

Estado actual de generadores de energía eléctrica accionados por mecanismo de pedales

Current status of pedal-driven electric power generators

Agustín Escamilla Martínez ^a, Raúl Contreras Acosta ^b, Daniel Tress Fuentes ^c, Guadalupe Márquez Peña ^d

Abstract:

Human force applied to low power mechanical activities, has been used for small electric generator units development. Through the review and information analysis this paper presents the actual status of pedal activated electric generation technologies and its potential application on low energy demand domestic activities in off-grid communities. Power peaks from a person can reach to 1500 Watt during 4 secs period, with fast descending while the time increases; reported values of power with pedal electric generator ascends from 75 to 300 W., on 1 hour period with pedalling speed from 50 to 60 rpm. Best electric generation results have been reached on generators using flywheel coupled transmissions, which increases angular speed from 20 to 45 times over input velocity of pedals shaft. The most advanced developments are guided towards compact commercial portable packages driven by pedals or manually with costs between \$2,554.0 to 5,120.0 MXN, which are being promoted as a low-generation option, and rather as an eco-friendly option.

Keywords:

Energy, Flywheel, pedal electric generation

Resumen:

El uso de la fuerza humana para realizar actividades mecánicas de bajos requerimientos de energía, se ha utilizado para el desarrollo de pequeñas unidades para la generación de energía eléctrica. A través de una revisión y análisis de información se presenta el estado actual de las tecnologías para generar energía eléctrica por transmisiones mecánicas de pedales y se visualiza el potencial de uso para aplicaciones domésticas de bajo consumo de energético en zonas aisladas de la red eléctrica. Los picos de potencia de una persona pueden llegar hasta 1500 W en tiempos de 4 s, y descienden rápidamente a medida que el tiempo se incrementa; los valores reportados de potencia aprovechable con fines de generación de energía eléctrica por pedales reportan valores desde 75 hasta 300 W, por periodos superiores 1 hora, con velocidad de pedaleo de 50 y 60 rpm. Los mejores resultados de generación eléctrica se han obtenido en dispositivos provistos de volante de inercia en transmisiones mecánicas que incrementan la velocidad angular desde 20 hasta a 45 veces respecto a la velocidad de entrada en el eje de los pedales. Los desarrollos más avanzados se orientan a paquetes compactos portátiles comerciales conducidos por pedales o manualmente con costos entre \$ 2,554.0 a los 5,120.0 MXN que se están promoviendo como una opción de baja generación, y más bien como una opción ecológica.

Palabras Clave:

Energía, Volante de inercia, generación eléctrica por pedaleo.

INTRODUCCIÓN

El uso de la fuerza humana ha permitido el desarrollo de las civilizaciones. La creatividad por su parte ha motivado el

desarrollo de mecanismos y máquinas que han permitido agilizar diversas operaciones desde las más simples hasta las más complejas, transformando el mundo. Uno de los desarrollos que ha facilitado la operación de algunas

^{a,b,c,d} CIATEQ, A. C. | Querétaro | México, <https://orcid.org/0000-0002-1861-5324>, Email: aguesc@ciateq.mx;

<https://orcid.org/0009-0009-3038-0722>, Email: rcontrer@ciateq.mx; <https://orcid.org/0009-0009-0880-5448>,

daniel.tress@ciateq.mx; <https://orcid.org/0009-0009-3038-0722>, marqz.guadalup97@gmail.com

Fecha de recepción: 30/09/2024, Fecha de aceptación: 09/10/2024, Fecha de publicación: 13/12/2024

DOI: <https://doi.org/10.29057/est.v10iEspecial.13876>



actividades, que obedece a principios básicos de la mecánica, es un sistema para hacer girar un rotor a través de una transmisión mecánica impulsada manualmente o por pedales (pedal unit power). Estos sistemas toman el concepto de diseño mecánico de una bicicleta, el cual se ha utilizado para bombeo de agua, trituración de granos y ciertos forrajes, separación de semillas y para elevación de cargas, entre otros. Dependiendo de uso, la potencia útil de una persona se puede aplicar en baja o alta velocidad de giro, y por ejemplo se ha utilizado para el conformado de acero en frío a muy bajas velocidades (Escamilla Martínez, 2009). Una aplicación analizada y probado es la generación de energía eléctrica utilizando el mismo principio y a través de generadores de corriente directa o alternadores, donde en la mayoría de los casos la energía se almacena en baterías para el uso posterior en la energización de aparatos de bajo consumo de energía tales como focos, y televisión entre otros. A través del tiempo se ha realizado mejoras en los sistemas de generación eléctrica, control y carga de baterías, así como en la transmisión mecánica a través del uso de volantes de inercia para mejorar la eficiencia de generación. En términos generales, se trata de una tecnología simple, de baja capacidad de generación de energía eléctrica, pero que puede resolver parcialmente las necesidades de electricidad en hogares alejados de las redes eléctrica y que viven en pobreza energética.

METODOLOGÍA

Se realizó la recopilación y análisis de información de fuentes bibliográficas recientes, provenientes de trabajos de investigación, tesis y patentes. El objetivo, fue conjuntar información que permitan identificar el estado actual del diseño y desarrollo de sistemas para la generación de energía eléctrica a través de energía humana por pedaleo, así como las tendencias de diseño y uso de estos sistemas en el corto plazo.

DESARROLLO

La energía humana

Estudios indican que la energía humana expresada en Watts puede estar por arriba de 1000 W en función de la condición física de la persona, y el tiempo ejecución de la actividad. La resistencia, esto es el tiempo que puede mantener la actividad, depende también del aporte nutritivo a los músculos y a la cantidad de glucógeno que se ha almacenado en estos, antes de la realización del ejercicio, así que una persona con una dieta rica en hidratos de carbono almacena mucho más glucógeno en los músculos que una persona con una dieta mixta o rica en grasas (Recalde-Zalazar, L. G., 2015).

