

Proyecto de Investigación de un Sistema Híbrido para una Bicicleta de Montaña.

Olarte S. * Granja M. * Serrano J. *

* Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador
(e-mail: tiagolarte@hotmail.com ; {mario.granja ; antonio.serrano}@epn.edu.ec)

Resumen: *El transporte en todo el planeta sufre una transformación profunda debido al exceso de vehículos en las calles, y a la contaminación de los mismos. Es por ello que, la hipótesis de este tema radica en el mejoramiento del transporte urbano con el medio más utilizado, económico y ecológico "La Bicicleta". Se parte de la premisa de las limitaciones de uso de la bicicleta, entre ellas: el estado físico, la ubicación geográfica, el clima, seguridad vial, accesibilidad, aumento de distancia recorrida, etc. y en consecuencia se propone un sistema híbrido que cumpla las expectativas del usuario. Este sistema híbrido es la fusión de energías, entre ellas la energía mecánica (cinética y potencial) y energía eléctrica, su funcionamiento se basa en la reutilización, aprovechamiento y almacenamiento de la energía que adquiere el ciclista a lo largo de su recorrido. El prototipo está constituido por subsistemas: el acumulador de energía cinética, el sistema de transmisión, el sistema de regeneración de energía cinética, el sistema eléctrico y su control electrónico. Los resultados obtenidos indican que al existir acumulación de energía cinética permanente, permite recorrer mayores distancias, incrementar la velocidad, y alcanzar un desgaste de confort por parte del operador.*

Palabras clave: *Bicicleta, sistema híbrido, acumulador cinético, energía cinética, volante de inercia, energía renovable.*

Abstract: *The transportation around the world suffers a deep transformation due to increase of vehicles on the streets and their pollution. So, the hypothesis of this topic is the urban transport improvement with the most used vehicle "The bicycle". It starts from the premise of the bicycle's limitations, including: the physical condition, geographical location, climate, road safety, accessibility, increase distance, etc., and therefore it's proposed a hybrid system that meets the user's expectations. This hybrid system is the fusion of energy, including mechanical energy (kinetic and potential) and electric energy, its operation is based on the reuse, use and storage of the energy acquired by the cyclist along the route. The prototype consists of subsystems: the kinetic energy storage, the transmission system, the kinetic energy regeneration system, electric system and its electronic control. The results indicate that the existents of permanent kinetic energy accumulation, allowing to route greater distances, increase speed, and a wear comfortable of the operator.*

Keywords: *Bicycle, hybrid system, kinetic storage, kinetic energy, flywheels, renewable energy.*

1. INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental por la contaminación a causa de la emanación de gases de efecto invernadero y el daño global al entorno (Tierra) por parte de la necesidad energética y de movilidad humana. Los derivados del petróleo (motores de combustión interna, turbinas de avión, locomotoras, aceites, lubricantes, plástico, etc.), plantas de carbón, plantas nucleares, etc.; son las principales causas del calentamiento global. Además, la deshumanización del ser humano para administrar entidades direccionadas a vender energía y dispositivos de pésima calidad, sin importar el daño que provocan al mantener al sistema actual conforme,

y un sin número de patentes, hacen al desarrollo técnico verás algo efímero e inalcanzable.

Actualmente los dispositivos que funcionan con baja eficiencia energética, pueden ser mejorados en tres aspectos fundamentales y sin destruir nuestro entorno, entre ellos; la optimización de la energía, la reutilización de energía circundante y la preservación del medio ambiente en su estado natural.

El desarrollo de un sistema con estas características enfocado a un medio de transporte urbano y ecológico como la bicicleta, hará de la misma un vehículo atractivo y de uso frecuente para la sociedad.

Generalmente, la mayor parte de la energía que entrega el ciclista a la bicicleta para que esta lo traslade se pierde, y esto hace que, sólo las personas que poseen un buen estado físico puedan utilizarlas frecuentemente. Por tal motivo, se analiza simplemente la energía que posee esta y se plantea una solución.

La energía que está latente en una bicicleta es la energía cinética, es decir, la fuerza motriz que entrega el ciclista hacia las ruedas para trasladarse. La mayor parte de energía adquirida se utiliza en el recorrido debido a pendientes, fricción de elementos en rotación o en el frenado. Por tanto, la energía cinética toma un papel fundamental como recurso renovable de movilidad, y al aplicar el principio físico de conservación de la energía, se puede almacenar y mantener constante este recurso.

