



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE TIANGUISTENCO

PROTOTIPO DE BICICLETA ELÉCTRICA AUTOSUFICIENTE

Presenta:

Iturbide Hernández Víctor.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECATRÓNICO

Director

Dr. Juan Nabor Balderas Gutiérrez.

SANTIAGO TIANGUISTENCO, MARZO 2024

I. Resumen

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un sistema mecánico, el cual se logró a partir de la implementación de un motor de corriente directa que fue adaptado como generador de energía en una bicicleta, el motor realiza el trabajo de un dinamo para la transformación de energía mecánica en energía eléctrica con la finalidad de tener un sistema autosuficiente. Una vez seleccionado el motor con las mejores características gracias a ciertas pruebas realizadas y considerando su funcionamiento en la bicicleta se elaboró el diseño de un soporte el cual se fijó a la estructura de la bicicleta cerca de la rueda en donde hará su funcionamiento como generador eléctrico. Las pruebas físicas del sistema se realizaron adaptando el dinamo como generador de energía eléctrica en una bicicleta estándar. Se tomaron lecturas del valor de voltaje y corriente generados por el dinamo, con respecto a la velocidad a la que se desplazaba la bicicleta, de esta forma se logró conocer la potencia generada por el dinamo en función de la velocidad del ciclista. Así mismo se diseñó un circuito electrónico capaz de captar la energía generada por el dinamo y enviarla a las baterías de la bicicleta. El sistema del circuito electrónico tiene la capacidad de no permitir sobrecargas en las baterías y evitar un mal funcionamiento.

II. Abstract

This paper presents the design and implementation of a mechanical system, which was achieved by implementing a direct current motor that was adapted as a power generator in a bicycle. The motor performs the work of a dynamo to transform mechanical energy into electrical energy in order to have a self-sufficient system. Once the motor with the best characteristics was selected thanks to certain tests carried out and considering its operation on the bicycle, a support design was developed which was fixed to the structure of the bicycle near the wheel where it will function as an electrical generator. The physical tests of the system were carried out by adapting the dynamo as a generator of electrical energy on a standard bicycle. Readings were taken of the voltage and current value generated by the dynamo, with respect to the speed at which the bicycle was moving, in this way it was possible to know the power generated by the dynamo as a function of the speed of the cyclist. Likewise, an electronic circuit was designed capable of capturing the energy generated by the dynamo and sending it to the bicycle batteries. The electronic circuit system has the ability to prevent overcharging of the batteries and prevent malfunction.

III. Índice

I. Resumen	2
II. Abstract	3
III. Índice.....	4
Índice de Figuras	6
Índice de Tablas	7
IV. Introducción	8
IV. Justificación	10
V. Planteamiento del Problema.....	11
VI. Hipótesis	12
VII. Objetivos.....	13
Capítulo 1.....	14
Generalidades.....	14
1.1 Marco Teórico.....	14
1.2 Marco Histórico	15
1.3 Marco Conceptual.....	17
<i>1.3.1 Generador</i>	<i>17</i>
<i>1.3.2 Generadores Eléctricos.....</i>	<i>17</i>
1.3.2.1 Dinamo.	17
1.4.2.2 Alternador.....	18
<i>1.3.3 Fuerza Electromotriz (f.e.m.)</i>	<i>19</i>
<i>1.3.4 Resistencia Interna</i>	<i>19</i>
<i>1.3.5 Concepto de Trabajo</i>	<i>20</i>
<i>1.3.6 Medición de la Potencia.....</i>	<i>20</i>
<i>1.3.7 Energía Cinética</i>	<i>21</i>
<i>1.3.8 Relación de Velocidad.....</i>	<i>21</i>
<i>1.3.9 Velocidad de la Bicicleta.....</i>	<i>22</i>
1.4 Marco Referencial.....	23
<i>1.4.1 Autosuficiencia</i>	<i>23</i>
<i>1.4.2 Principio de Funcionamiento.....</i>	<i>23</i>
<i>1.4.3 Características de Bicicletas Eléctricas</i>	<i>24</i>

1.4.4 Autonomía de una Bicicleta Eléctrica.....	25
1.4.4.1 Capacidad.	25
1.4.4.2 Autonomía.	25
1.4.5 Emisiones de Dióxido Carbono	25
1.4.6 Emisiones de Carbono de una Bicicleta Eléctrica.....	26
1.4.7 Sistemas actuales de Regeneración de Energía en Bicicletas	26
Capítulo 2.....	28
2.1 Metodología	28
Capítulo 3.....	30
3.1 Resultados.....	30
3.1.1 Elegir y adaptar un motor como dinamo	30
3.1.2 Posibles Tipos de Motor Adecuados para su Aplicación como Dinamo	31
3.1.3 Proceso de Adaptación del Motor como Dinamo	32
3.1.4 Proceso de Fijación del Dinamo a la Bicicleta	33
3.1.5 Teoría del Funcionamiento del Dinamo Implementado en la Bicicleta	34
3.1.6 Pruebas del Sistema de Regeneración de Energía.....	37
3.1.6.1 Prueba 1.	37
3.1.6.2 Prueba 2.	37
3.1.7 Sistema Instalado en una Bicicleta Eléctrica.....	39
3.1.8 Almacenamiento de Energía	41
3.1.9 Circuito de Carga Controlada	42
3.1.10 Función del Circuito de Carga Controlada.....	42
3.1.11 Optimización de la Batería	43
3.1.12 Optimización del Circuito	43
3.1.13 Mejora del Sistema.....	44
VII. Conclusiones.....	46
VIII. Recomendaciones.....	47
IX. Referencias	48

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de un dinamo.....	17
Figura 2. Diagrama de un alternador.	18
Figura 3. Fuerza aplicada sobre el pedal de la bicicleta.	23
Figura 4. Modelo de un dinamo.	30
Figura 5. Dinamo acoplado en la llanta trasera de la bicicleta.	30
Figura 6. Mini bomba de agua sumergible de corriente continua.	31
Figura 7. Motor DC 12v MMI-6S2R1KC.	32
Figura 8. Eje del motor fijado en la perforación.....	32
Figura 9. Perspectiva isométrica del tubo recortado y perforado.....	33
Figura 10. Dinamo acoplado con el soporte.	33
Figura 11. Rueda del dinamo en contacto con la llanta trasera de la bicicleta.	34
Figura 12: Grafica representativa de los datos en relación con la velocidad del ciclista.....	38
Figura 13. Diagrama del almacenamiento de energía.	41
Figura 14: Diagrama representativo del circuito electrónico.	42
Figura 15. Soporte para 6 dinamos instalados en la llanta delantera de la bicicleta.	44

Índice de Tablas

Tabla 1. Relación de la pérdida de potencia entre la llanta y el dinamo.....	36
Tabla 2. Datos en función de la velocidad del ciclista.	38
Tabla 3. Watts obtenidos en función de la velocidad.	39

IV. Introducción

El mundo de la bicicleta siempre ha atraído a intelectuales, artistas, filósofos y poetas. Además, incita a aflorar las facetas más sensibles de quienes se acercan decididamente a él, permitiendo experimentar verdaderamente la conexión con la bicicleta. Un artefacto lleno de racionalidad, pero lleno de sutilezas que nos oculta su alma. Su flexibilidad y su robustez son conceptos difíciles de cuantificar y, en todo caso, imposibles de caracterizar en toda su complejidad. ¿Quién siente la bicicleta? Las sutilezas de la bicicleta se manifiestan en cada uno de sus componentes y en el conjunto de todos ellos, (Rui-Wamba, 2010).

Hoy en día, el ritmo de los avances tecnológicos en el mundo, han alcanzado diversos sectores como la medicina, el entretenimiento, las comunicaciones, el sector militar, exploración marítima, exploración espacial, medios transporte y la bicicleta no es la excepción. Nos encontramos con impresionantes bicicletas de tipo eléctricas. Las cuales si bien es cierto ayudan a transportar al usuario, con menos esfuerzo del que realizaría con una bicicleta convencional. También están sujetas a ser parte de los artefactos que contaminan de manera indirecta al medio ambiente, no realiza emisiones directas de CO₂ a la atmósfera. Sin embargo, consumirá energía eléctrica, que pudo haber sido producida por alguna central térmica.

Existen un tipo de sistema de regeneración de energía (SRE) en bicicletas, este sistema es llamado Freno regenerativo o KERS en su nombre original (sistema de recuperación de energía cinética) es un término que cada vez se escucha más a menudo, involucra a todos los vehículos, aunque siempre nos haga pensar en vehículos eléctricos. El concepto se basa en aprovechar la energía en forma de calor que se genera en las frenadas, que normalmente desaprovechamos, mediante un sistema que transforma el calor en energía eléctrica, una vez transformada se puede almacenar en una batería, sin ese sistema la energía se desaprovecharía, promete mucho ya que es una energía limpia y gratuita.

En términos generales, VAIC menciona que la mayoría de las bicicletas y usuarios se mueven con un consumo de entre 5 y 10 Wh/k, de forma que una batería de 360 Wh tendría que poder ofrecer potencialmente energía para recorrer entre 36 y 72 km dependiendo de las condiciones del terreno, (www.vaic.com, 2022). De acuerdo con estos datos tomados e introducidos en la página de CeroCO2 para calcular la huella de carbono por consumo eléctrico de 360 Wh de la bicicleta eléctrica indica que se emiten 0.09 Kg de CO_2 por la recarga total de su batería, (CeroCO2 - Te Ayudamos En Tu Ruta de Descarbonización, s. f.).