La medición de la energía que puede generar un individuo durante una actividad se puede realizar de diferentes maneras. La forma más correcta es a través de medición de la tasa de oxígeno que consume el cuerpo humano, a lo que se llama volumen máximo de oxígeno o VO₂max. Como dato aproximado de diversas pruebas en la generación de

energía de un atleta entrenado a una persona normal, ésta varía de 400 y 100 W respectivamente (Carretero Chacón, E., 2015).

En estudios diversos y condiciones normales de actividad prolongada, se reporta datos aproximados de potencia disponible para algunas especies animales utilizadas en labores agrícolas, así como la potencia humana; la referencia es el caballo que puede generar hasta 1 HP (746 Watts), y el humano promedio que puede producir aproximadamente 75 W. Para un atleta de alto rendimiento, en periodos de 8 a 10 segundos de actividad, se pueden desarrollar hasta 1,144.5 W; para operación por 4 minutos se pueden desarrollar hasta 645 W y para 30 minutos, hasta 277.9 W; para periodos de operación de 60 minutos este valor se podría reducir a la mitad (140 W).

Tabla 1. Valores de potencia algunas especies animales y de un ser humano (Carretero-Chacón, E. op cit)

Animal	Peso (Kg)	HP (aprox.)
Buey	498-900	0.75
Caballo	400-698	1.00
Mula	350-498	0.35
Hombre	60-90	0.10

En diversas pruebas de desempeño anaeróbico por pruebas de Wingate (Sanchis Minguez, C., et al, 1994), se ha registrado valores de potencia máximas de 782 W, y potencias medias de 637 W a velocidad de giro de 70 rpm. Se reporta también una potencia máxima de 637 W por prueba de Wingate y prueba con duración de 30 segundos (Ernesto Tauda, M., 2024); la potencia reportada en W por kg de masa corporal es 8.31 kg. Datos adicionales reportados por prueba de Bosco, indican 636 W. Otras pruebas realizadas en atletas en pruebas de salto (Drop Jump Test), reporta potencias promedias de 635 W en tiempos muy cortos, con desviaciones estándar altas.

De Algunos experimentos básicos para determinar la potencia de una persona se refieren al método de subir escaleras que está en función de la masa de la persona, una altura de desnivel de la escalinata, y el tiempo para subir; con estos datos se ha estimado potencias que van desde los 400 a los 700 W en tiempos no mayores a 10 s (Tomas Cerrano, A., 2012).

En la figura 1 se muestra un resumen de diferentes perfiles de prueba en función de la duración de la actividad. Se observa que, a mayor duración de la actividad física, la potencia desarrollada es menor. Igual depende del tipo de atleta o persona probada. La curva más baja se refiere a una persona sana común, donde su potencia sostenida puede llegar a 200 W por 1 hora. Se puede observar que el mejor valor para sostener la actividad por 60 minutos operando el sistema a 50 rpm, puede generar hasta 200 W en una persona normal.

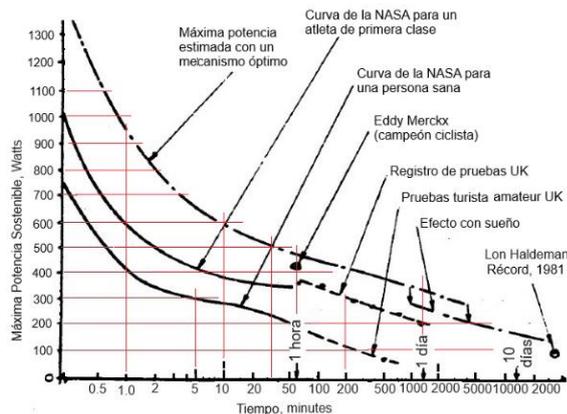


Fig. 1. Potencia desarrollada por diferentes tipos de personas. (Alex Weir, 1980).

Entonces en general en pruebas estandarizadas de atletas, se reportan valores de potencias máximas, que en algunos casos superan 1 kW, pero que esta disponibilidad disminuye drásticamente con la duración de la actividad de prueba, llegando a valores por debajo de 200 W para periodos mayores a 60 minutos.

La energía útil por pedaleo

El mayor uso de la potencia de pedaleo es para la conducción de bicicletas, aunque en la actualidad se está diversificando su uso. Con frecuencia las potencias nominales para estos dispositivos están en el orden 75 W. Para potencias menores se conducen dispositivos agrícolas, bombas de agua y generadores eléctricos. De acuerdo con el tipo de mecanismo para transformar la energía humana, una persona puede generar cuatro veces más potencia utilizando la conducción de manivelas por pedales que manualmente, y que puede representar hasta un ¼ de caballo (186.5 W) (Alex Weir, 1980 op cit; Tiwari et al, 2011; Gordon Wilson, D., 1986), sostenido por periodos hasta de 10 minutos; si se pedalea para obtener una potencia 1/8 hp (93.25 W), se puede sostener el ritmo por unos 60 minutos.

La potencia de pedaleo se puede utilizar para generar energía eléctrica aplicable en iluminación o pequeños enseres domésticos (televisión, celular). Para ello el sistema electromecánico se deberá proveer de un circuito que permita almacenar la energía y después recuperarla para su uso. Para ellos se puede utilizar un generador de corriente directa (CD) o un alternador de corriente alterna (AC), a través de un circuito que alimenta una batería en paralelo con la carga. Para ambos casos, DC o AC, se debe utilizar una transmisión mecánica desde los pedales para conducir el generador con una razón de transmisión adecuada, comúnmente incrementando la velocidad de giro. (David Gordon Wilson, D., op cit 1986).