Un volante de inercia se presenta como alternativa para manejar este recurso de movilidad, por tanto, el volante debe ser el mediador entre la disminución de la energía cinética y el aumento de la misma. Para que exista una buena distribución o utilización de la energía cinética adquirida o conservada, se debe almacenar en un acumulador cinético, es decir, la energía adquirida se transmite al volante de inercia y se almacenada para su inmediata o posterior utilización. Para compensar las pérdidas que existen en el recorrido; sea esta por rozamiento, o confort del operador se utiliza un motor eléctrico, el cual ayuda a mantener, toda la energía del sistema híbrido constante. La energía potencial de la bicicleta al descender por una pendiente se transforma en energía cinética, esta energía puede ser almacenada en el acumulador cinético a través de un sistema de retroalimentación, conformado por un trinquete inverso, puede absorber la energía de la rueda, y gracias al sistema de transmisión multiplicar su velocidad angular con el fin de almacenar la mayor cantidad de energía cinética posible. En consecuencia todas estas características transforman a todo el dispositivo en un sistema híbrido de energía renovable aplicado directamente a la movilidad del ser humano.

2. GENERALIDADES

2.1 Análisis y Selección de Alternativas

El análisis de alternativas se presenta como la solución al momento de proyectar el funcionamiento del sistema en todas sus aplicaciones, luego se analiza las expectativas de construcción y funcionamiento. De acuerdo al alcance de dispositivos y equipos para la construcción se detallan parámetros de selección por el método de criterios ponderados y se obtiene la mejor alternativa.

2.1.1 Primera Alternativa

La primera alternativa está constituida por el sistema híbrido localizado en el interior de la rueda posterior,

el sistema consta de dos volantes de inercia, un motor eléctrico, la transmisión y la batería, todo el sistema se encuentra en forma compacta dentro de la rueda posterior de la bicicleta.



Figura 1: Vista lateral izquierda de la bicicleta híbrida.
Fuente: Propia, Alternativa 1.

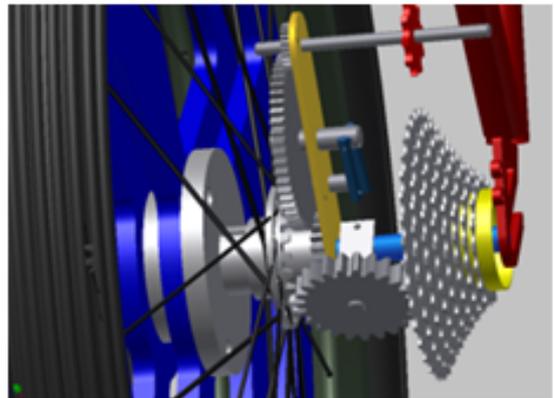


Figura 2: Vista lateral de la transmisión por engranes de la rueda trasera al piñón de cambios de velocidad.
Fuente: Propia, Alternativa 1.

2.1.2 Segunda Alternativa

En la segunda alternativa el sistema híbrido está localizado en el interior de la rueda trasera de la bicicleta, posee características semejantes de acumulación que la primera alternativa a excepción de la ubicación externa del motor eléctrico con respecto al volante de inercia, este alternativa permite al acumulador energético aumentar la capacidad de acumulación, debido a la disminución de masa en el centro de giro y aumento en su periferia. La conexión del motor eléctrico se la realiza a través de engranes cónicos y ejes huecos, que transmiten el par del motor hacia el acumulador.

2.1.3 Tercera Alternativa

En esta alternativa se utiliza una conexión directa del sistema de almacenamiento de energía que se encuentra en el interior de la rueda posterior de la bicicleta con

la rueda posterior, simplemente existe un embrague que hace la conexión y desconexión del volante con la rueda posterior. Consta el sistema de realimentación de energía mecánica y eléctrica, la parte mecánica es una conexión por trinquete inverso para que, cuando la rueda gira a más revoluciones que el volante, este le proporciona energía cinética, y el abastecimiento de energía eléctrica se lo hace a través de la conexión y desconexión de un alternador, esta se la realiza con la ayuda de un sistema electrónico, el cual permite activar el alternador cuando la bicicleta se encuentre descendiendo una pendiente en forma automática, y al mismo tiempo este sistema de conexión se activa cuando el ciclista utiliza los frenos.

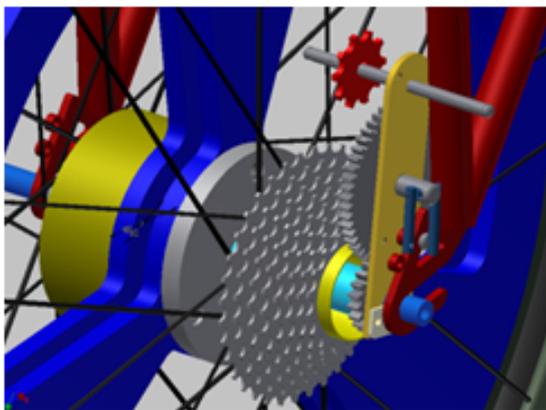


Figura 3: Vista lateral del sistema de transmisión directo.
Fuente: Propia, Alternativa 3.

