



TÍTULO DE LA PROPUESTA
Conversión de una bicicleta convencional en una bicicleta eléctrica
Desarrollo Tecnológico

AUTORES

Echeverría Infante Juan Pablo
Giraldo Castrillo Samir José
Mesa Hernández Andrés Felipe

Código: 1049615995
Código: 1096236815
Código: 1096233040

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO
BARRANCABERMEJA
FECHA DE PRESENTACIÓN: 15-11-2017



TÍTULO DE LA PROPUESTA
Conversión de una bicicleta convencional en una bicicleta eléctrica
Desarrollo Tecnológico

AUTORES

Echeverría Infante Juan Pablo

Código: 1049615995

Giraldo Castrillo Samir José

Código: 1096236815

Mesa Hernández Andrés Felipe

Código: 1096233040

Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogo en Operación y Mantenimiento Electromecánico

DIRECTOR

Luis Omar Sarmiento Álvarez
Ingeniero Electricista

Grupo de Investigación en Ingenierías y Ciencias Sociales - DIANOIA

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO
BARRANCABERMEJA

FECHA DE PRESENTACIÓN: 15-11-2017

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:



R-DC-95

DOCENCIA

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y
PRÁCTICA

PÁGINA 3

DE 73

VERSIÓN: 01

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del Jurado

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

DEDICATORIAS

Dedicado a mi familia, a mi esposa y con mucho amor a mi hijo, que siempre han estado a mi lado a lo largo de todo este proceso, a mis amigos quienes me han apoyado siempre, y ante todo a Dios que ha sido mi fortaleza.

**Juan Pablo Echeverría
Infante**

A mi familia, en cabeza de mi madre, que siempre confiaron en mí y en mis capacidades, a mis amigos, que han sido un soporte incondicional en todos los aspectos de mi vida, y en especial a quien siempre estuvo conmigo, y siempre supo cómo acompañarme.

Samir José Giraldo Castrillo



R-DC-95

DOCENCIA

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y
PRÁCTICA

PÁGINA 6

DE 73

VERSIÓN: 01

Dedicado primero a Dios, a toda mi familia, a los docentes que me aportaron todos sus conocimientos, a mis amigos que me apoyaron en la realización de este proyecto, y en especial a mi pareja que me apoyo todo este tiempo.

Andrés Felipe Mesa Hernández

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento, al ingeniero Luis Omar Sarmiento, por la colaboración prestada, por el apoyo en todos los sentidos a lo largo del desarrollo de este proyecto.

A su vez a todos nuestros compañeros que acompañaron durante todo este proceso académico, siendo muchas las personas que ayudaron a que este sueño se volviera una realidad.

También agradecen a todo la planta académica y administrativa de las **UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**, por brindarnos la guía, a lo largo de este proceso académico, con la cual estaremos eternamente agradecidos.

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>14</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>16</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	<u>18</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2. JUSTIFICACIÓN	20
1.3. OBJETIVOS	22
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	22
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES	23
1.4.1. INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y PROTOTIPO DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA Y TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN BATERÍAS	23
1.4.2. PLAN DE NEGOCIOS PARA ENSAMBLE Y COMERCIALIZACIÓN DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA AUTOSUSTENTABLE ECOLOCLETA.	23
1.4.3. DISEÑO DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA CON CUADRO ADAPTABLE	24
1.4.4. ESTUDIO Y DESARROLLO DEL CIRCUITO DE CONTROL Y POTENCIA DEL CONVERTIDOR DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA.	24
1.4.5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRACCIÓN Y REGENERACIÓN ELÉCTRICA PARA UNA BICICLETA	25

<u>2.</u>	<u>MARCOS REFERENCIALES</u>	<u>26</u>
2.1.	MARCO TEORICO	26
2.1.1.	PRINCIPIOS MECÁNICOS.	26
2.1.2.	CONTROL.....	27
2.1.3.	MOTOR.....	28
2.1.4.	BATERÍA DE IONES DE LITIO.....	29
2.1.5.	BIELA.....	30
2.1.6.	COSTOS.....	31
2.1.7.	VENTAJAS E INCONVENIENTES.	32
2.2.	MARCO CONCEPTUAL	34
2.2.1.	COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRACCIÓN.....	34
2.2.2.	MOTOR BRUSHLESS DC.	35
2.2.3.	BATERÍA.....	36
2.3.	MARCO HISTORICO	37
2.4.	MARCO LEGAL	40
2.5.	MARCO AMBIENTAL	42
<u>3.</u>	<u>DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....</u>	<u>44</u>
3.1.	ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS	44
3.2.	DISEÑO EN SOLIDWORKS.....	47
3.3.	CONVERSIÓN	49
<u>4.</u>	<u>RESULTADOS.....</u>	<u>55</u>