La energía promedio aprovechada de una persona para conducción por pedales, puede representar 75 a 90 W nominales, en operación estable de 30 a 50 rpm y por periodos de 60 minutos; para personas fuertes y saludables, este valor se puede llegar a 150 W, y personas débiles puede llegar a 50 W. Datos adicionales, reportan potencias de 200 a 300 W, que se acercan a 0.5 HP.

Algunos datos reportados con mediciones de VO₂max, en particular en actividades de pedaleo, se muestran en la Tabla 1, en tres situaciones de tiempo de la prueba.

Tabla 1. Potencia desarrollada por una persona en tres situaciones de pedaleo. (Citado por Carretero Chacón, 2015 op cit).

Actividad	Duración de la prueba (Minutos)	Potencia de salida (watts)
Pedalear	1	400-500
Pedalear	30	300-400
Pedalear	Mas de 60	225-300

En la figura 2 se muestra la generación de potencia en un sistema convencional de conducción de bicicleta en función de la velocidad de giro del eje de los pedales. Si la actividad de pedaleo se prolonga por varias horas, se puede considerar la generación de 75 W como límite saludable para una persona normal que no es atleta (Tiwari et al, 2011 op cit). Varios autores concluyen que el pedaleo más eficiente es de aproximadamente de 50 rpm para generar la máxima potencia por periodos más largos. (David Gordon Wilson, 1986). De la figura 2, partiendo de 50 rpm, se podrían lograr sobre 90 W.

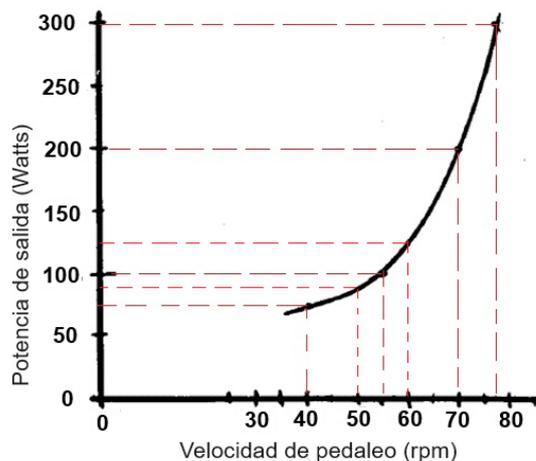


Fig. 2. Potencia por pedaleo en función de la velocidad de giro.

En pruebas considerando carga inercial con el uso un cicloergómetro (Lara Sánchez, 2025), con brazo de pedal de 170 mm, corona de 60 dientes y un *encoder*, conectado a la rueda del cicloergómetro; la rueda tenía una inercia de 0.95 Kg.m² y la carga inercial a vencer en el sistema era de 8.72 Kg.m² (Figura 3). Las pruebas realizadas reportan valores pico hasta de 1550 W logradas en el 4 pedaleo con el pie izquierdo y que después de 4 s la potencia se estabiliza.

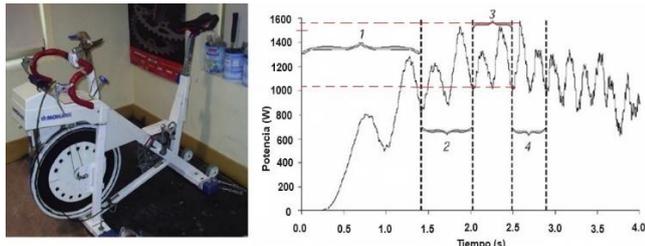


Figura 3: Evolución de la potencia a lo largo del tiempo en la prueba de carga inercial. (Lara Sánchez, 2005).

Cinemática y la dinámica del Pedaleo

Al conocer la posición angular del brazo de los pedales y la dirección de la aplicación de la fuerza del pie, se puede calcular la magnitud de las fuerzas que se descomponen en radial (hacia el centro) y tangencial a la trayectoria circular; siendo la fuerza tangencial la única que aporta trabajo útil. En términos prácticos, la fuerza tangencial o efectiva desarrollada por un ciclista siempre es perpendicular al brazo del pedal y es la que produce el movimiento. Debido a la dirección de aplicación de la fuerza y a la circunferencia que describe el sistema de pedales, el valor de la fuerza efectiva toma valores desde cero en los puntos muertos (PM), hasta valores pico que aprovechan toda la fuerza que puede desarrollar el pie del conductor. *La fuerza efectiva máxima se desarrolla aproximadamente entre 100° y 110°, las fuerzas efectivas negativas se presentan entre 180° y 360° (carrera ascendente del ciclo) y las fuerzas positivas más bajas se presentan entre 0° y 90°.* Estos ciclos de fuerza se presentan por cada pierna del operador, alternándose entre el pie derecho e izquierdo, y separados entre ellos 180°, de tal forma que los puntos de mayores fuerzas negativas son mitigados por las fuerzas positivas, y solo existiendo puntos muy específicos sin aporte de fuerza en cada ciclo de 180°.

Mejorando la técnica de pedaleo se puede mejorar la conversión de energía humana a mecánica. La fuerza aplicada los pedales básicamente se descompone en dos, una fuerza radial, hacia el centro del eje de rotación de los pedales, y una fuerza que es siempre tangencial a la circunferencia del giro del pedal, siendo la única que contribuye a la generación de potencia mecánica. La fuerza radial no tiene ningún efecto positivo y más bien genera reacciones sobre el eje, que pueden incrementar marginalmente a la resistencia de giro en los rodamientos del eje. La situación ideal es que, al conducir los pedales, se pudiera lograr solamente una fuerza tangencial constante. Debido a las condiciones fisiológicas y antropométricas del cuerpo humano, en el sector 2 de la figura 4 se generan grandes fuerzas tangenciales, en contraste con el sector 4, donde la liberación de la presión del pie sobre los pedales genera fuerzas en contra del sentido de giro. (Thomas Hanke, 1998), citado también por Ráchelo Martínez CA (2016).