2.1.4 Cuarta Alternativa



Figura 4: Vista lateral derecha de la bicicleta de tres ruedas (Trike-Hybrid).
Fuente: Propia, Alternativa 4.

La bicicleta híbrida posee dos ruedas localizadas en la parte posterior, lo cual le hace un triciclo, o bicicleta híbrida de tres ruedas. El acumulador energético se sitúa en medio de las dos ruedas, está compuesto por un sistema de volante de inercia, sujeto al cilindro rotor por prisioneros. El cilindro rotor se fija al eje central mediante dos tapas laterales con rodamiento interno cada una, en el interior del cilindro rotor se encuentra sujeto a través

de prisioneros al estator de un motor de arranque. Todo el sistema híbrido optimiza el uso eficiente de la energía por medio de los subsistemas fundamentales de almacenamiento, transmisión y reutilización energía cinética.

2.1.5 Quinta Alternativa

El sistema de acumulación de energía cinética se encuentra en la parte delantera de la bicicleta, es decir, posee dos ruedas delanteras direccionadas por el manubrio de la bicicleta y una rueda trasera.

La conexión de la energía del sistema se da en forma independiente del ciclista, es decir, es una bicicleta híbrida de tracción delantera y tracción posterior (tracción doble). La tracción delantera se ejecuta en el matrimonio (parte móvil de la transmisión), es decir, la energía que sale del sistema híbrido pasa a través del matrimonio al piñón de marchas, que a su vez le da las revoluciones necesarias a la rueda motriz delantera. La transmisión en la rueda posterior está compuesta del mismo sistema pedal-catalina normal, por medio de la cadena hacia el piñón-rueda; tracción posterior dotada por el operador o ciclista.



Figura 5: Vista lateral de la bicicleta híbrida.
Fuente: Propia, Alternativa 5.

2.2 Acumulador Cinético

2.2.1 Introducción

Bajo la investigación de los sistemas de acumulación de energía y los nuevos descubrimientos, como lo indica la figura 6. Los volantes de inercia ocupan el primer lugar en lo referente a densidad de potencia, es decir, transmiten con mayor rapidez la energía que almacenan, pero presentan baja densidad de energía, es decir, la duración de la energía transmitida es muy pequeña comparada con la del metanol o la gasolina. Es por ello que, se dispone en el sistema híbrido de un motor eléctrico y un sistema de control electrónico que permita obtener una densidad energética alta, de mayor duración y que pueda competir con las demás baterías.

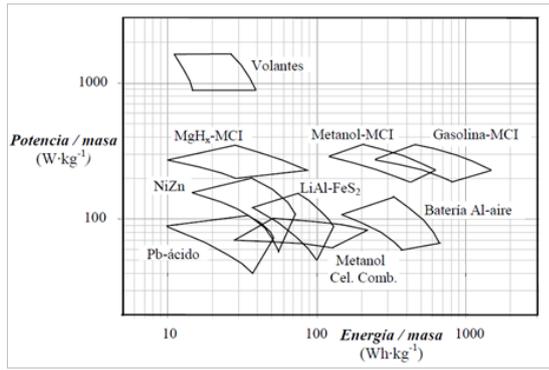


Figura 6: Comparación de la densidad de potencia en función de la densidad de energía, entre acumuladores de energía: volantes de inercia, motores de combustión interna, baterías y células de combustión [15].

Los acumuladores cinéticos son una alternativa muy veraz y real, ya que la mayoría de empresas, tanto automovilísticas como aeroespaciales, la han palpado. Actualmente se forman empresas como Beacon Power Corporation, la cual utiliza almacenadores de energía cinética empotrados en la tierra; como se muestra en la figura 7, esta empresa ha iniciado con un total de 200 volantes de inercia que tienen la capacidad de almacenar 20MW por 15 minutos.



Figura 7. El rotor cilíndrico desciende hacia el recipiente de vacío [3].

La NASA, desde hace algunas décadas, ha optado por los acumuladores cinéticos para la industria aeroespacial, es por ello que, sus estudios se los utiliza para desarrollar dispositivos más eficientes y económicos, que promuevan el uso de la energía limpia.

La pregunta es: si son aplicables a proyectos aeroespaciales, fórmula uno, y centrales eléctricas de 20 MW. Por qué no han sido desarrolladas para medios de transporte urbano o mejor aún para almacenamiento de energía limpia con una larga vida útil en nuestro entorno, la respuesta está en el desplazamiento del gran imperio que dirigen unas pocas familias y sus entidades encubiertas.



Figura 8: Batería Inercial desarrollada por la NASA [14].