<u>5.</u>	<u>CONCLUSIONES.....</u>	<u>58</u>
<u>6.</u>	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>60</u>
<u>7.</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>61</u>
<u>8.</u>	<u>ANEXOS</u>	<u>65</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1; Diagrama de cuerpo libre para bicicleta.....	26
Figura 2; Diagrama del sistema.....	27
Figura 3; Esquema general del circuito de control y potencia.....	28
Figura 4; Funcionamiento de baterías de Litio.....	30
Figura 5; Funcionamiento Baterías de Ion-Litio.....	30
Figura 6; Vista lateral diseño Solidworks.....	47
Figura 7; Vista lateral diseño Solidworks.....	48
Figura 8; Vista inclinada Solidworks.....	48
Figura 9; Conexión de freno y acelerador.....	49
Figura 10; Guías de la base de la batería y la batería.....	50
Figura 11; Orificio inferior marco bicicleta.....	51
Figura 12; Cableado de controlador de motor.....	51

Figura 13; Instalación cableado controlador de motor.....	52
Figura 14; Realizando sellado de la base de controlador de motor.....	52
Figura 15; Motor brushless DC, adaptado a la rueda delantera.....	53
Figura 16; Sensor en paralelo al plato de disco.....	54
Figura 17; Instalación panel LCD.....	54
Figura 18; Pantalla LCD, pre (izquierda) y post (derecha) instalación.....	55
Figura 19; Autores con la bicicleta terminada.....	56
Figura 20; Controlador motor Brushless.....	57
Figura 21; Resultado Esperado (Solidworks).....	58
Figura 22; Resultado final.....	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Comparación eficiencia energética	Medios de Transporte.....	31
Tabla 2.	Costos Operativos	Mensuales.....	31
Tabla 3.	Especificaciones	Motor.....	44 45
Tabla 4.	Máximas	Velocidades.....	45 46
Tabla 5.	Conexiones	Controlador.....	46
Tabla 6.	Especificaciones	Controlador.....	
Tabla 7.	Especificaciones	Batería.....	

RESUMEN EJECUTIVO

En el mundo se vive un auge en la investigación acerca de la movilidad y energías limpias capaces de suplir las necesidades actuales, disminuyendo el impacto ambiental que se genera en el mundo. Cada día es más importante la investigación y desarrollo de estas tecnologías debido a la necesidad de energías renovables y sustentables sin prescindir de las actuales tecnologías que traen como consecuencia caos en la movilidad y contaminación ambiental.

En temas de movilidad, y desde la comercialización de los automóviles, se trabajan con motores de combustión interna, los cuales hacen uso de elementos no renovables, además de generar una contaminación bastante amplia, en este sentido, la última década se ha visto sorprendida por la irrupción de los vehículos eléctricos, coches, motocicletas, y también bicicletas, las cuales buscan un equilibrio, entre movilidad, rapidez y recursos ambientales, presentando una solución en varios aspectos cotidianos.

En busca de realizar un aporte a las buenas prácticas se busca, diseñar e implementar una bicicleta eléctrica. Partiendo de una bicicleta convencional la cual se describe de forma conceptual en el proceso de investigación al seleccionar e instalar los elementos necesarios para convertirla en una bicicleta eléctrica, cálculos para selección del motor para alimentación con batería de iones de litio, display LCD para presentación de información, sistema de control electrónico del motor, y análisis estructural básico realizado mediante software Solidworks de dibujo asistido por computador.



R-DC-95

DOCENCIA

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y
PRÁCTICA

PÁGINA 15

DE 73

VERSIÓN: 01

PALABRAS CLAVE. Bicicleta eléctrica, Motor eléctrico, Vehículo eléctrico, Energías renovables.

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la movilidad es uno de los temas más importantes en la vida diaria de las personas, el cómo se transportan los seres humanos ha sido siempre un tema de constante cambio en el cual ha existido evolución, en la forma de hacerlo y los diferentes medios que hay, sean públicos o privados.

El uso de combustibles fósiles tomo partida en los momentos cercanos al nacimiento del automóvil, allí se consolidó en la forma por excelencia para transportarse, automóviles o motocicletas; en su gran mayoría usaban este tipo de energía, y aun hoy siguen haciéndolo, aun con la existencia de otro tipo de transportes como los de tracción animal, que quedaron obsoletos rápidamente, dejando a los combustibles fósiles dominando el transporte, aun por encima de los medios como tal (Automóviles, buses, motocicletas, bicicletas, etc.,).

El uso de este tipo de energías a traído consigo un impacto ambiental importante, como contramedida a esto han nacido, el uso de diferentes usos de energías alternativas, en el cual la energía eléctrica se ha visto favorecida, por las múltiples formas de conseguirla, sea solar, eólica, hídrica e incluso de forma tradicional, usando combustibles fósiles.

El uso de energía eléctrica en muchos medios de transporte ha venido en alza, y uno de los medios en los cuales ha tenido mayor impacto, ha sido la bicicleta, teniendo un impacto no solo ambiental si no investigativo, a nivel internacional, instituciones como el **Instituto Politécnico Nacional**, de la ciudad de México DF,

que trabajaron en un plan de negocios para la comercialización de bicicletas eléctricas ensambladas por si mismos (Acosta, Cholula, Ramirez, Reséndiz y Rocha, 2009) o la **Universidad Pontificia Bolivariana**, que en su sede de Medellín, realizaron un prototipo de bicicleta eléctrica con base en baterías emergentes (Hoyos, Montoya, Diez y Bohórquez, 2014), ampliando los campos de acción de la misma.