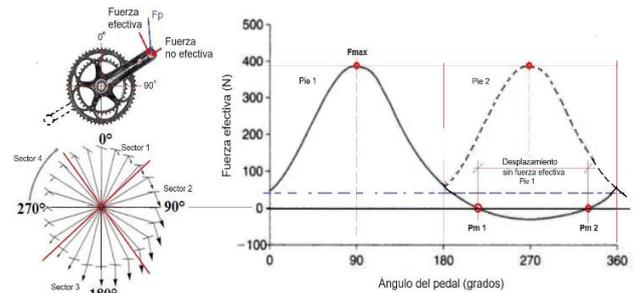


Fig. 4. Fuerza efectiva y no efectiva, reloj de pedaleo, Magnitud de fuerza de pedaleo en función del ángulo de aplicación de la fuerza [2] (Rachelo, 2016, adaptado por A. Escamilla)

Las dimensiones típicas del sistema de transmisión de pedales en una bicicleta tienen un brazo de palanca de 160 a 170 mm, medidos desde el centro del pedal al eje de rotación; en algunos casos se utiliza hasta 200 mm, logrando los mejores rendimientos en longitudes de 160 a 180 mm. (Zabala, L., 2015).

En el accionamiento de los pedales, en ciertas posiciones se generan puntos muertos (Pm1 y Pm2) que suceden aproximadamente a 225° y a 315°. Lo ideal es que estos puntos muertos no existiera para eliminar la zona de desplazamiento sin fuerza efectiva. Si esto sucede, en el caso de un generador eléctrico, no se generaría energía.

Para la conducción de mecanismos en rotación por pedales, la posición del asiento del operador respecto al eje del brazo de los pedales es muy importante, dado que de ahí deriva la capacidad de aprovechar al máximo la fuerza de las extremidades inferiores del individuo. Esta posición, deberá ser cómoda para evitar daños al sistema muscular. (Edison, 1986) reporta una posición para sistemas de conducción por pedales para trituración de granos y bombeo de agua.

Escamilla-Martínez, A (2016) op cit, desarrolló un dispositivo para el conformado de acero en frío, se determinó que una persona puede generar hasta 0.75 hp, verificado en la conformación de perfiles de acero de características conocidas. El tiempo de operación puede llevar desde 10s hasta 5 minutos, razón por la cual se pueden desarrollar potencias cercas a un HP o incluso superiores. En diferentes pruebas y tomando como referencia la disposición de asiento y pedales de una bicicleta de turismo, se probaron las posiciones del asiento respecto al eje de los pedales, como se indica en la figura 5. La posición del pedal (1) es fija y la posición del operador se ajusta con la posición del asiento (3) ajustable en altura y en ángulo respecto a la vertical. La posición más cómoda probada es la intermedia. La separación del pedal al piso es de 10 cm. La distancia entre la posición del eje de los pedales y el asiento entre uno y otro autor (735.5 mm y 635 mm), se asocia a las medidas de extremidades inferiores de los diferentes operadores, la diferencia entre uno y otro es de 100 mm; las medidas antropométricas de un persona latina y una americana son diferentes.

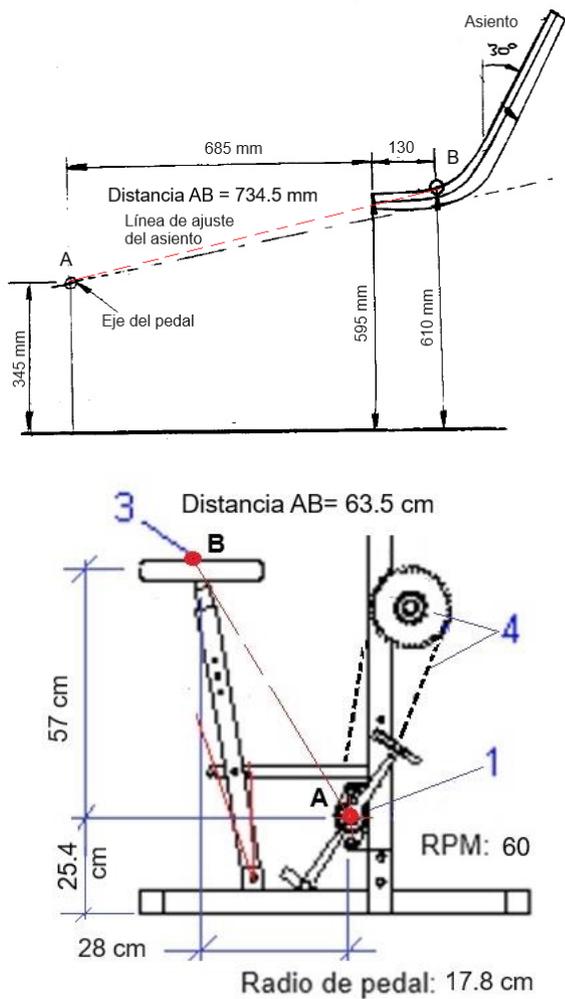


Figura 5. Posición del asiento para pedaleo (Wilson Edison, 1986; Escamilla-Martínez, 2009).

Dispositivos para generar energía eléctrica

Sistema mecánico y eléctrico

El arreglo básico de un generador de energía por pedales incluye dos sistemas fundamentales, el sistema mecánico y el sistema eléctrico, siendo el dinamo y la bicicleta la forma más simple y legendaria de generar energía eléctrica por una persona.