En el presente documento se describe el desarrollo del sistema de regeneración de energía, para el prototipo de una bicicleta eléctrica autosuficiente. Tomando en cuenta dos factores importantes, el primero se basa en el consumo eléctrico, que se realiza al recargar la batería de la bicicleta, la cual hace emisiones de carbono indirectamente, el segundo factor se refiere a la existencia de una minoría de sistemas de regeneración de energía para bicicletas eléctricas actuales, quienes tienen deficiencias en cuanto a la recuperación de la energía. De estos aspectos surge la idea de la creación de un prototipo de bicicleta eléctrica autosuficiente donde dicho sistema de regeneración de energía aprovecha el generador mecánico (principio del dinamo) donde se obtiene energía eléctrica de corriente continua, reduciendo emisiones de carbono.

IV. Justificación

Las bicicletas eléctricas son un medio de transporte limpio y eficiente que puede ayudar a reducir las emisiones de carbono. Sin embargo, una de las principales limitaciones de las bicicletas eléctricas es que dependen del suministro eléctrico para la recarga de la batería. Esto se convierte en una limitante para los usuarios que no tienen acceso al suministro de energía eléctrica. Por otra parte, los usuarios pueden olvidar cargar la batería de su bicicleta, lo que puede provocar que la batería se quede sin energía durante un viaje.

Por tal motivo en el presente trabajo se desarrolla un sistema de regeneración de energía para baterías en bicicletas eléctricas con la finalidad de disminuir la dependencia del suministro eléctrico. Además de resolver los problemas prácticos de la recarga de baterías, este sistema también podría ayudar a reducir las emisiones de carbono. La energía mecánica de un dinamo es fuente de energía renovable que no produce emisiones de carbono.

V. Planteamiento del Problema

Las bicicletas eléctricas se presentan como una alternativa de transporte limpia y eficiente que contribuye a la reducción de emisiones de carbono. Sin embargo, su funcionamiento depende de un factor clave: la energía eléctrica para recargar sus baterías. Esta dependencia de la red eléctrica se convierte en una limitante significativa para aquellos usuarios que no cuentan con acceso a este servicio. Por otra parte, otro de los obstáculos importantes es el olvido de la recarga. Es común que los usuarios descuiden la carga de la batería, lo que puede ocasionar que se quede sin energía durante un viaje.

Es por lo que, en este trabajo se presenta una solución a dicho problema a partir de la implementación de un sistema de regeneración de energía. Así mismo en este trabajo se presenta un prototipo de bicicleta eléctrica autosuficiente, capaz de generar y almacenar su propia energía de manera eficiente. Dicha solución no solo eliminaría cierta dependencia de la red eléctrica, sino que también mejoraría la accesibilidad y confiabilidad del uso de bicicletas eléctricas, contribuyendo a una adopción más amplia y sostenible de esta tecnología.

VI. Hipótesis

Dado que los sistemas actuales de regeneración de energía para bicicletas tienen una autonomía que no supera el 10%, se plantea que estos no contribuyen significativamente a la reducción del consumo eléctrico del hogar para su recarga, lo que resulta en emisiones indirectas de CO₂. Por tal motivo, se postula que la implementación de un sistema mecánico para la regeneración de energía en bicicletas eléctricas podría llevar al desarrollo de un prototipo de bicicleta eléctrica autosuficiente.

VII. Objetivos

General:

- Proponer un sistema electromecánico, a través del uso de un dinamo con una bicicleta común, con la finalidad de tener un sistema autosuficiente en una bicicleta eléctrica.

Específicos:

- Idear un sistema para transformar energía mecánica a eléctrica, haciendo uso de un motor de corriente continua.
- Implementar el sistema de regeneración de energía en una bicicleta común, para verificar el funcionamiento del sistema.
- Analizar el desempeño y comportamiento del sistema mediante la recopilación de datos con el propósito de realizar mejoras al “SRE”.
- Mejorar el rendimiento del “SRE” reduciendo las deficiencias para tener un sistema más eficiente.

Capítulo 1

Generalidades

1.1 Marco Teórico

Rueda en su trabajo de tesis titulado "Análisis para la recuperación de energía cinética no aprovechada por medio del rin de una bicicleta" menciona que, el análisis de energía no aprovechada surge de la curiosidad, por saber qué sucede con la eficiencia restante no aprovechada, en una máquina o mecanismo.

Su principal objetivo fue diseñar un sistema capaz de captar la energía cinética para ser transformada en energía eléctrica, por medio del movimiento de rotación de la llanta de una bicicleta. De forma que el diseño del mecanismo para transformar la energía, diseño del sistema generación energía eléctrica, planos del prototipo, cálculos de prototipo, selección de los componentes del sistema y análisis de costos, lo llevaron a los siguientes resultados en diferentes aspectos.

Calidad del material: se seleccionan los mejores materiales en función a la necesidad y demanda de cada elemento calculado y así poder tener el mejor rendimiento en el sistema.

Rentabilidad: costo de inversión, equilibrado con las unidades a vender para el retorno de capital. Inversión inicial de 60 mil pesos, con la venta de 15 unidades como meta, la utilidad calculada es 20 mil pesos, lo cual significa un precio accesible en el mercado.

Factibilidad: se muestra un fácil ensamblaje entre componentes para su adecuado funcionamiento, y un dispositivo adaptable a cualquier tipo de bicicleta.

Energía limpia: sistema diseñado para la adaptación del medio ambiente, como un no contaminante.

Alternativa para evitar uso de combustible: la energía no aprovechada que se analiza es una opción en pequeña escala, para sustituir el uso de los hidrocarburos como principal suministro de combustible, con proyección a ser ampliada dependiendo las funciones a las que se desee adaptar, es decir, configurar el diseño a mayor capacidad, (Rueda, 2017).

1.2 Marco Histórico

El trabajo de Gutiérrez titulado "Implementación y análisis de un prototipo de generación y almacenamiento de energía eléctrica a partir del movimiento de una bicicleta como propuesta para la disminución del consumo energético en la escuela de la comunidad el arroyo: etapa inicial". Presenta la problemática de la existencia de una comunidad; El Arroyo localizado en Cazucá, donde se encuentran instalaciones para capacitar a niños y adultos de diferentes edades, además de una escuela que cuenta con un parque de juegos para actividades lúdicas y de esparcimiento para los niños. En la cual el mantenimiento de instalaciones en cuestión de energía tiene un costo elevado en sus facturas de energía. Por lo tanto, con el prototipo propuesto por la autora realizó pruebas en su comunidad como lo explica en su trabajo, destacó que las baterías utilizadas de ácido plomo es recomendable no dejar las baterías conectadas al prototipo si el uso no es constante, esto puede generar una descarga muy alta y al generar una carga esta no se mantiene. Al mismo tiempo destacó que se pueden generar hasta 216W, en un pedaleo de aproximadamente 1 hora. Sin embargo, esto puede variar dependiendo de las características físicas del individuo que esté generando el pedaleo, (Gutiérrez, 2016).

Chunchi et al. en su trabajo "Diseño y construcción del sistema de regeneración de energía acumulación por supercondensadores para una bicicleta" concluye que el sistema de regeneración y acumulación de energía en SC, se ha concluido satisfactoriamente, cumpliendo las condiciones previamente señalados y obteniendo valores óptimos de tensión a la salida del convertidor para alcanzar el régimen de funcionamiento del motor.

Los recorridos con asistencia eléctrica del motor reflejan un decremento del 5 % en el ritmo cardíaco con respecto a los recorridos sin asistencia, porcentaje que repercute en una leve reducción del esfuerzo físico realizado por el ciclista.

La velocidad máxima sin la ayuda del ciclista disminuye a medida que la tensión de los SC disminuye, debido a que los niveles en el convertidor elevador son limitados, pero con aporte del pedaleo se aprovecha mejor la energía almacenada y consecuentemente se ve incrementada la autonomía, (Chunchi et al., 2015).

Navarrete et. al. En su trabajo titulado "Diseño y construcción de un sistema de regeneración de energía con ultracapacitores para una bicicleta", presenta el diseño y construcción de una bicicleta asistida con regeneración de energía en ultracapacitores.

Este tipo de bicicleta se presenta como un medio de transporte alternativo, cuyo uso está orientado al segmento de la población que no puede usar una bicicleta convencional por el gran esfuerzo físico que se debe realizar en ciertos trayectos.

La bicicleta cuenta con sensores de velocidad y torque los cuales le brindan al sistema la información necesaria para manejar el aporte de potencia del motor. La asistencia proporcionada por el motor cumple con las normas europeas correspondientes a la legislación de bicicletas eléctricas en la cual se establece que la potencia aportada por el motor es menor al 50 % de la potencia total del sistema y disminuye progresivamente hasta los 25 Km/h, (Navarrete et. al., 2014).

En el trabajo escrito por D'Agostino titulado "Diseño de Producto: Generación de Energía Eléctrica Partir de Bicicletas Fijas de Indoor." Presenta la problemática que se basa en determinar si es factible técnicamente el aprovechamiento de la energía cinética generada durante una actividad física como es el indoor cycling, para reducir la dependencia de la red eléctrica.

El autor concluye que; desde el punto de vista económico, no puede ofrecerse a las empresas como modo de economizar en el rubro, pero tiene un alto potencial desde el punto de vista social o cultural, por su perfecta factibilidad técnica y su fácil adaptabilidad a los sistemas instalados, (D'Agostino, 2014).

Osorio en su trabajo "Generador eléctrico accionado por fuerza humana: una nueva alternativa de generación de energía" menciona que con su trabajo pretende dar una visión general sobre la generación de energía eléctrica que puede hacerse con el desgaste físico que hacemos al ejercitarnos. Se presenta también la propuesta de un proyecto integral de ahorro de energía denominado "Da luz a tu parque y salud a tu cuerpo" gracias al cual se tratará de incentivar a los fabricantes de aparatos de gimnasios para que apoyen el desarrollo de proyectos que lleven al aprovechamiento de esta energía, (Osorio, 2007).