2.2.2 Diseño del acumulador cinético

El principio base para la utilización y desarrollo de los acumuladores cinéticos radica en utilizar el conocimiento newtoniano, el cual indica que la energía cinética lineal es función de la masa y de la velocidad al cuadrado.

$$K = \sum_i K_i = \frac{1}{2} \sum_i \Delta m_i v_i^2 \quad (1)$$

Todo cuerpo en rotación posee una energía rotacional definida por:

$$K = \frac{1}{2} \sum_i \Delta m_i R_i^2 \omega^2 \quad (2)$$

La inercia de cuerpos en rotación se define como:

$$I \equiv \sum_i \Delta m_i R_i^2 \quad (3)$$

Entonces, la energía cinética rotacional estará dada por:

$$K = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (4)$$

Para el diseño del acumulador cinético se toma como factores principales: material, geometría, propiedades mecánicas, volumen disponible, costo, y principalmente la energía cinética almacenada en función del volumen y el costo.

2.2.3 Construcción del acumulador cinético

Los parámetros de selección se diseñan el acumulador cinético, con criterio de desmontaje para estudios posteriores.

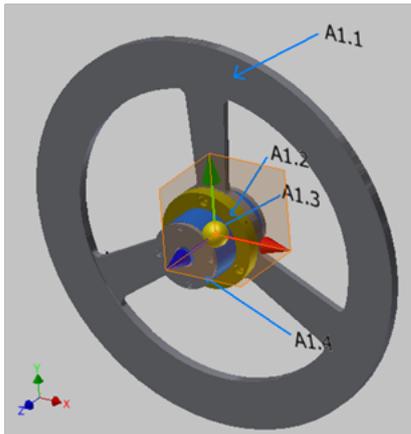


Figura 9: Diseño del acumulador cinético.
Fuente: Propia.

Tabla 1: Tabla de resultados en el proceso de selección.
Fuente: Propia.

Factores de diseño del volante de inercia							
TABLA DE RESULTADOS EN COMPARACIÓN A LA MISMA ENERGÍA CINÉTICA							
MATERIAL	Espesor, del volante [m]	Resistencia al Cortante [MPa]	Energía Cinética [J]	Densidad de Energía	Velocidad Periférica	Energía/Volumen [J/m ³]	Energía/Coste [J/\$]
ACERO	0,013	664	260,679	29,404	58,808	230823,210	351,704
ALUMINIO	0,038	231	262,084	29,404	58,808	79391,423	519,279
F. VIDRIO	0,057	72	262,084	29,404	58,808	52927,615	277,517
F. CARBONO	0,064	48	261,573	29,404	58,808	47046,769	624,840
TITANIO	0,023	896	264,383	29,404	58,808	132319,038	1328,130
PLOMO	0,009	49	259,785	29,404	58,808	332267,805	363,236

Constante: radio exterior e interior	
rext	0,505 [m]
rint	0,190 [m]

El proceso de fabricación de un volante comienza por corte en plasma del material, torneado, taladrado de geometría, fresado interno en cavidades y radios.



Figura 10: Fabricación del volante de inercia.
Fuente: Propia.

2.3 Sistema regenerativo

Este sistema tiene la función de adsorber la energía cinética de toda la bicicleta en exceso y transmitirla al volante de inercia. Este dispositivo está acoplado a la rueda lateral derecha con un conjunto de pernos adaptados a un trinquete cuya función es transmitir el movimiento

rotacional en una sola dirección de la rueda al volante de inercia, lo cual permite, la regeneración de energía excedente en pendientes o en superficies donde se pueda transitar rápidamente.



Figura 11: Fabricación del acumulador energético, montado en dos aros de bicicleta.
Fuente: Propia.

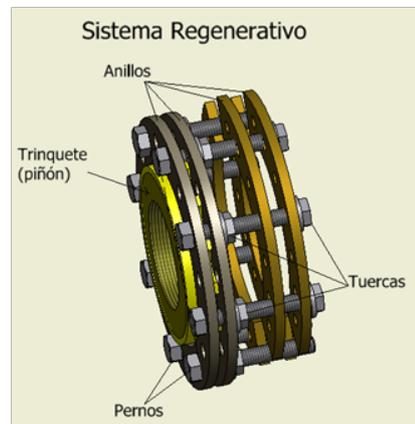


Figura 12: Sistema de transmisión de torque regenerativo.
Fuente: Propia.



Figura 13: Ubicación y montaje del sistema regenerativo.
Fuente: Propia.

2.4 Sistema de transmisión

La energía almacenada en el volante de inercia debe ser utilizada, para ello, se diseña el sistema de transmisión compuesto por un matrimonio (engranes), uno es móvil y posee corona para mover la cadena inducida y el otro es

fijo, el cual posee un piñón con trinquete para mover la cadena motriz. La conexión se la realiza con una horquilla sujeta a un soporte por resortes y a un cable de accionamiento que está conectado a una palanca de cambio en el manubrio, permite conectar y desconectar el sistema cuando el operador lo requiera. Además, posee un sistema de cambios en la rueda motriz de ocho velocidades, el cual permite variar el torque entregado del sistema híbrido a la bicicleta.

