de San Diego, 2009, 59 p.

[16] Benitez, Y. D., González, J. B. y Rosero, J. Producción energética en un modelo para gimnasios colombianos, Visión Electrónica: algo más que un estado sólido, 7(2), pp. 125-134, abril de 2014. ISSN 2248-4728

[17] Ningbo National Hi-Tech Park Sunshine Technology Co., Ltd. 300W Power Inverter, Grid-Tie Inverter (SUN-300G) - China Grid-Tie Inverter, Grid Inverter, [en línea], [fecha de consulta 08 de febrero de 2016]. Disponible en: <http://sunshine.en.made-in-china.com/product/koxJOCSrLKVe/China-300W-Power-Inverter-Grid-Tie-Inverter-SUN-300G-.html>

[18] Rioz-Zorrilla, M. A. Análisis, desarrollo y evaluación de un plan de entrenamiento sobre bicicletas estáticas “E.S.B.E.”, tesis (Maestría en Educación Corporal), La Plata, Argentina, Universidad Nacional de la Plata, Facultad de humanidades y ciencias de la educación, 2013, 145 p.

[19] Montgomery, D. C. y Runger, G. C. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería, 1a ed., México, McGRAW-HILL, 1996. 1000p.

[20] Eurotherm Drives. Product manual 601, Inglaterra, Eurotherm Drives Ltd., 1999, 30