1.3 Marco Conceptual

1.3.1 Generador

Un generador de electricidad es la fuente de energía de los sistemas eléctricos; proporciona potencia eléctrica (tensión y corriente). En todos los generadores se hace un tipo de transformación de energía, tomando como base a una energía que puede ser mecánica (comúnmente llamado generador electromecánico), térmica, química o de cualquier otro tipo generadores, (Hermosa, 2013).

Dentro de los que se destacan el dinamo y el alternador como generadores electromecánicos.

1.3.2 Generadores Eléctricos

1.3.2.1 Dinamo.

Un dinamo es un generador de corriente continua CC representado por su diagrama en la figura 1, transforma energía mecánica (movimiento de giro) en energía eléctrica. La generación de electricidad se basa en principio físico del magnetismo; cuando existe movimiento relativo entre conductor (en la práctica, un bobinado) y una fuerza de campo magnético, se genera en el conductor una fuerza electromotriz (f.e.m.). Es por ello por lo que sólo se obtiene electricidad cuando se les aplica movimiento de giro. Son un tipo de máquina eléctrica cuya estructura es similar a la de los motores eléctricos. Se utilizan como fuentes de energía para la Luz en bicicletas, se han utilizado en los coches para la recarga de la batería, se utilizan para obtener una tensión de referencia proporcional a la velocidad en sistemas de regulación y control, etc., (Hermosa, 2013).

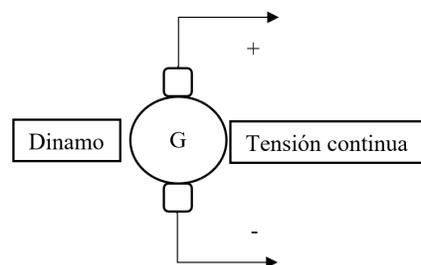


Figura 1: Diagrama de un dinamo.

Para poder hallar la potencia (vatios) se usa la ecuación 1.

$$W = I V$$

1

El autor menciona que, al aplicar más tiempo a la potencia, más trabajo eléctrico se obtiene [*trabajo = Potencia × Tiempo*] lo cual es un aspecto que será útil en este trabajo más adelante.

1.4.2.2 Alternador.

Un alternador es un generador de corriente alterna (C.A) presentado con su diagrama en la figura 2, de ahí su denominación. Su estructura y funcionamiento es similar a la de los dinamos; ambos son máquinas eléctricas que transforman energía mecánica en energía eléctrica, cuyo funcionamiento se basa en el magnetismo, (Hermosa, 2013).

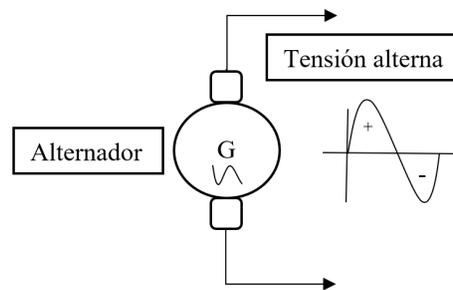


Figura 2: Diagrama de un alternador.

Estos generadores se distinguen por el tipo de corriente que generan, mientras que el dinamo genera corriente continua el alternador lo hace con corriente alterna, se hará uso del dinamo ya que es más apto para el prototipo de una bicicleta eléctrica en comparación con un generador de corriente alterna.

Un factor importante que se relaciona con los generadores eléctricos es la fuerza electromotriz pues es su principio fundamental como se describe a continuación.

1.3.3 Fuerza Electromotriz (f.e.m.)

La cantidad de carga eléctrica, culombios, que el generador produce requiere un cierto consumo de unidades de energía (mecánica, química, etc.), julios [J], que se transformarán en energía eléctrica.

De la expresión del trabajo eléctrico se deduce la tensión que se genera, como se muestra en la ecuación 2.

$$\text{trabajo } (W) = \text{Voltaje } (V) \times \text{carga}(q) \Rightarrow V = \frac{W}{q} \quad 2$$

Para que una carga se mueva entre dos puntos cuya diferencia de potencial (d.d.p.) es de 1[V], se requiere el trabajo de 1 [J]. Así, por cada voltio y culombio que se generen se consume un julio de energía (del tipo que sea), utilizando la ecuación 3:

$$V = \frac{W}{q} \Rightarrow 1V = \frac{1J}{1C} \quad 3$$

A esta cantidad de julios transformados por culombio es lo que se denomina fuerza electromotriz (f.e.m.); la tensión generada, que da lugar a la diferencia de potencial entre sus terminales, (Hermosa, 2013).

Para comprender porque no se puede obtener el 100 % de la energía de un generador eléctrico se da una explicación a continuación, lo cual justificará el rendimiento del dinamo.

1.3.4 Resistencia Interna

Como en toda transformación de energía, en los generadores, internamente, se producen ciertas pérdidas de energía, haciendo que todo el trabajo invertido (mecánico, químico) no se transforme íntegramente en energía eléctrica, sino que se transforma en calor. Por ello su rendimiento resulta inferior al 100%, se puede hacer uso de la ecuación 4.

$$\text{rendimiento} \Rightarrow \eta = \frac{\text{energía de salida}}{\text{energía de entrada}} \times 100 \% \quad 4$$

La tensión que se obtiene en los terminales del generador, diferencia de potencial (d.d.p.), es originada por la fuerza electromotriz (f.e.m) interna. Si el rendimiento del generador fuera del 100 %, al existir ninguna pérdida, entonces la tensión de salida obtenida tendrá el mismo valor que la interna; pero debido a ciertas e inevitables pérdidas, la tensión obtenida siempre es algo menor que la interna. Y esta pérdida, o bajada de tensión, es mayor conforme aumenta la corriente de salida. Es por ello por lo que, en general, en todo generador (pila, batería, alternador, etc.) la tensión obtenida disminuye al aumentar la corriente de salida Y este efecto de bajada de tensión se atribuye a lo que se denomina resistencia interna del generador, (Hermosa, 2013).

En el uso de la bicicleta hay varios aspectos físicos que trabajan en conjunto como, concepto de trabajo, medición de potencia, energía cinética y velocidad de la bicicleta quienes trabajan en relación con el dinamo, los cuales se explican a continuación para llevar a cabo este trabajo.

1.3.5 Concepto de Trabajo

En un contexto físico matemático se define trabajo como el producto escalar de una fuerza por un desplazamiento (del punto de aplicación de la fuerza), mostrado en la ecuación 5.

$$1 \text{ julio} = 1 \text{ newton} \cdot 1 \text{ metro} \quad 5$$

Un julio es el trabajo que se realiza cuando la fuerza de un newton desplaza su punto de aplicación un metro en la misma dirección y sentido de la fuerza, (Carta et.al., 2009).

1.3.6 Medición de la Potencia

De acuerdo con la definición de potencia, en el Sistema Internacional la potencia se mide en vatios mostrado en la ecuación 6.

$$1W = \frac{1J}{1s} \text{ (1 vatio es igual a 1 julio dividido por un segundo)} \quad 6$$

En términos generales, un caballo de fuerza (HP) equivale a la potencia que puede desarrollar un caballo (animal) durante un tiempo prolongado (varias horas). Otros valores de referencia que dan una idea de las magnitudes energéticas son los siguientes:

Una persona, en un esfuerzo liviano, desarrolla 0,15 [kW]. Un ciclista, en un esfuerzo elevado, desarrolla 0,5 [kW]. Un atleta, durante un corto tiempo, desarrolla 0,75 [kW].

1 [kWh] permite mantener encendida una bombilla de 100 [W] durante 10 horas o elevar 1 tonelada a 360 [m] de altura en una hora, o fundir el aluminio necesario para fabricar seis botes de refrescos, o calentar el agua para una ducha de 2-3 minutos, (Carta et.al., 2009).

1.3.7 Energía Cinética

Es la energía que posee un objeto debido a su movimiento. Para una masa [m] expresada en [kg], que se desplaza a la velocidad [v] expresada en [m/s], la energía cinética vale la mitad del producto de la masa por el cuadrado de la velocidad con la ecuación 7, (Carta et.al.,2009).

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad 7$$

1.3.8 Relación de Velocidad

La relación de transmisión escrita en la ecuación 8, es una relación entre las velocidades de dos engranajes conectados entre sí donde uno de ellos ejerce fuerza sobre el otro.

Esta relación se debe a la diferencia de diámetros de las ruedas, que implica una diferencia entre las velocidades de rotación de ambos ejes, esto se puede verificar mediante el concepto de velocidad angular, (Rueda, 2017).

$$i = \frac{D_1}{D_2} \quad 8$$

1.3.9 Velocidad de la Bicicleta

En función de la velocidad de la rueda se determina la velocidad promedio de la bicicleta mediante la ecuación 9, (Rueda, 2017).

$$N = 2 \cdot \frac{V}{D} \quad 9$$

1.4 Marco Referencial

Debido a que el proyecto se llama prototipo de bicicleta eléctrica “autosuficiente” se explica que es la autosuficiencia y cómo se relaciona con el título principal. Así mismo se dan a conocer las características de una bicicleta eléctrica de forma general y la autonomía de este tipo de bicicletas.

De igual forma se cubren los conceptos de emisiones de dióxido de carbono que puede realizar una bicicleta eléctrica y sistemas de regeneración de energía en bicicletas eléctricas ya existentes.

1.4.1 Autosuficiencia

La Real Academia Española define a lo autosuficiente como el estado o condición de quien se basta a sí mismo, (RAE, 2022).

Refiriéndose a autosuficiencia energética es la capacidad de satisfacer las necesidades de energía eléctrica sin depender de una fuente externa, (corporativa, s.f.).

1.4.2 Principio de Funcionamiento

Consideremos en estado estacionario una bicicleta, en donde la fuerza es aplicada sobre el pedal de la bicicleta como se muestra en la figura 3.