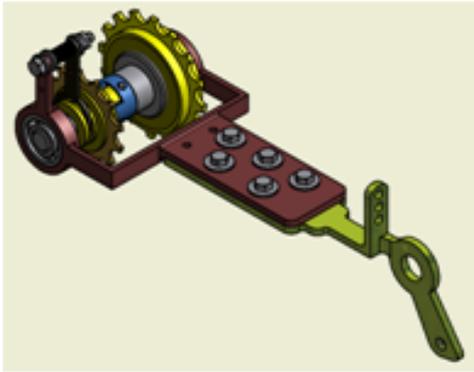


Figura 14: Sistema de transmisión.
Fuente: Propia.



Figura 15: Construcción y montaje del sistema de transmisión.
Fuente: Propia.

2.5 Sistema eléctrico

Los motores eléctricos tienen gran aplicación en cualquier rama porque son eficientes en comparación a un motor térmico, para el sistema híbrido se utiliza un motor eléctrico de acuerdo a las características técnicas de operación.

Tabla 2: Revoluciones por minuto entregadas, gracias al funcionamiento del sistema de transmisión.
Fuente: Propia.

Revoluciones por minuto de salida a la rueda motriz

Datos	Dimensión	rpm		Velocidad Bicicleta	
		(entrada)	(salida)	[m/s]	[km/h]
$D1=0,054$ [m]	[m]	$N1$	$N2$		
D2.1	0,12	400	180	3,112	11,203
D2.2	0,108	400	200	3,458	12,448
D2.3	0,097	400	222,68	3,850	13,860
D2.4	0,087	400	248,27	4,293	15,453
D2.5	0,078	400	276,92	4,788	17,236
D2.6	0,07	400	308,57	5,335	19,206
D2.7	0,063	400	342,85	5,928	21,340
D2.8	0,054	400	400	6,916	24,897

2.5.1 Motor eléctrico

El motor eléctrico fue seleccionado en base a las características de funcionamiento del acumulador cinético, es decir, la energía cinética de la bicicleta para alcanzar una velocidad estándar de 15 [km/h], fue calculada y posteriormente relacionada con las características del volante de inercia y con el sistema de transmisión, para mantener un rendimiento óptimo de todo el sistema híbrido.

Se determina la energía del acumulador cinético real, utilizando un coeficiente de fluctuación.

$$K_{RBH} = \frac{1}{2} I \omega_{prom}^2 C_{fr} \tag{5}$$

Se calcula la potencia útil, que está dada por:

$$W_a = \frac{K_{RBH}}{\Delta t} \tag{6}$$

Se determina la potencia por pérdidas,

$$W_p = C_{sf} \cdot \frac{W_a}{n_m} \tag{7}$$

Y se procede a determinar la potencia real del motor.

$$W = W_a + W_p \tag{8}$$

Los resultados indican que el motor eléctrico debe ser de 0,65 [HP], 800 rpm, de corriente continua, 12 voltios y tener un suministro de corriente de 20 amperios como máximo.

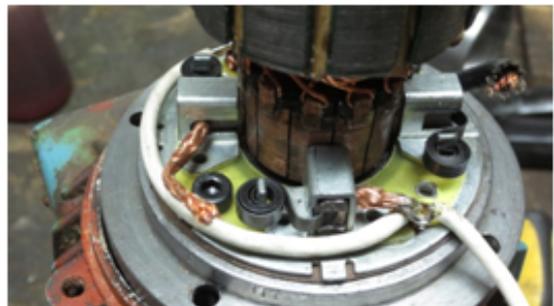


Figura 16: Fabricación y montaje del motor eléctrico.
Fuente: Propia.

2.5.2 Anillos de conexión externa o colector de anillos rozantes

Como todo el acumulador cinético se encuentra girando, se utiliza conexión externa por contacto, es decir, utilizamos anillos de bronce aislados con nylon, un anillo para el polo positivo y otro para el polo negativo.



Figura 17: Anillos de conexión del motor eléctrico.
Fuente: Propia.

2.5.3 Conexión móvil de carbones

Para que la fricción de los carbones sobre los anillos no sea causa de pérdida de energía cinética mientras está desconectado, se construyó un sistema automático de conexión eléctrica, el cual está compuesto por dos carbones y sus porta-escobillas, y un servomotor de 12 voltios con un torque de 12 kg/cm. El servomotor está controlado por el sistema de control electrónico.