Dinamo directo a bicicleta. La forma conocida más simple de generar electricidad por pedales es por la colocación de un *dinamo* que genera energía o en tiempo real y alimenta el foco de la bicicleta. La generación de luminosidad es intermitente dependiente de la variación de pedaleo. El dinamo se monta rígidamente al marco de la bicicleta (Fig. 7), en una cara de la periferia del neumático de hule, que típicamente incluye un rallado, donde la cabeza del dinamo hace contacto con ella, para lograr mejor transmisión de potencia. Dado la diferencia de diámetro entre la rueda y la cabeza del dinamo, se logran incrementos de velocidad angular que pueden llegar a 1200 rpm. En general esta actividad es extenuante, y en corto tiempo el operador se

fatiga, aparte de que la acción causa ruido molesto. Un **dinamo es un generador de energía eléctrica** que a través de inducción magnética genera energía eléctrica de corriente continua a partir de un flujo magnético. El dispositivo incluye un rotor que gira a alta velocidad en torno a una bobina fija, produciendo un campo magnético que induce una corriente en la bobina fija. La corriente producida es proporcional a la velocidad angular del rotor.

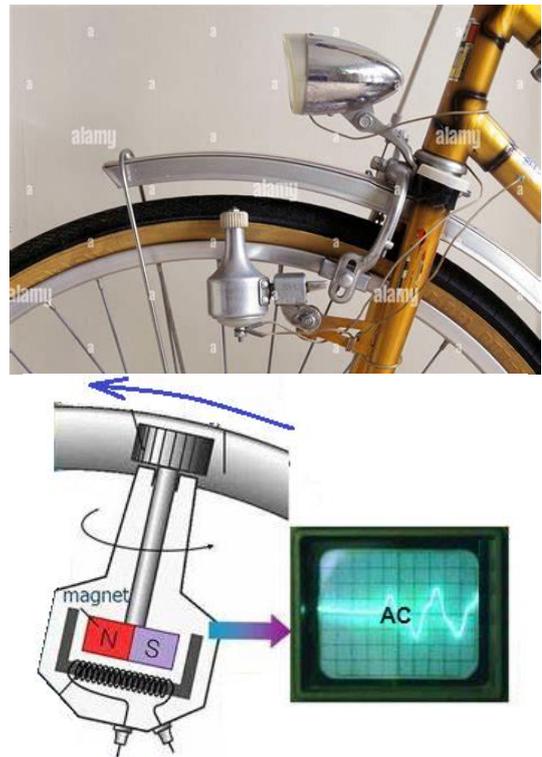


Fig. 7. Colocación de dinamo en la periferia de la llanta de bicicleta.

El sistema mecánico se fundamenta en el diseño de una bicicleta donde se utiliza la parte trasera del equipo, Figura 8 y 9. Se utiliza el mismo sistema de transmisión mecánica de la catarina y el eje con pedales, la cual trasmite movimiento al eje de la rueda trasera a través de una catarina provista de trinquete y una cadena de rodillos que une a ambas catarinas. La primera opción de generación consiste en la adición de una catarinas al eje de la rueda trasera de la bicicleta, que a través de cadena hace girar a otra catarina montada directamente al generador. La segunda opción es utilizar el radio exterior de la rueda trasera de la bicicleta para ahí montan una banda que conduce a una polea montada directamente al eje del generador. Y la última opción, es poner en contacto directo el neumático de la rueda trasera de la bicicleta con el eje del generador con rodillo de diámetro pequeño.

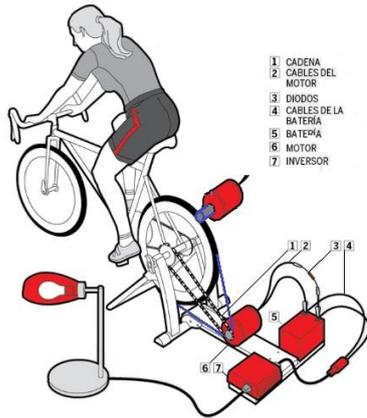


Fig. 8. Diseño básico de generador de pedales (tomado de Construye un generador a pedales - Quo (eldiario.es))

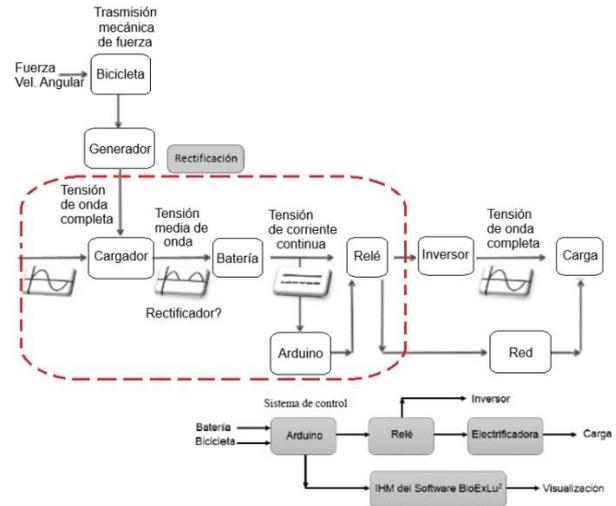


Fig. 10. Circuito eléctrico y de control (Zabala, 2015)

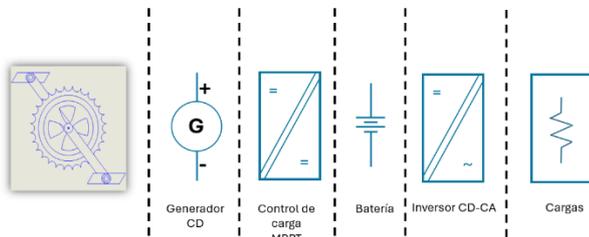


Fig. 9. Diagrama esquemático del sistema (Fuente: elaboración propia)

Zabala, L (2015), realiza un diseño básico compacto basado en el cuerpo de una bicicleta; aprovecha el primer incremento de velocidad de la corona y pedales hacia el eje de la rueda trasera que tiene el *sprocket* con trinquete. De aquí toma el diámetro de la rueda trasera para conducir con una banda tipo V a un eje de diámetro 10 veces más pequeño, que es el que tiene montado el generador, logrando una transmisión que incrementa por encima de 17 veces la velocidad de entrada del pedaleo. El eje del generador gira en promedio a 2,800 rpm. Se aplica una fuerza promedio de pedaleo de 30 kgf, con brazo de pedal-eje de 20 cm y velocidad de 6.8 rpm se logró diseñar un sistema usando una bicicleta fija para la transformación de energía mecánica a eléctrica con 600 [W] de potencia en máximo, 60 [Hz], 120 [VAC] y una onda cuadrada con grandes rasgos sinusoidales. Sin embargo, la potencia máxima posible que se puede usar (potencia constante entregada por el inversor) es de 400 W. El diámetro de rueda es de 26 pulgadas (0.6604 m).