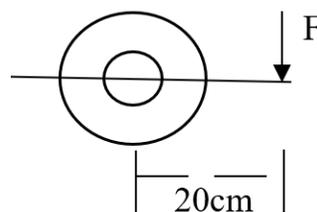


Figura 3: Fuerza aplicada sobre el pedal de la bicicleta.

El par generado por esta fuerza está dado por la ecuación 10:

$$\tau = F \times d$$

10

F= fuerza aplicada

d= distancia

La fuerza promedio que un adulto puede aplicar sin distinguir sexos es de 30 [kg] (66 lb), por lo tanto, el par es de 6 [kg/m] si se alcanza una velocidad de una ω 6.2832 [rad/s] , La potencia suministrada por el ejercitante la podemos calcular con la ecuación 11:

$$P_m = \tau \times \omega \quad 11$$

Donde τ es el par en [Nm] (Newton metro), ω es la velocidad angular en [rad/s], (radianes sobre segundo) y [P] está dado en Watts. Con estos valores [P] es de 370 [W], casi 1.2 [HP] caballos de fuerza (horse power), (Osorio, 2007).

1.4.3 Características de Bicicletas Eléctricas

Las bicicletas eléctricas de pedaleo asistido cuentan con un motor eléctrico cuya potencia máxima debe ser como mucho de 250 [W]. Este solo asiste al ciclista si hace girar los pedales y alcanzar una velocidad máxima de 25 [km/h]. Es decir, no puede existir un acelerador o un impulsor que ponga en marcha el motor sin pedalear.

Para las características principales que destacan a una bicicleta eléctrica se menciona que las bicicletas eléctricas (ebike) sirven para todo el mundo: no importa edad, físico, experiencia o lesiones porque puedes llevarla como una bicicleta convencional o activar los modos de asistencia al pedaleo. Se requiere de menos esfuerzo en las subidas, pero sin dejar de hacer ejercicio, un pedaleando más suave. Se puede adaptar la asistencia al pedaleo el empuje que necesites en cada minuto. Se tiene una gran estabilidad en las bajadas al tener el peso centrado. Se es capaz de hacer rutas largas sin demasiado esfuerzo. Además de recorrer varios kilómetros en poco tiempo.

Se puede ahorrar dinero en comparación de moverse en coche por la ciudad, ocupan poco espacio, sobre todo las bicicletas eléctricas plegables, (García, 2022).

1.4.4 Autonomía de una Bicicleta Eléctrica

1.4.4.1 Capacidad.

La energía total que puede almacenar una batería, es decir, su capacidad, se mide en vatios-hora [*Wh*], igual que el consumo eléctrico de una vivienda. Este dato actualmente se especifica en la de las baterías, de fabricantes reconocidos y, en todo caso, se puede calcular multiplicando el voltaje [*V*] por la carga [*Ah*]. Una batería de 36 [*V*] y 10 [*Ah*] (amperio hora) tiene una capacidad total de 360 [*Wh*].

1.4.4.2 Autonomía.

Es la energía necesaria para hacer funcionar a pleno rendimiento un motor de 250 [*W*] durante 1 hora y 26 minutos, o el doble de tiempo si reducimos la intensidad en que lo utilizamos a la mitad. Como se puede intuir, la cantidad de km que se pueden recorrer con esta batería variará mucho según el uso que se haga del motor. En términos generales, la mayoría de las bicicletas y usuarios se mueven con un consumo de entre 5 y 10 [*Wh/k*], de forma que una batería de 360 [*Wh*] tendría que poder ofrecer potencialmente energía para recorrer entre 36 y 72 [*km*]. La autonomía real disponible dependerá en buena parte del tipo de sensor y de la forma de conducción, (¿Como puedo saber la autonomía real de una bicicleta eléctrica?, s. f).

1.4.5 Emisiones de Dióxido Carbono

El dióxido de carbono CO_2 es el principal gas de efecto invernadero que se emite a raíz de las actividades del ser humano. En el 2017, el CO_2 aproximadamente el 81,6 % de todas las emisiones de gases de efecto invernadero en EE. UU. a raíz de las actividades del ser humano.

El dióxido de carbono se hace presente de manera natural en la atmósfera como parte del ciclo del carbono de la Tierra (la circulación natural de carbono entre la atmósfera, los océanos, la tierra, las plantas y los animales). Las actividades del ser humano están alterando el ciclo del carbono: debido a que aumentan CO_2 a la atmósfera alternando la capacidad de los disipadores naturales (como los bosques) para eliminar el CO_2 de la atmósfera e influyendo sobre la capacidad de las tierras para almacenar carbono. Si bien las emisiones de CO_2 provienen de diversas fuentes

naturales, las emisiones relacionadas con las actividades del ser humano son las responsables del aumento que se ha registrado en la atmósfera desde la industrial.

Una gran interrogante es ¿Cómo reducir las emisiones de dióxido de carbono?, la manera más efectiva de reducir las emisiones de CO_2 es disminuir el consumo de combustibles fósiles. Muchas estrategias para reducir las emisiones de CO_2 son transversales y se aplican a casas, empresas, industrias y medios de transporte. Mejorar la aislación de los edificios, viajar en vehículos que consuman menos combustible y utilizar artefactos eléctricos, más eficientes son buenas maneras de reducir emisiones de CO_2 (Emisiones de dióxido de carbono, 2022).

1.4.6 Emisiones de Carbono de una Bicicleta Eléctrica

Electricidad consumida (kilovatios-hora) Tomando en cuenta 360 Wh el total de carga completa de una bicicleta eléctrica, la calculadora de CO_2 en línea arroja un resultado de 0.09 kilogramos de dióxido de carbono (CeroCO2 - Te Ayudamos En Tu Ruta de Descarbonización, s. f.).

1.4.7 Sistemas actuales de Regeneración de Energía en Bicicletas

Transmisión sin cadena para bicicletas (Schaeffler Free Drive), este nuevo sistema es totalmente eléctrico y dispone de cables para transmitir el impulso del pedaleo. Un cambio que a nivel práctico no supone gran diferencia para el ciclista, pero modifica por completo la manera mecánica de funcionar de las bicicletas.

Desarrollado con la empresa alemana especializada en transmisiones para bicicletas eléctricas Heinzmann, este nuevo sistema sustituye las cadenas y correas por un generador en el eje del pedal de la bicicleta.

Cuando el ciclista pedalea, esta energía mecánica se transforma en eléctrica y esto es lo que permite activar el generador. Mediante este mecanismo se elimina la necesidad de enviar potencia a la rueda trasera mediante las cadenas, correas o ejes de transmisión.

En vez de enviar esa acción mecánica, lo que consigue el generador es enviar directamente. electricidad a la rueda mecánica. Una que en la rueda trasera se vuelve a convertir en mecánica

para impulsar la bicicleta. Eliminando de esta manera la necesidad de las cadenas de transmisión y apostando por otro método (no necesariamente tan eficiente).

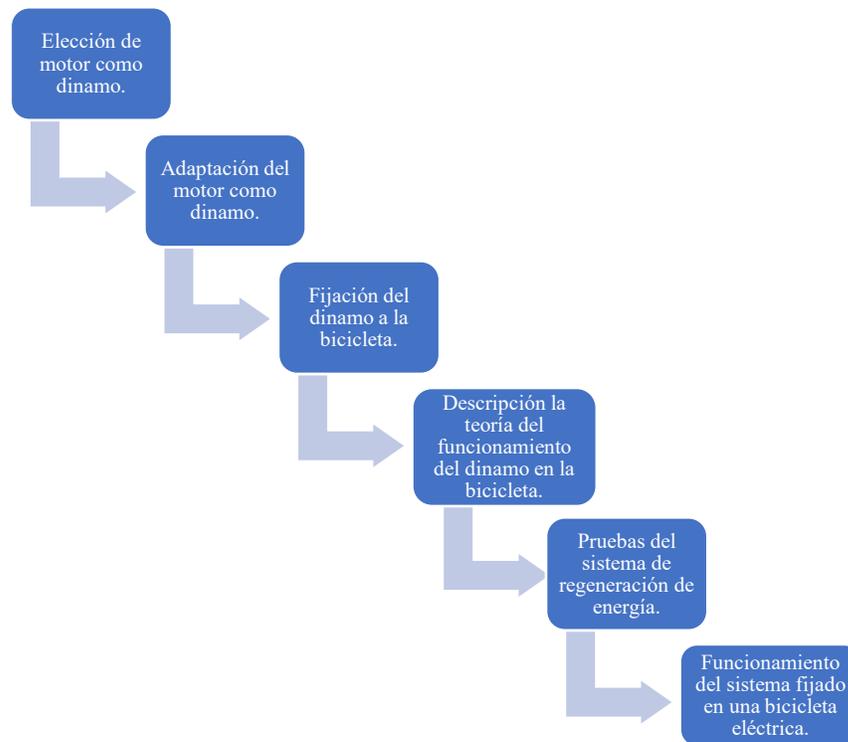
Para que la energía se mueva por toda la bicicleta se cuenta con una serie de cables, que comunican el motor, la batería, el generador y la electrónica de control.

El sistema también cuenta con cierto nivel de control y permite ajustar la resistencia en los pedales. En caso de pedalear suficiente fuerte y generar un exceso de energía, esta se utiliza para recargar ligeramente la batería como si fuera una frenada regenerativa, no obstante, el motor trasero cuenta también con frenada regenerativa, por lo que la recarga de la batería se produce por varias vías.

El sistema propuesto por la empresa alemana cuenta con un motor de 250 W. Una nueva forma de que puede incrementar innecesariamente los costes de fabricación de la bicicleta eléctrica, pero abre nuevas para impulsar este tipo de vehículos (Pérez, 2021).