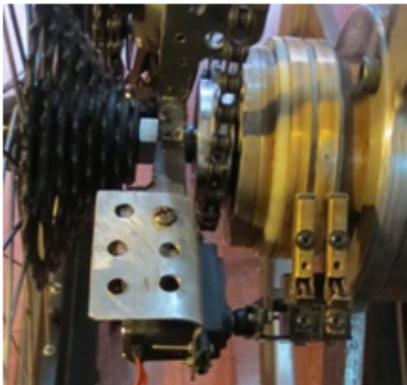


Figura 18: Conexión móvil de carbones.
Fuente: Propia.

2.6 Sistema de Control Electrónico

Este sistema es el encargado de mantener la energía cinética del acumulador constante, esto se logra gracias a sensores y actuadores.

2.6.1 Control de Revoluciones

Gracias a un sensor localizado en el volante de inercia se puede obtener el número de revoluciones por minuto de este. Esta señal entra a un PIC, el cual, de acuerdo a la programación en el rango de revoluciones por minuto (rpm) se establece el accionamiento del servomotor y posteriormente el accionamiento del relé para el paso de

corriente. El relé se lo utiliza para postergar levemente la entrega de energía eléctrica luego de que el servomotor entra en contacto con los anillos, y así evitar arco eléctrico o chispas.

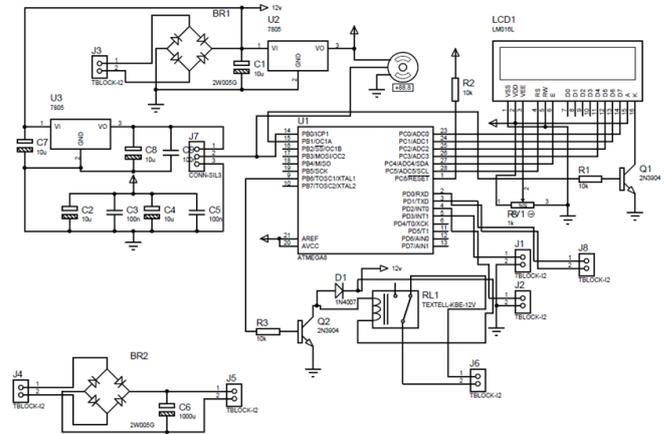


Figura 19: Simulación del sistema de control electrónico.
Fuente: Propia.



Figura 20: Sensor de revoluciones por minuto (rpm) del volante de inercia y sensor de velocidad (km/h) de la bicicleta.
Fuente: Propia.

2.6.2 Control de Velocidad

Se utiliza un sensor para determinar las revoluciones por minuto de la rueda de la bicicleta, esta velocidad angular se la multiplica por el radio de la llanta, y en consecuencia se determina la velocidad lineal de la bicicleta híbrida.

2.6.3 Rectificación de Corriente

Posee la función de transformar la corriente alterna que genera el alternador (dínamo) con 13,5 voltios y 0,75 amperios en corriente continua, esto lo logra gracias a un puente de diodos, junto a un capacitor electrolítico de 4700 microfaradios (f) a 63 voltios, mantiene y filtra la energía. Este sistema se lo ha realizado con el objetivo de que en pendientes o cuando el operador lo decida, puede cargar la batería del acumulador cinético o utilizar esta energía para las luces de diodos de 12 voltios.

2.6.4 Tablero de Control (Botonera)

La botonera se la realizó para poder manipular cualquier sensor en operación, desconexión del servomotor en casos de emergencia, encendido del sistema electrónico, alimentación de corriente a las baterías por parte del dínamo. En su totalidad para que el sistema híbrido sea más interactivo.



Figura 21: Tablero de control electrónico.
Fuente: Propia.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

Los materiales y equipos en la investigación, diseño y construcción del sistema híbrido son los siguientes:

El acumulador cinético consta un volante de inercia, anillos, ejes huecos, ejes sólidos, tapas, todo maquinado en torno y fresadora.

El motor eléctrico utilizado es un motor de arranque de una motocicleta de corriente continua, 12 voltios, todo el motor eléctrico fue montado y bobinado en los dispositivos maquinados para el acumulador cinético.

Se construye el sistema de transmisión, el cual hace de embrague y transmisión por engranes simultáneamente.

Posee dos ruedas: una rueda motriz con piñón y tensor, está conectada a la transmisión a través de una cadena y posee relación de transmisión con ocho velocidades, la otra rueda posee un sistema de direccionamiento de torque o trinquete, el cual actúa cuando la rueda posea más energía cinética que el volante de inercia, esto se aplica en pendientes.

Se subcontrató la fabricación del sistema de control electrónico, el cual posee los sensores y actuadores en requerimiento a las necesidades del diseño, con el fin de mantener la energía cinética del sistema híbrido constante.

Se fabrica una horquilla especial delantera para que contenga a las dos ruedas y al sistema híbrido.