El sistema electromecánico se describe en la figura 10. El sistema eléctrico básico de un generador de energía por pedales o incluso manual se indica en la figura 10.

Kannan (2012) [14] realiza un diseño para cargar baterías a partir de un dínamo montada a una bicicleta. Para ello desarrolló un circuito que acondiciona y controla el suministro de la energía para cargar las baterías. Al giro de la rueda de la bicicleta accionados desde los pedales, la rueda de la cabeza de dinamo que está en contacto con la periferia de la llanta de la bicicleta, gira a alta velocidad y genera corriente alterna; a la salida del dinamo se coloca un circuito rectificador, que acondiciona la corriente AC a corriente DC para cargar baterías de NiMH (Nickel Metal Hydride) El circuito se integra de un puente rectificador, filtro condensador y regulador de voltaje.

Volante de inercia

El uso del volante de inercia permite una operación más suave además de que al haber picos de potencia se puede almacenar la energía para luego liberarla; es útil en transmisión de pocos pasos de incremento, donde se pueden superar con facilidad los puntos muertos durante el pedaleo. Permite que el rendimiento de la persona se incremente, a haber tiempos breves donde el operador deja de pedalear, haciendo el trabajo el volante de inercia. Las opciones de colocación del volante de inercia pueden ser directamente sobre el eje de los brazos de los pedales o en el siguiente eje, donde ya se tiene un incremento de velocidad de giro. Fig. 11.

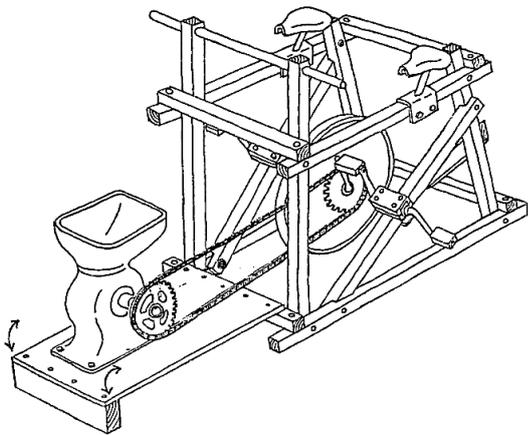
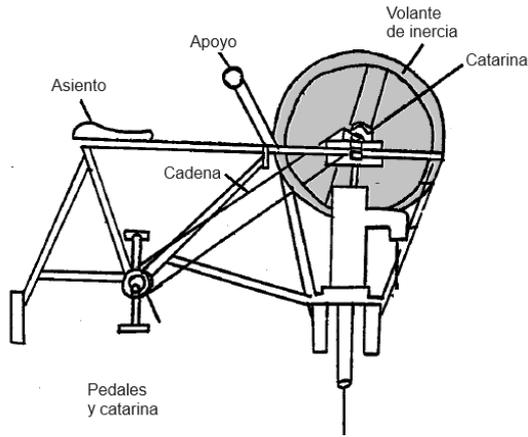


Fig. 11. Volante de inercia para bombeo de agua y para molinero de granos (Edison, 1989; Alex Weir, 1989)

Andy Wekin y Steve Blood (2014) desarrollan un dispositivo de pedales (Fig. 12) para energizar equipos eléctricos de escritorio. Se trata de un diseño con un mejor nivel de ingeniería, que reporta una eficiencia de conversión de 97%, al incluir en su diseño un volante de inercia (5). El concepto se conoce como *Pedal Power Big Rig*. El dispositivo incluye una mesa de trabajo, un asiento ergonómico con ajustes de posición, un volante de inercia (5) para pedalear suavemente, una catarina dentada montada al eje de los pedales y la catarina (3), conectadas entre sí por la cadena (2); el eje 4 sostiene al volante de inercia (5), a la Catarina 3 y poleas (6). La banda (7) conecta a la polea (6) y (8) incrementando la velocidad que alimenta al generador (9). Se ha verificado que un adulto promedio puede generar hasta 100 Watts de electricidad, bombear 5 galones de agua por minuto, moler una variedad de granos, así como operar un compresor de aire, una bomba hidráulica y una variedad de herramientas pequeñas de taller. Se puede configurar para alimentar la mayoría de los dispositivos mecánicos que requieran menos de 1 caballo de potencia.

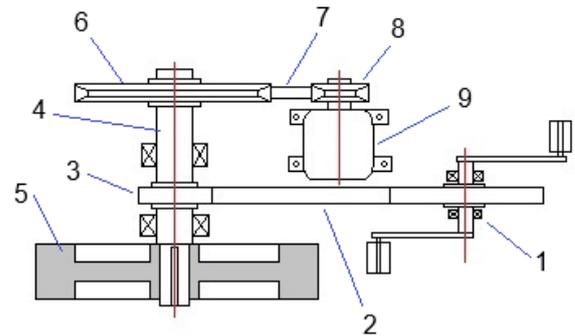


Fig. 12. Pedal Power Big-Rig (Andy Wekin, 2014).