Capítulo 2

2.1 Metodología



Elección de motor como dinamo.

El tipo de motor que tiene las mejores características entre dos tipos uno de 5 [V] y otro de 12 [V] se definen mediante unas pruebas, ya que el motor de 5 [V] cuenta con cierta resistencia al agua ideal para entornos de lluvia, en cambio el motor de 12 [V] no ofrece esa resistencia al agua, pero al ser de más voltaje ofrecerá más energía que el primero.

Adaptación del motor como dinamo.

Se crea una rueda para acoplarse al eje del motor, tomando en cuenta que existirá cierta fricción entre la rueda del dinamo y la rueda de la bicicleta por lo que el caucho es el material que se utilizará.

Fijación del dinamo a la bicicleta.

Se construye un soporte para sostener el dinamo y ser acoplado al cuadro de la bicicleta para que haya buena fricción entre ambas ruedas.

Descripción de la teoría del funcionamiento del dinamo en la bicicleta.

Mediante ecuaciones para obtener la velocidad angular de la llanta y del dinamo para posteriormente conocer la potencia que se genera.

Pruebas del sistema de regeneración de energía.

Para la recopilación de datos se hace uso de un multímetro y una aplicación móvil de velocímetro, se realizan las pruebas a distintas velocidades y así saber que potencia genera el dinamo.

Funcionamiento del sistema fijado en una bicicleta eléctrica.

Hace referencia al proceso que comienza por la regeneración de energía, continuando en el almacenamiento de la energía en baterías con carga controlada y las mejoras que requiera el sistema.

Capítulo 3

3.1 Resultados

Se sugirió utilizar un dinamo, en concreto el modelo exhibido en la figura 4, con el propósito de transformar la energía mecánica en electricidad. Esta decisión se fundamenta en la capacidad del dinamo para producir energía en forma de corriente continua, presentando de esta manera una alternativa más idónea para ciertos usos particulares.

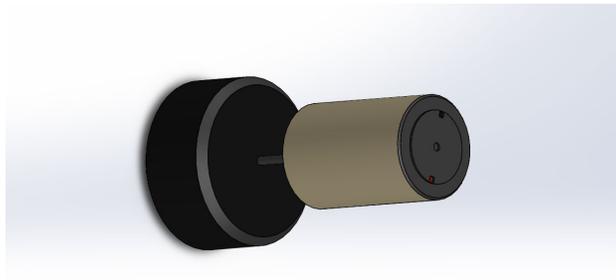


Figura 4: Modelo de un dinamo.

3.1.1 Elegir y adaptar un motor como dinamo

Se dispuso el dinamo de modo que su eje de rotación entrara en contacto con la superficie de la llanta. Esta disposición posibilitará que, al girar la llanta, el dinamo también se active, como se muestra en la figura 5.

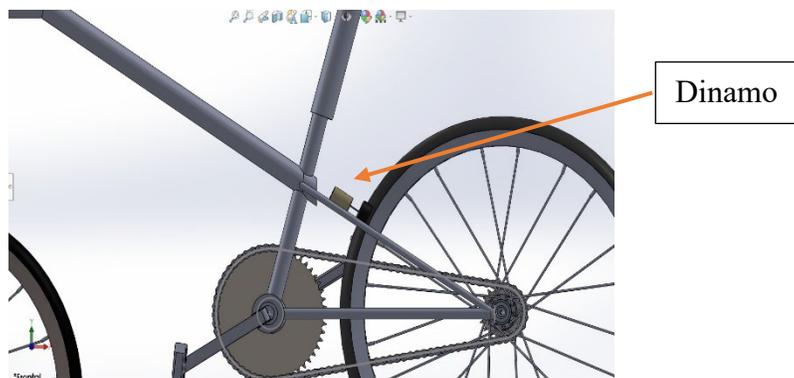


Figura 5: Dinamo acoplado en la llanta trasera de la bicicleta.

3.1.2 Posibles Tipos de Motor Adecuados para su Aplicación como Dinamo

Para el motor generador de energía utilizado como dinamo, se utilizaron dos tipos de motores de corriente continua, que fueron de 5 [V] y 12 [V].

El motor de 5 [V] es de una mini bomba de agua sumergible mostrado en la figura 6, seleccionada debido a su sellado que ofrece cierta resistencia al agua. Esta característica la convierte en una opción ideal para funcionar como dinamo en una bicicleta que podría encontrarse con agua en su recorrido, como en calles inundadas o bajo condiciones de lluvia. El sellado garantiza que el motor pueda resistir estas condiciones y seguir funcionando de manera efectiva. Este primer motor, cuenta con las siguientes características:

Voltaje de entrada: 2,5 a 6 [V]

Corriente: 130 a 220 [mA]

Consumo: 0,4 a 1,5 [W]



Figura 6: Mini bomba de agua sumergible de corriente continua.

Para la segunda opción del motor de 12 [V] de corriente continua se utilizó el modelo MMI-6S2R1KC en la figura 7, Este tipo de motor de 12 [V] proporciona más energía frente al motor de 5[V], pero con la desventaja de ser más vulnerable a situaciones y entornos con agua, cuenta con las siguientes características:

Voltaje de entrada: DC 12 [V] Corriente sin carga: 27 [mA]

Consumo: 3.24 [W]

Velocidad: 2400 [rpm]



Figura 7: Motor DC 12 [V] MMI-6S2RIKC.

3.1.3 Proceso de Adaptación del Motor como Dinamo

El material utilizado para el rodamiento entre el dinamo y la llanta es madera recubierta de caucho puesto que el caucho tendrá una buena fricción con la rueda de la bicicleta.

Con un taladro y una broca sierra para madera de 63.5 [mm] se perforo una tabla para obtener una rueda de 6 [cm] de diámetro por 2 [cm] de espesor. En el centro de la rueda de madera se realizó una perforación con una broca de aproximadamente 2 [mm] misma medida del eje del motor. Para recubrir la rueda se hizo uso de caucho de una cámara para llanta de bicicleta, con una medida de 2 [cm] de ancho. El resultado del recubrimiento de la rueda con caucho se muestra en la figura 8. Para finalizar la adaptación del dinamo se introduce el eje del motor en la perforación de la rueda como se muestra en la figura 8.



Figura 8: Eje del motor fijado en la perforación.

3.1.4 Proceso de Fijación del Dinamo a la Bicicleta

Para poder fijar el dinamo al cuadro de la bicicleta, se fabricó un soporte previamente con una conexión de tubo de Policloruro de vinilo clorado (CPVC) de 90 grados con medida de 1 pulgada de diámetro del tubo. Al tubo de CPVC se le realiza un corte por la mitad del círculo a 2 [cm] de la orilla al centro, así como una perforación a 1 [cm] del extremo contrario, como se muestra en la figura 9.



Figura 9: Perspectiva isométrica del tubo recortado y perforado.

La carcasa del cuerpo del dinamo se introdujo dentro de la mitad del tubo recortado mostrado en la figura 10, a su vez se acopló al cuadro de la bicicleta en la parte trasera para que la rueda del dinamo haga contacto con la llanta de la bicicleta tal como lo muestra la figura 11.



Figura 10: Dinamo acoplado con el soporte.



Figura 11: Rueda del dinamo en contacto con la llanta trasera de la bicicleta.

3.1.5 Teoría del Funcionamiento del Dinamo Implementado en la Bicicleta

Para poder conocer la cantidad de potencia que genera el dinamo en vatios, se debe obtener la velocidad angular mediante la relación de velocidad que existe entre la llanta y la rueda del dinamo. Seguido de esto encontrar las revoluciones por minuto en el dinamo.

$D_1 = 29 \text{ [in]} = 73,66 \text{ [cm]}$ diámetro de la llanta.

$D_2 = 6 \text{ [cm]}$ diámetro del generador.

N_1 velocidad angular de giro de la llanta.

N_2 velocidad angular de giro del dinamo.

Tomando en cuenta una bicicleta rodada 29" (pulgadas de diámetro de la rueda) que va a una velocidad promedio de 23 [km/h] según el libro de la ingeniería de la bicicleta (Navarro et al. 2010).

La relación de los diámetros del generador y la llanta de la bicicleta está dada por la siguiente ecuación.

$$i = \frac{D_1}{D_2}$$

8

$$i = \frac{73,66}{6} = 12,27$$

Se obtiene la velocidad angular de la llanta de la bicicleta [N_1] a partir de la relación expresada en la siguiente ecuación.

$$N_1 = 2 \times \frac{V_1}{D_1} \quad 9$$

$$23 \text{ km/h} = 383.34 \text{ m/min}$$

$$29 \text{ in} = 73,66 \text{ cm}$$

$$N_1 = 2 \times \frac{383,34 \text{ m/min}}{73,66 \text{ cm} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}} = 165,5 \text{ rpm}$$

Se obtiene la velocidad angular del dinamo N_2

$$N_2 = 12,27 \times 165,5 \text{ rpm} = 2030,65 \text{ rpm}$$

El par generado por esta fuerza está dado de la siguiente forma.

$$\tau = F \times d \quad 10$$

La fuerza promedio que podemos aplicar los adultos sin distinguir sexos es de 30 [kg] (66 lb), por lo tanto, el par es de 6 [kg – m] (Osorio, 2007).