Se utiliza frenos de disco delanteros por la seguridad y eficiencia en el frenado o casos de emergencia.

Se utiliza la parte posterior de una bicicleta de montaña convencional completa, junto con el manubrio y sus respectivos frenos.

Para el control electrónico se utiliza una batería seca de 12 voltios, 2 amperios hora, pequeña.

Para el motor de eléctrico se utiliza una batería seca de 12 voltios, 7 amperios hora, mediana.

Para recargar las baterías se utiliza un dínamo ubicado en la parte trasera de 12 voltios, 3 vatios, pequeño, el cual tiene una conexión con puente de diodos, capacitor y con interruptor para manipular su funcionamiento.

Tabla 3: Pesos de los elementos principales del acumulador.
Fuente: Propia.

Pesos precisos de diseño					
Cód.	Descripción/Medida	Volumen kg m ³	Densidad kg/m ³	Cantidad	Masa [kg]
A 2	Eje exterior (Rotor) Volante	0,0001961	7850	1	1,539
A 2	Anillo Prisionero del Volante	0,0001065	7850	1	0,836
A 1	Eje Principal	5,042E-05	7850	1	0,395
A 2	Eje Roscado Trinquete	1,274E-05	7850	2	0,200
A 2	Tapa del Eje exterior	5,157E-05	7850	2	0,809
A 2	Volante de Inercia	0,0013726	7850	1	10,774
A 2	Anillo de bronce	1,018E-05	8173	1	0,083
A 2	Lunas de conexión	3,299E-06	7850	4	0,103
A 3	Engrane Matrimonio	9,845E-06	7850	2	0,154
A 3	Eje principal de la transmisión	2,921E-05	7850	1	0,229
Suma					15,126

El software utilizado para el diseño y cálculo fue:

Autodesk Inventor con licencia que dispone la EPN.

Microsoft Office, Excel con licencia que dispone la EPN.

Proteus 7.1, con licencia que dispone la EPN.



Figura 22: Prototipo construido.
Fuente: Propia. Alternativa 4.



Figura 23: Prototipo construido.
Fuente: Propia. Alternativa 5.

3.2 Métodos

Los métodos utilizados fueron:

Análisis de mercado práctico.

Se trata de buscar todos los materiales presentes en una zona determinada para que la fabricación resulte fácil y sencilla, así como los elementos o dispositivos que se presenten en una alta gama.

Ingeniería inversa.

Con el análisis de mercado y las piezas o elementos seleccionados se procede al diseño y posteriormente a la fabricación del dispositivo tomando en consideración dimensiones, material, funcionalidad, versatilidad en el montaje. Por tal motivo, este método provee de un diseño económico, eficiente, funcional y confiable.

Diseño mecánico.

El diseño mecánico desempeña un papel fundamental para garantizar el funcionamiento de cada elemento que inicialmente empieza en la imaginación, pasa a ser diseñado en papel o simulador, y posteriormente se realiza el cálculo para garantizar y mejorar su desempeño para luego ser fabricado y manejado en sus propiedades mecánicas para obtener un producto de calidad.

Automatización.

La mecánica se complementa con las demás áreas de ingeniería para formar un dispositivo que sea autosuficiente en todos sus aspectos, es por ello que, en este proyecto se logra automatizar el sistema híbrido para garantizar su eficiencia energética.

4. ANÁLISIS

Presenta un funcionamiento eficiente en la acumulación de energía cinética en superficies planas, y en pendientes no mayores a los 30 grados.

La máxima velocidad alcanzada por la bicicleta está entre 15 y 25 [km/h] a plena carga, esto implica que la batería debe ser recargada cada hora.

La maniobrabilidad de la bicicleta por el acumulador cinético presenta el efecto giroscópico, por tanto, se debe realizar un torque de giro en el manubrio adicional para las curvas, pero está en el rango de fuerza física de confort de una persona normal.

El sistema de retroalimentación de energía cinética es muy eficiente cuando la bicicleta adquiere una velocidad mayor a los 10 [km/h], menor a esta velocidad el volante empieza a ser un inconveniente para el operador y las baterías.

La vibración por desbalanceo que se produce a altas revoluciones por parte del volante de inercia, en consecuencia el operador tiene dificultad en el manejo.

Como se puede apreciar en la tabla de costos, es un precio muy elevado para una bicicleta convencional, pero este disminuye al hacer la fabricación en serie y más investigación.

Tabla 4: Análisis de costos del prototipo.
Fuente: Propia.

<i>Costo Total</i>	
Descripción	Costo parcial
Costos Directos	1097,00
Costos Indirectos	696,26
Costos por Imprevistos	179,33
Costos por Diseño	1120,00
TOTAL	3092,59

5. CONCLUSIONES

La construcción se realizó en base a las dos mejores alternativas (Alternativa 4 y 5), permite una mayor comprensión de todos los principios mecánicos, energéticos, eléctricos y físicos, e interpretar los parámetros más indispensables en el diseño y su influencia en el rendimiento, capacidad, funcionalidad, adaptabilidad y costo, para así lograr el objetivo deseado.