Kumar Dubey, Singh and Modak (2020) reportan la relevancia del uso de la fuerza humana para actividades rurales que demanda baja potencia. Concluyen que a través de la tecnología denominada *Human Powered Flywheel Motor* (HPFM), se puede desarrollar potencia de 3 a 5 hp. Se trata de un sistema mecánico conducido por pedales que incrementa la velocidad y utiliza un volante de inercia de diseño apropiado. El volante de inercia tiene un diámetro de 0.5 m, con 4 brazos siendo la mejor opción de rendimiento (produce mayor momento de masa que un volante sólido). El sistema de pedaleo se utiliza para energizar el volante de inercia a su velocidad angular más alta. El volante alcanza un máximo de 800 RPM en 5-10 min.

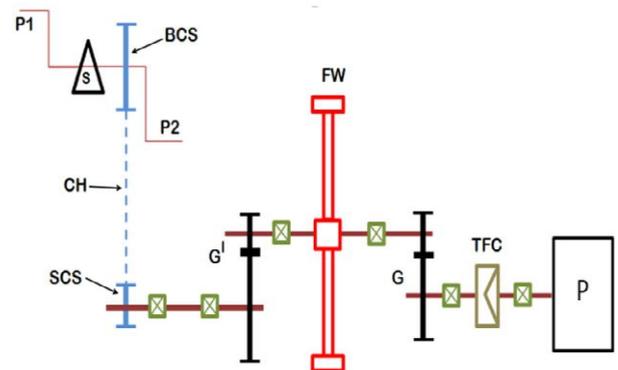


Fig. 13. Concepto del *Human Powered Flywheel Motor*, HPFM, de Modak (2022)

Kits de generadores eléctricos manuales y de pedales, tendencia al futuro

Existen diversas configuraciones de generador eléctrico de pedales y manual con el principio básico de la bicicleta donde el eje de los pedales tiene una catarina o polea grande que conduce a una de mucho menor diámetro montada directamente a un generador de CD o AC. En la figura 14 se muestra un dispositivo comercial con buenas características de diseño y de presentación, puede operar por pedaleo y de forma manual.

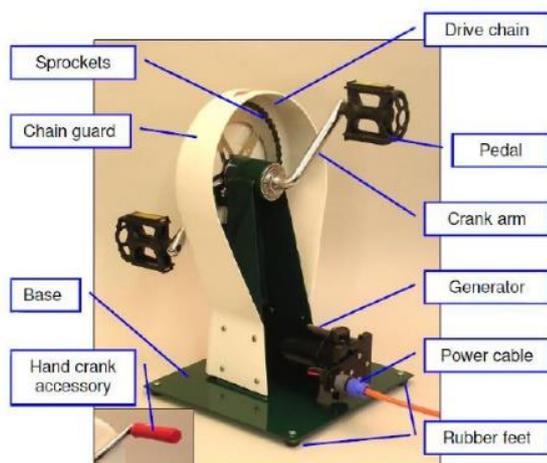


Fig. 14. Generador de Energía eléctrica por pedales, Windstream power (Mariana Morales. 2015).

En plataformas de mercado en línea actuales tales como eBay (Digitalwave, Pincelus, OutSart), Amazon (mueng, categorías de hand pedal) se oferta kits portátiles para generar energía eléctrica aislada, conducido por pedales o por las manos. Los costos de cada dispositivo van de los \$ 2,554.0 a los 5,120.0 MXN y potencias nominales de 50 a 150 W (Fig. 15).



Fig. 15. Dispositivos compactos comerciales conducidos por pedales y manual.

En pruebas, mediante el movimiento de las piernas se genera alrededor de 65W promedio y 75W de potencia pico y mediante el movimiento de los brazos se generan 35W de potencia promedio y 50W de potencia pico. La generación es baja dada la baja velocidad del eje del generador, dado que solo existe una reducción de velocidad. En diversas pruebas a 21 personas entre los 20 y 23 años se determinó que en promedio una persona produce 119 W a una velocidad de pedaleo de 66 rpm. Finalmente, el sistema acoplado generó alrededor de 90 W a 62rpm con un torque de 5 Nm (página 31). (Mariana Morales,

op cit, 2015) En dispositivo generador accionado manualmente, que alimenta a un banco de baterías se lograron potencias efectivas de 4 a 21 W en velocidades de 45 a 115 rpm y eficiencia de conversión de 33 a 65%.

Si la eficiencia se compara con el Pedal Power Big Rig, la diferencia es grande, 97% vs 33 a 65%.

DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra el resumen de las diferentes tecnologías revisadas en el presente artículo, con sus características más relevantes, su madurez y su presencia en el mercado.

ALTERNATIVA	TIPO DE GENERADOR	RANGO DE POTENCIA (W)	ESTATUS TECNOLÓGICO
Accesorio adaptable a bicicleta móvil	Alternador y/o Motor de corriente directa	250 - 500	Constituye una versión actualizada de la dynamo, razón por la que tiene suficiente madurez y presencia en el mercado.
Accesorio integrado en Bicicleta fija	Generador CD	ND	Esta tecnología se ha promovido para gimnasios en diferentes momentos, pero no se identificó una oferta comercial establecida
Generador a pedales	Alternador tipo disco	50 - 150	La tecnología mas madura y difundida en el mercado
Bicicleta estática, generador con volante de inercia	ND	ND	Tecnología madura que ofrece ventajas para el aprovechamiento de la energía eléctrica, pero sin presencia en el mercado

Tabla 1: Resumen de tecnologías, características y presencia en el mercado.

Aunque todas las tecnologías presentan suficiente madurez, se destaca una mayor aplicación de los pedales, pero esto se asocia al acierto de aplicarlos en el ámbito de la salud, con fines de rehabilitación física y agregar la generación y almacenamiento de energía eléctrica como un beneficio adicional.