La fuerza se da en [N_2] equivalente a:

$$\tau = 30 \times .20 = 6 \text{ kg} - m$$

Se toma en cuenta una distancia de 20 [cm] del eje central del pedal donde se apoya el pie que ejerce su fuerza hasta el eje del plato de la bicicleta, como se muestra en la figura 4.

$$1 \text{ rpm} = 0.104 719 755 199 66 \text{ rad/s}$$

$$2030.65 \times 0.0147 = 212.65 \text{ rad/seg}$$

Si logramos una velocidad en el dinamo de 2030.65 [rpm] transformadas a radianes por segundo equivale a 212.65 [rad/seg], tendremos que la potencia suministrada por el ejercitante se da multiplicando el par por la velocidad angular del dinamo. [P_m] es la potencia en Watts, [τ] es el par en [$N m$] y [w] es la velocidad angular expresada en la siguiente ecuación.

$$P_m = \tau \times w \quad 11$$

$$P_m = 6 \times 212.65 \text{ rad/s} = 1275.9 \text{ W}$$

Para obtener la potencia que genera el ciclista, se tiene en cuenta que el ciclista tiene un peso de 65[kg]. El ciclista al pedalear suministra energía de movimiento a la bicicleta que se denomina energía cinética.

Se calcula multiplicando la masa en kg por el cuadrado de la velocidad en [m/s] y dividiendo por 2. Suponiendo que se mueve a 23 [km/h].

$$E_c = \frac{m \times v^2}{2} \quad 7$$

$$E_c = \frac{65 \text{ kg} \times 6.38^2}{2} = 1322.89 \text{ J}$$

Dado que 1 vatio es igual a 1 julio dividido por un segundo, el resultado de la potencia del ciclista se expresa a continuación.

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}} \quad 6$$

$$W = \frac{1322.89 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 1322.89$$

Al comparar las potencias obtenidas del dinamo y del ciclista, se puede observar que hay una pérdida al transferirse de la llanta de la bicicleta al dinamo, como se muestra en la tabla 1. La pérdida o mejor dicho por la ley de la conservación de la energía, la transformación sucede de diversas formas como el calor, la fricción por el rozamiento.

Aspectos	Llanta	Dinamo
<i>Potencia</i>	<i>1322.89 W</i>	<i>1275.9 W</i>
<i>Pérdida</i>	<i>0</i>	<i>46.99 W</i>

Tabla 1: Relación de la pérdida de potencia entre la llanta y el dinamo.

Haciendo uso de la ecuación 4 tenemos que su rendimiento sería el siguiente:

$$\frac{1275.9}{1322.89} \times 100 = 96.44\%$$

Su rendimiento es muy favorable lo que lo hace ideal para el sistema de regeneración de energía, sin embargo se deben realizar pruebas físicas reales para así conocer los parámetros reales en los que puede operar el sistema de regeneración.

3.1.6 Pruebas del Sistema de Regeneración de Energía

Para realizar pruebas del funcionamiento del sistema de regeneración de energía, el dinamo se adaptó en una bicicleta rodada 29" estándar (no eléctrica). Haciendo uso del multímetro para tomar lectura de los valores de voltaje y corriente obtenidas del dinamo, así como una aplicación móvil de velocímetro para saber la velocidad, seguido de eso se prosiguió a hacer correcciones y mejoras. Las pruebas realizadas se basaron en el voltaje, corriente y la potencia generada por el dinamo en función de la velocidad del ciclista.

3.1.6.1 Prueba 1.

El usuario en la bicicleta ocupada para la prueba fue un adulto con un peso de 65 [kg]. El terreno: carretera con asfalto plano y recta.

En la primera prueba del dinamo se utilizó el motor de 5 [V] (mini bomba de agua Sumergible), pero desafortunadamente el motor terminó por arruinarse, ya que no logró soportar la velocidad de giro transmitida por medio de la rueda de la bicicleta.

3.1.6.2 Prueba 2.

Las pruebas con el motor de 12[V] el cual es capaz de realizar una velocidad de giro de 2400[rpm]. Esta prueba se llevó a cabo con un adulto de un peso aproximado de 65 [kg]. Estas pruebas se realizaron en carretera y asfalto, recorriendo un terreno ondulado, con el objetivo de recopilar datos de voltaje y corriente en relación con la velocidad de desplazamiento. Se presentan los resultados en la siguiente tabla 2.

Velocidad Km/h	Voltaje	Corriente
5 km/h	.20 v	2.43 mA
8 km/h	1.00 v	4.00 mA
10 km/h	1.20 v	5.85 mA
14 km/h	2.20 v	9.00 mA
16 km/h	2.70 v	11.80 mA
18 km/h	3.00 v	12.80 mA
20 km/h	3.45 v	13 mA
23 km/h	4.00 v	15 mA
27 km/h	4.30 v	18 mA

Tabla 2: Datos en función de la velocidad del ciclista.

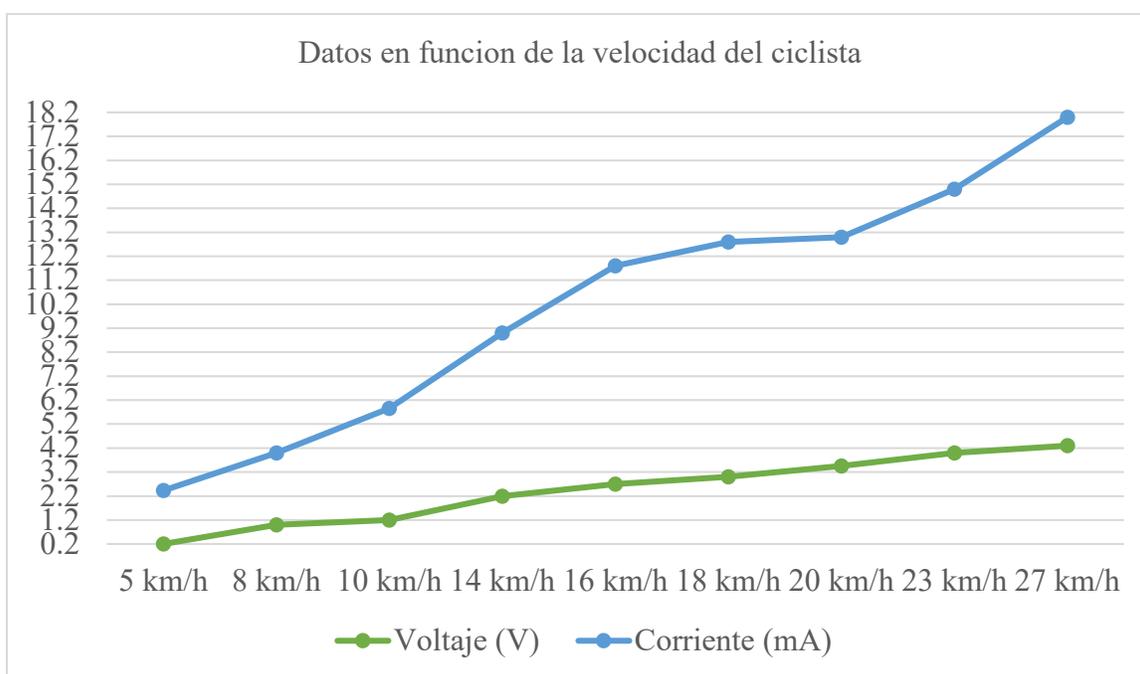


Figura 12: Gráfica representativa de los datos en relación con la velocidad del ciclista.

La potencia se expresa conforme a la velocidad que realice el ciclista tal como se muestra en la tabla 3.

$$W = I V$$

Velocidad Km/h	Potencia
<i>5 km/h</i>	<i>0.000486 W</i>
<i>8 km/h</i>	<i>0.004 W</i>
<i>10 km/h</i>	<i>0.00702 W</i>
<i>14 km/h</i>	<i>0.0198 W</i>
<i>16 km/h</i>	<i>0.03186 W</i>
<i>18 km/h</i>	<i>0.0384 W</i>
<i>20 km/h</i>	<i>0.04485 W</i>
<i>23 km/h</i>	<i>0.06 W</i>
<i>27 km/h</i>	<i>0.0774 W</i>

Tabla 3: Watts obtenidos en función de la velocidad.

3.1.7 Sistema Instalado en una Bicicleta Eléctrica

La batería ideada para el funcionamiento de una bicicleta promedio eléctrica es de 36 [V] y 10 [Ah] con capacidad total de 360 [Wh]. Para lograr la recarga del 25 % de la capacidad de la batería se requieren 90 [W].

Tomando como referencia una velocidad de 14 [km/h] se produce 0.0198 [W] tabla 3. Según Hermosa, al aplicar más tiempo a la potencia, más trabajo eléctrico se obtiene, Trabajo potencia tiempo (2013).

$$60 \text{ segundos} \times 60 \text{ minutos} = 3600 \text{ segundos en 1 hora}$$

$$60 \text{ segundos} \times 30 \text{ minutos} = 1800 \text{ segundos en media hora}$$

$$60 \text{ segundos} \times 20 \text{ minutos} = 1200 \text{ segundos en 20 minutos}$$

$$60 \text{ segundos} \times 15 \text{ minutos} = 900 \text{ segundos en un cuarto de hora}$$

$$0.0198 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 71,28 \text{ J}$$

$$1\text{W} = \frac{1\text{J}}{1\text{s}}$$

$$W = \frac{71.28 J}{1s} = 71.28$$

$$0.0198 W \times 900 s = 17.82 J$$

$$W = 17.82$$

$$71.28 + 17.82 = 89.1$$

Se requiere de hacer un recorrido de 1 hora y 15 minutos para generar 89.1 [Wh], cercano al equivalente del 25% de la batería a una velocidad promedio de 14 [km/h].

Por lo tanto, tenemos que $360 Wh - 89.1 Wh = 270.9 Wh$. Demostrando que la recarga de la bicicleta eléctrica ya es solamente un 75% del suministro eléctrico y un 25% del sistema de regeneración de energía. Dando un 0.07 Kg de CO_2 como huella de carbono, en consecuencia, se ha hecho una reducción de emisiones de dióxido de carbono como se pretendía.