La fabricación inicial fue la alternativa 4, presenta en su funcionamiento ciertos parámetros que influyen directamente en su maniobrabilidad, en otras palabras, el efecto giroscópico cuando se toma una curva con una moderada velocidad (15 km/h), hacen que la rueda delantera por falta de adherencia (comparada con la adherencia de las dos ruedas del sistema de almacenamiento de energía) no gire, además de otros factores inerciales. El difícil manejo de la alternativa 4 fabricada, es la razón por la cual queda eliminada en las pruebas de campo.

Los parámetros de diseño de máquinas han permitido tener un amplio factor de seguridad para su funcionamiento u

operación y garantizar la vida útil del sistema y en consecuencia la seguridad del operador y todos sus entornos.

Los volantes de inercia para futuras aplicaciones en todas las áreas y con las posibles mejoras en lo referente a pérdidas aerodinámicas (vacío absoluto), rozamiento (levitación magnética), efecto giroscópico (campos inerciales), maniobrabilidad (control de superficie), costo (producción en serie), contaminación ambiental (cero emisiones y larga vida útil), van a desencadenar una nueva era de movilidad, energía y de conservación de nuestro entorno a nivel mundial.

RECONOCIMIENTOS

J. E. Olarte y N. L. Benavides, gracias por el apoyo incondicional y el ideal de servir a la humanidad.

G. E. Culqui y T. S. Olarte, gracias por el amor y paz interior que reflejan en mí la dicha de construir un mundo mejor y libre de contaminación.

H. Santos, W. Cueva, V. Palacios, O. Pillajo, gracias por la sabiduría y entrega para construir un sueño.

M. G. Granja y J. A. Serrano, gracias por la sapiencia técnica verás en sus conocimientos.

REFERENCIAS

- [1] A. R. Holowenko, "Dynamics of machinery", Ed. 5th, United States, June 1965, Chapter 16.
- [2] B. BOLUND, "Flywheels energy and power storage systems", Uppsala University, The Angstrom Laboratory, Sweden, 2007. [Online]. Available: <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/refs/storage/Flywheel.pdf>. Acceso: Enero 2013.
- [3] Beacon Power, LLC, "Proven clean technology solution for frequency regulation, grid stability renewable energy integration". [Online]. Available: http://www.beaconpower.com/files/bp_intro.pdf. Acceso: Enero 2013.
- [4] C. Riva, "Diseño Concurrente", Ed. 1ra, Edicions UPC S.L., págs. 226, 2002.
- [5] D. I. Elorrieta, "Libro verde de medio ambiente urbano", España (2007).
- [6] Flywheel Bicycle: KERS for pedal pushers [Online]. Available: <http://www.gizmag.com/flywheel-bicycle-regenerative-braking/19532>, Acceso: Enero 2013.
- [7] G. L. Dugger, "Heat-Engine/Mechanical-Energy-Storage-Hybrids-Propulsion Systems for vehicles", Applied Physics Laboratory, Maryland, march 1972. [Online]. Available: <http://www.epa.gov/>. Acceso: Enero 2013.
- [8] J. A. Kirk, P. A. Studer, y H. E. Evans, "Mechanical Capacitor", Información técnica de la NASA, Número TN D-8185, March 1976. [Online]. Available: <http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uiug.30112106912592#view=1up;seq=1>. Acceso: Enero 2013.
- [9] J. E. Shigley. "Diseño en Ingeniería Mecánica". Ed. 8va, McGrawHill, México 2008.
- [10] J. L. Meriam, "Mechanics", Ed. 2da. Wiley, New York, 1959.
- [11] J. V. Molina y H. A. Salazar, "Diseño y construcción de un sistema de impulsión neumático para acoplarlo a una bicicleta comercial", EPN, Cód.: 2286, Junio 2009.
- [12] Ll. R. Masferrer, "Análisis y diseño de volantes de inercia de materiales compuestos", Ingeniería Mecánica de la UdG., 2005.
- [13] P. M. Fishbane, "Física para Ciencias e Ingeniería Vol. 1", Ed. Prentice Hall, México, 1994.
- [14] R. H. Jansen y K. L. McLallin, "G2 Flywheel Module Operated at 41,000 rpm", Características, Artículo 05.06.04 [Online]. Available: http://www.nasa.gov/missions/science/f_flywheel.html, Acceso: Diciembre 2012.
- [15] S. V. Kulkarni, "Composite Material Flywheels and Containment Systems" Energy and Tech. Rev. L.L.N.Lab., March 1982, pág. 18-29.