En diversas pruebas de disponibilidad de potencia de una persona se han obtenido valores nominales hasta de 1500 W por periodos cortos de 2 a 5 s; en periodos más largos la potencia nominal decrece drásticamente. Sin embargo, los periodos de máxima potencia se podrían aprovechar para almacenarla temporalmente en volantes de inercia y luego liberarla al sistema de generación eléctrica. Aun cuando se ha desarrollado diversos prototipos mecánicos y de sistemas de control eléctrico y almacenaje, el uso de esta tecnología es escasamente difundido, habiendo tenido mayores aplicaciones rurales para el procesamiento de productos agropecuarios, donde la capacidad de adquisición es limitada por lo que los diseños se mantienen en niveles tecnológicos básicos. Aun cuando se trata de un diseño simple, las soluciones comerciales son pequeños kits portátiles que cubren necesidades básicas de suministro de energía. A través de la revisión es notoria la falta de información reciente, y donde muchos autores se refieren a bibliografía clásica, con información obsoleta, pero no por eso de poca utilidad.

CONCLUSIONES

Existen diversos dispositivos para generar energía eléctrica por pedales, desde los más básicos y artesanales hasta aquellos más elaborados que actualmente se están comercializando como kits transportables para utilizarse en lugares aislados. Queda claro que la capacidad de generación de energía es baja, y que no supera en el mejor de los casos los 300 W por hora, siendo los mejores resultados de 75 a 90 Wh, con velocidades de entrada en los pedales de 50 a 60 rpm. No existe más potencia en una persona, es lo máximo que se puede obtener de un adulto tipo, y la eficiencia de conversión depende de la persona y de las facilidades mecánicas que pueda tener el dispositivo tales como el volante de inercia. No existe suficiente información técnico-científica reciente en la temática y la base de diferentes diseños viene de bibliografía clásica sobre potencia por pedales. Aunque actualmente se incrementa con gran velocidad las capacidades de almacenamiento, el uso de estos alguno de estos dispositivos presenta su mayor potencial en entornos alejados de la red eléctrica y el potencial más importante se detecta en tratamientos para recuperación de movilidad física, que puede extenderse en la mejora de la movilidad para personas sedentarias tanto en ambientes urbanos como rurales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Escamilla Martínez, A. (2009). Dispositivo Multipropósito conducido por pedales para trabajos de herrería. XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM, Méx. ISBN 978-607-95309-1-4
2. Recalde-Salazar, G. L. (2015). Análisis biomecánico de los miembros inferiores del cuerpo, para el estudio de la transformación de la energía humana en energía eléctrica, en el pedaleo elíptico. Tesis Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito.
3. Carretero Chacón, E., Chinchilla Sánchez, M. (2015). Estudio General Sobre las Aplicaciones de los Sistemas de Carga de Energía Eléctrica por Pedaleo. Tesis de fin de grado, Universidad Carlos III de Madrid.
4. Sanchis Minguez, C., Valverde Roig, M.J. (1994). Variabilidad global del test anaerobio de Wingate. Departamento de Ciencias Fisiológicas, Universidad de Valencia, APUNTS- 1994-Vol. XXXI -113.
5. Ernesto Tauda, E., Cruzat Bravo, E., Suárez Rojas, F. (2024). Análisis de la correlación entre consumo máximo de oxígeno la potencia de salto y parámetros fisiológicos en jugadores de baloncesto. Federación Española de Asociaciones de Docentes de Educación Física (FEADEF) ISSN: Edición impresa: 1579-1726. Edición Web: 1988-2041. Universidad Santo Tomás (Chile).
6. Tomás Cerrano, A., Hurtado Pérez, J. (2012). 38 escalones. Determinación de la potencia de una persona que sube escaleras. ResearchGate. Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales | num. 71 | pp. 60-69 | abril 2012.
7. Weir, A. (1980). The Dynapod: A pedal power Unit. ISBN 0-86619-072-4
8. Tiwari, Gite, Pandey, Shrivastava. (2011). Pedal power for occupational activities: Effect of power output and pedaling rate on physiological response. International Journal of Industrial Ergonomics
9. Gordon Wilson, D. (1986). Understanding pedal power. technical paper #51, ISBN: 0-86619-268-9 [C]1986, Volunteers in Technical Assistance.
10. Lara Sánchez, A. J. A. V., Alegre Durán, J., Aguado Jódar, L. M., Xavier. (2005). Tests de potencia de extremidades inferiores de corta duración: pedaleo vs salto (researchgate.net). Tesis, Universidad de Castilla La Mancha.
11. Henke, T. (1998). Real-time feedback of pedal forces for the optimization of pedaling technique in competitive cycling. Ruhr-Universität, Bochum, Germany.
12. Roachelo Martínez, C.A. (2016). Diseño de un medidor de potencia de pedaleo para ciclismo. Universidad de los Andes, reporte de investigación, Bogota, Col.
13. Zabala, L., Peñaranda, L., (2015). Prototipo de Generación y Almacenamiento de Energía Eléctrica. JINT Journal of Industrial Neo-Technologies Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia
14. Megalingam, K., Rajesh; Sreedharan Veliyara, P. (2012). Pedal Power Generation. ResearchGate, Conference Paper. Amrita Vishwa Vidyapeetham University, Amritapuri Campus, Kollam
15. Wekin, A., Blood S. (2014). Pedal Power Big Rig. Pedal power big rig (mensgear.net)
16. Morales, M. (2015). Generación de energía eléctrica a partir de potencia humana. Tesis, Universidad de los Andes.
17. Harrsh Kumar Dubey, M.P., Singh, J.P., Modak, Makade, R. (2020). A review on the advancement of human powered flywheel motor (HPFM) in India and its application for rural empowerment. Mechanical Engineering Department, Priyadarshini College of Engineering, Nagpur 440019, India b Aerospace Engineering Department, MIT-ADT University, Pune 412201, India. Materials Today: Proceedings, ELSEVIER.