3.1.8 Almacenamiento de Energía

Una vez se tiene el sistema de regeneración proporcionando energía, se procede al almacenamiento en las baterías. Dado que la batería propuesta para el sistema instalado en una bicicleta eléctrica es de 36 [V] se han implementado 3 bancos de baterías con 12 [V] cada una. De esta forma se obtienen los 36 [V] requeridos, en los cuales se empleó un circuito de carga controlada para mantener en un buen estado las baterías. Este proceso se muestra en la siguiente figura 13.

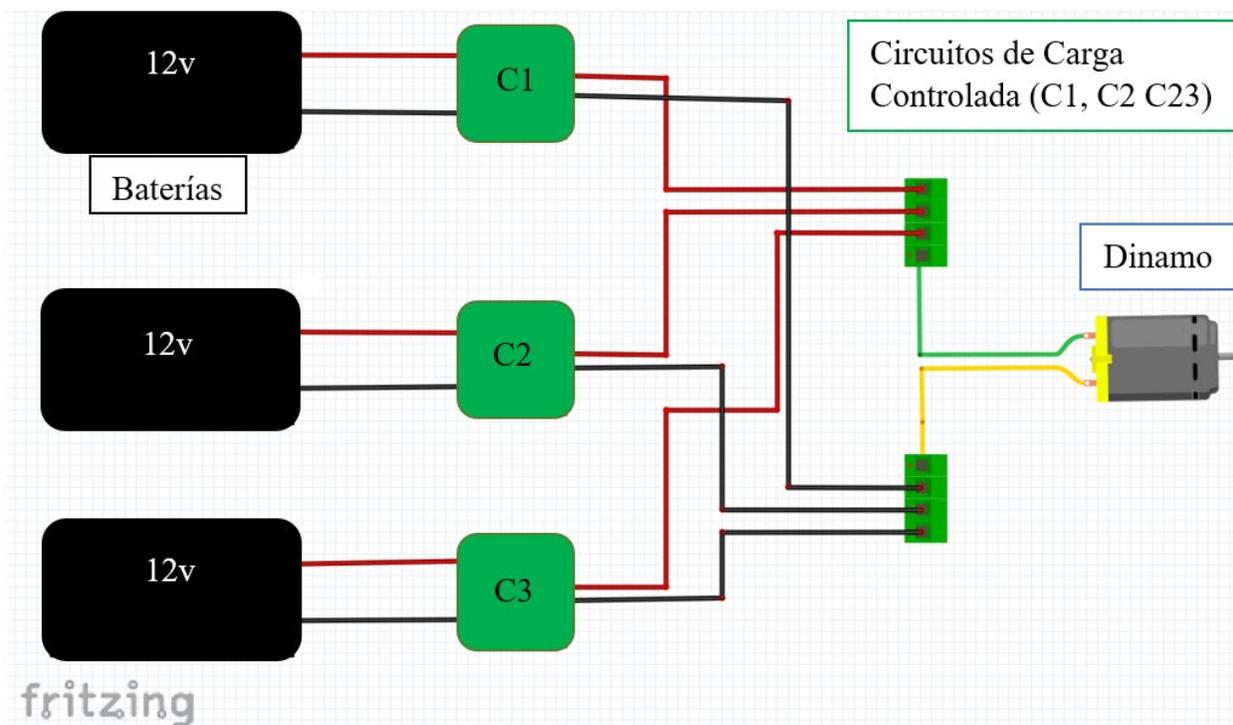


Figura 13: Diagrama del almacenamiento de energía.

3.1.9 Circuito de Carga Controlada

Se empleó un circuito de control analógico, el cual tiene la función principal de detener automáticamente la recarga de la batería, haciendo un corte en el suministro de energía que proviene del dinamo, el circuito es representado en un diagrama electrónico como se muestra en la figura 14.

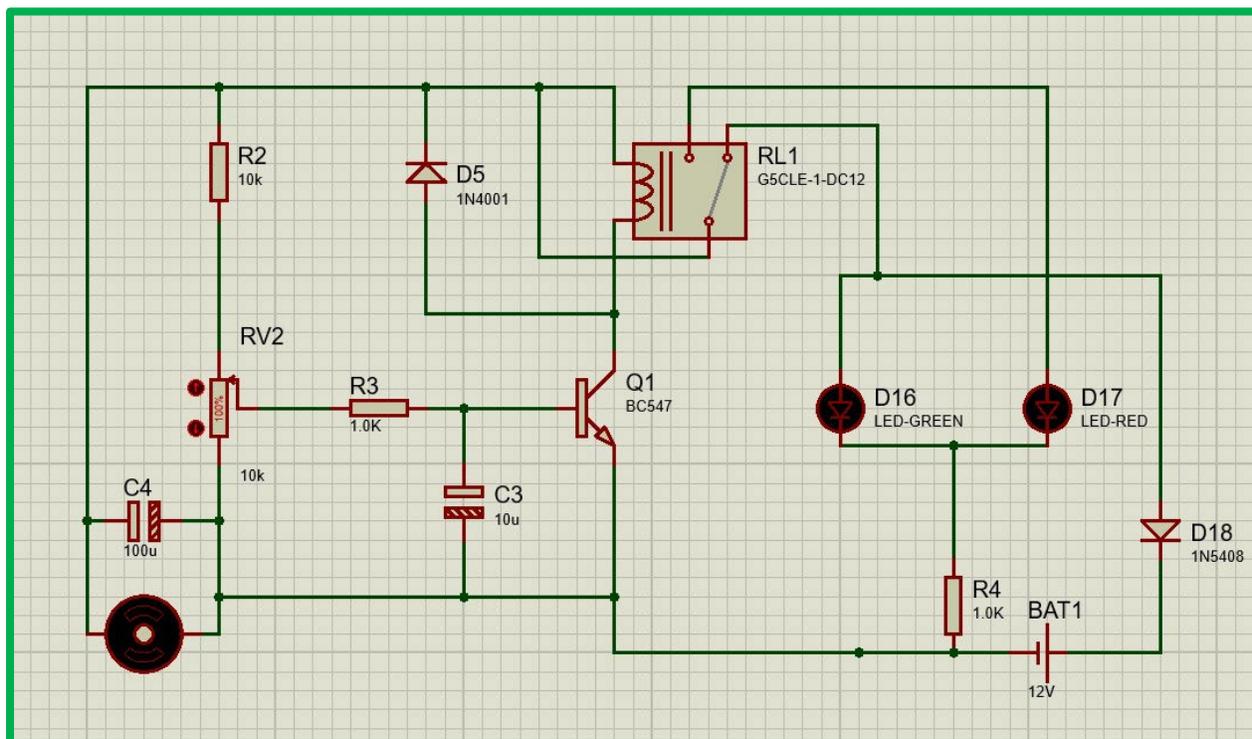


Figura 14: Diagrama representativo del circuito electrónico.

3.1.10 Función del Circuito de Carga Controlada

Dado que en el circuito se encuentran conectados la batería y el dinamo existe el hecho que la batería haga funcionar al dinamo como un motor común de corriente directa, para evitar eso se ha implementado un diodo rectificador en la salida del circuito dirigido a las baterías como se muestra en la figura 14 en la parte inferior derecha.

El circuito también tiene la funcionalidad de admitir la carga directa del suministro eléctrico del hogar con un adaptador de 12 [V].

3.1.11 Optimización de la Batería

La carga de la batería debe optimizarse para tenerla en buenas condiciones, para ello se debe ocupar un sistema de gestión de baterías, comúnmente llamados (Batter Management System [bms]). Los cuales son encargados de controlar la carga y descarga de las celdas de la batería.

Las placas se diferencian por la cantidad de celdas que pueden cargar identificándose como 1s, 2s, 3s, que equivaldría a una batería, dos baterías y tres baterías, como ejemplo, se tiene una placa 3s con 3 baterías, la primera está al 90 por ciento de capacidad la segunda a un 80 por ciento y la 3 está descargada, el circuito controla la carga de tal forma que no haya sobrecargas, pero en cuanto una batería llegue a su máxima capacidad cortara el suministro de energía, aunque alguna de las otras dos no se haya cargado al 100 por ciento. Esto supone un problema debido a que no hay una estabilidad en la capacidad de almacenamiento de las baterías, por lo tanto, es una deficiencia en el sistema el cual se solucionó optimizando el circuito electrónico.

3.1.12 Optimización del Circuito

La mejora que se hace para tener una carga balanceada es colocar una placa [bms] del tipo 1s a cada una de las baterías utilizadas, para que de forma independiente se carguen completamente y con la ayuda del circuito de carga controlada se logra una buena estabilidad en las baterías.

Como ejemplo el circuito queda funcionando de la siguiente manera, la primera está al 90 por ciento de capacidad, la segunda a un 80 por ciento y la 3 está descargada, para la primera batería ya que está casi a su máxima capacidad se cargará en seguida, como la batería 2 está a un 80 por ciento se cargará más rápido que la que está descargada, cuando la batería 2 se cargue completamente, se cortará automáticamente el suministro de energía y proseguirá a cargarse la batería 3, teniendo una carga controlada y balanceada.

3.1.13 Mejora del Sistema

El sistema de regeneración de energía es más eficiente al tener más de 1 dinamo, por lo cual se realizó una mejora al implementar 6 dinamos instalados en la rueda delantera de la bicicleta tal como se muestra en la figura 15. Debido a que anteriormente él dinamo se encontraba en la llanta trasera de la bicicleta ocasionaba una deficiencia en el pedaleo.

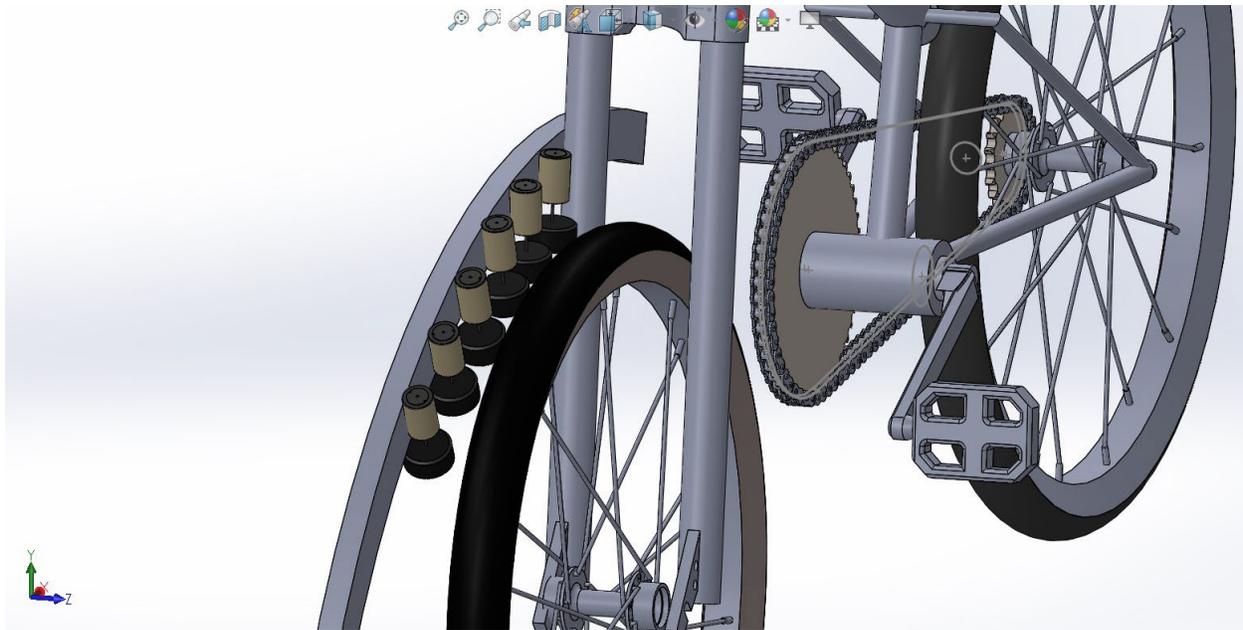


Figura 15: Soporte para 6 dinamos instalados en la llanta delantera de la bicicleta.

Para tener la posibilidad de recargar un tercio de la batería se requieren 120 [W], en donde las capacidades de la batería son de 36 [V] y 10 [Ah] con un total de 360 [Wh]. Pedaleando a una velocidad de 14 [km/h] se produce 0.0198 [W] tabla 3, dato equivalente al sistema de un dinamo.

$$1 \text{ dinamo} = 0.0198 \text{ W}$$

$$6 \text{ dinamo} = 0.1188 \text{ W}$$

Según Hermosa, al aplicar más tiempo a la potencia, más trabajo eléctrico se obtiene, [*trabajo = Potencia × Tiempo*], (2013).

$$60 \text{ segundos} \times 60 \text{ minutos} = 3600 \text{ segundos en 1 hora}$$

$$60 \text{ segundos} \times 30 \text{ minutos} = 1800 \text{ segundos en media hora}$$

$$60 \text{ segundos} \times 20 \text{ minutos} = 1200 \text{ segundos en 20 minutos}$$

$$60 \text{ segundos} \times 15 \text{ minutos} = 900 \text{ segundos en un cuarto de hora}$$

Operaciones acordes a quince minutos de trabajo en bicicleta.

$$0.1188 \text{ W} \times 900 \text{ segundos} = 106.92 \text{ J}$$

$$1 \text{ W} \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$$

$$W = \frac{106.92 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 106.92$$

Por lo tanto, se requiere de hacer un recorrido de 15 minutos para generar 106.92 [W], cercano al equivalente de un tercio de la batería a una velocidad promedio de 14 [km/h].

VII. Conclusiones

En este trabajo se abordó la implementación y el desarrollo de un prototipo de bicicleta eléctrica autosuficiente con lo cual se muestra la viabilidad de aplicar tecnologías renovables y sistemas sostenibles para crear soluciones innovadoras que no perjudiquen al medio ambiente. La integración de sistemas de energía renovable, como la implementación de un motor como dinamo en el prototipo de diseño de la bicicleta eléctrica permite aumentar su autonomía, reduciendo la dependencia de recargas externas y ampliando su rango de uso. Actualmente al utilizar energía limpia y renovable, en el prototipo de la bicicleta eléctrica contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la disminución de la contaminación causada por el transporte personal. Una de las pequeñas pero significativas soluciones en la disminución del efecto invernadero puede ser la bicicleta eléctrica autosuficiente la cual fomenta el uso de un modo de transporte más amigables con el medio ambiente, incentivando la adopción de hábitos de movilidad sostenible en la sociedad.

Por otra parte, cabe mencionar que a pesar de las ventajas que puede presentar el prototipo de bicicleta eléctrica autosuficiente llega a enfrentar desafíos técnicos y de diseño, como la optimización de la eficiencia energética, la integración de componentes y la gestión de recursos. El éxito comercial de un producto como la bicicleta eléctrica autosuficiente dependerá de factores como su costo, rendimiento, durabilidad y aceptación por parte de los consumidores, así como de la existencia de políticas de apoyo y promoción de la movilidad sostenible.

VIII. Recomendaciones

El sistema se podría mejorar colocando un segundo soporte con un resorte que ejerza atracción partiendo del dinamo hacia la llanta, manteniendo así el contacto en todo momento entre ambos. Como resultado de que un solo dinamo no entrega demasiada potencia se puede realizar un ensamblaje a la bicicleta de varios motores serie acoplados en cada lado de la llanta para aumentar la capacidad de aprovechamiento de energía.

Otro aspecto por mejorar como recomendación es que los dinamos se cambien de ubicación en el cuadro de la bicicleta para no intervenir con el pedaleo, fijándolos en la llanta delantera, en el mejor caso podría agregarse un soporte largo en la parte trasera de la bicicleta lejos del pedaleo, haciendo más cómodo el pedaleo en bicicleta.

IX. Referencias

Bikelec. (2022, octubre 17), Freno regenerativo La bicicleta eléctrica que se carga por sí misma ¿Realidad o ficción? Blog Bikelec. <https://www.bikelec.es/blog/la-bicicleta-electrica-que-se-carga-por-si-misma-realidad-o-ficcion>

Calculadora de equivalencias de gases de efecto invernadero - Cálculos y referencias. (2022, marzo 22), US EPA. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculadora-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero-calculos>

Calculador de equivalencias de gases de efecto invernadero. (2022, octubre 11), US EPA. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero>

“Centrales de Energías Renovables: Generación Eléctrica con Energías Renovables”. (Carta et. al. 2009), Pearson Educación.

CeroCO2 - Te ayudamos en tu ruta de descarbonización. (s. f.). CeroCO2 - Te Ayudamos En Tu Ruta de Descarbonización. <https://www.ceroco2.org/calculadoras/electrico>

Chunchi, J.G y Espinoza, M.C (2015), Diseño y construcción del sistema de regeneración de energía y acumulación por supercondensadores para una bicicleta. Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz. Cuenca-Ecuador.

¿Como puedo saber la autonomía real de una bicicleta eléctrica? (s. f.-b), <https://www.vaic.com/es/content/29-como-puedo-saber-la-autonomia-real-de-una-bicicleta-electrica>

Corporativa, I. (s. f.), Autosuficiencia energética y seguridad energéticas. Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/transicion-energetica/autosuficiencia-energetica-seguridad>

D'Agostino, A.J. (2014, febrero), Diseño de Producto: Generación de Energía Eléctrica a Partir de Bicicletas Fijas de Indoor. Universidad Nacional de Córdoba Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Escuela de Ingeniería Industrial.

Emisiones de dióxido de carbono. (2022, junio 14), US EPA. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>

García, G. (2020, junio 17), ¿Que es una bicicleta eléctrica pedelec y que la diferencia de un ciclomotor? Híbridos y Eléctricos. <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/bicicletas-electricas/es-bicicleta-electrica-pedelec-diferencia-ciclomotor/20200603105233035641.html>

Gutiérrez, D. L. (2016, agosto), Implementación y análisis de un prototipo de generación y almacenamiento de energía eléctrica a partir del movimiento de una bicicleta como propuesta para la disminución del consumo energético en la escuela de la comunidad el arroyo: etapa inicial. Universidad Santo Tomás Facultad de Ingeniería Electrónica. Bogotá D.C.

Hermosa, A. D. (2013, marzo), Electrónica aplicada. CF Instalaciones de Telecomunicaciones (1ªed.) Alfaomega Grupo Editor; MARCOMBO.

Navarrete J, et. al. (2014), Diseño y construcción de un sistema de regeneración de energía con ultracapacitores para una bicicleta. Escuela Politécnica Nacional (EPN). Quito - Ecuador.

Navarro P, et. al (2010), La ingeniería de la bicicleta. Fundación ESTEYCO. España.

Osorio, A. (2007), Generador eléctrico accionado por fuerza humana: una nueva alternativa de generación de energía. Academia de Ingeniería Mecánica Eléctrica Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Perez, E. (2021, septiembre 1), Adiós a las cadenas y las correas: los últimos sistemas de propulsión para bicicletas eléctricas. . . Xataka. <https://www.xataka.com/vehiculos/adios-a-cadenas-correas-ultimos-sistemas-propulsion-para-bicicletas-electricas-funcionan-cable>

Real Academia Española. (2014, octubre), Diccionario de la lengua española. <https://dle.rae.es/autosuficiencia>

Rueda, J. (2017, febrero), Análisis para la recuperación de energía cinética no aprovechada por medio del rin de una bicicleta. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco. Ciudad de México.