El uso práctico de estas tecnologías genera en el estudiante el desarrollo de nuevas alternativas de estudio, ampliando las bases académicas del mismo, y permitiendo nuevas incursiones en los campos de energías alternativas, generando un mayor conocimiento activo en el estudiante haciendo que el estudiante evalúe todas las condiciones que puede generar esta tecnologías en la vida laboral, factores importantes como diseño, instalación y factores de operacionales, así se podrá determinar una nueva perspectiva en él estudiante.

La implementación del presente trabajo dará a los estudiantes que se encuentran en su proceso de formación la posibilidad de experimentar y comprobar los conocimientos adquiridos en las aulas para su consolidación. No obstante con esto no se quiere decir que este sistema será el único y suficiente para que los estudiantes hayan comprendido el funcionamiento y diagnóstico del uso de las energías alternativas, pero el conocimiento aquí adquirido se convertirá en un gran aporte para resolver problemas en sus futuras inquietudes y dificultades que puedan presentarse en todas aquellas materias que hagan referencia o utilicen estos conceptos.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación es un problemática propia de las actividades del ser humano que cada día ha ido incrementado con el desarrollo y crecimiento industrial de este. En los últimos años no se la ha prestado la atención necesaria ya que han aumentado los incidentes de contaminación en las ciudades principales del país como se ha visto en Bogotá y Medellín. Gran parte de esta contaminación es producida por vehículos alimentados con combustibles fósiles generando gases contaminantes como el CO₂ (dióxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrógeno), SO₂ (dióxido de azufre), y COV (Compuestos orgánicos volátiles). Como consecuencia, se está observando un aumento en la temperatura global provocando un desequilibrio en el sistema climático global.

Esto ha desencadenado políticas restrictivas relacionadas a los combustibles fósiles en la mayoría de los países, viéndose los gobiernos obligados a reducir y limitar la generación de estos, viéndose afectado el uso de vehículos que trabajen con combustibles fósiles, e incentivando el uso de tecnologías que trabajen con energías limpias, siendo el uso de la bicicleta una de los pilares de estas campañas.

La bicicleta convencional, proporciona beneficios de economía y mejoramiento en la reducción de gases contaminantes, pero tiene la desventaja de producir menor rendimiento y genera sudoración excesiva de quien la conduce, y como consecuencia la necesidad de cambiarse después de su uso, lo que genere pérdida de tiempo para las

personas que tienen la necesidad de transportarse a su lugar de trabajo o estudio, en la que una alternativa eléctrica sería adecuada.

El uso de bicicletas con motor eléctrico, eliminaría la emisión de gases contaminantes, además de brindar mayor rapidez a la hora de transportarse que una bicicleta convencional, y teniendo los beneficios viales de las mismas, como la amplitud de espacios, al ocuparlo mucho menos que un vehículo convencional (tanto automóviles como motocicletas).

Inmersos en esta situación problema, y como producto de las necesidades estudiantiles, surge la presente propuesta de trabajo de grado que pretende a resolver la siguiente pregunta de investigación, *¿Cómo se transforma una bicicleta convencional en bicicleta accionada por motor eléctrico alimentado por una batería de iones de litio?* Buscando así, la minimización de emisiones de gases contaminantes, y la mejora en la movilidad.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En la búsqueda de minimizar el impacto ecológico, se busca realizar el montaje de una bicicleta eléctrica a partir de una bicicleta convencional, con el fin de presentar una alternativa amigable con el medio ambiente, mitigando las emisiones de gases contaminantes producidos por la combustión de hidrocarburos.

Además de mitigar el impacto ambiental, se busca mejorar la congestión vial presentada en las grandes ciudades, siendo este método muy eficiente a la hora de tratarse de un medio de transporte, ya que al ser eléctrico, tendría más potencia de la que se puede obtener de manera mecánica (bicicleta convencional), viéndose beneficiada de la cantidad de espacio ocupado, al tener menores dimensiones, si bien existen bicicletas con motor de combustión que también tienen esta característica su impacto ambiental es bastante alto, ya que usa generalmente motores 2T (Dos tiempos) siendo mucho menos eficientes que los motores 4T (cuatro tiempos) pero igual de perjudiciales al medio ambiente.

También estas bicicletas cuentan con el beneficio de que no necesita licencia de conducción y pagos de impuestos, promueve el ejercicio y la recreación, sirve para disfrutar de nuestro entorno a diferencia de una bicicleta fija o asistir a un gimnasio.

Por parte de la universidad UTS, (Unidades Tecnológicas de Santander) se alimentara, los trabajos investigativos en el área netamente eléctrica, debido a que la mayor cantidad de estudiantes de la carrera, prefieren enfocarse en el sector mecánico, esto abre la posibilidad a que más estudiantes intenten incursionar en el área eléctrica, viéndolo desde un enfoque electromecánico. Además de abrir un

área de incursión en las energías alternativas, siendo esta una de las áreas de mayor proyección investigativa a nivel global.

Todos los resultados de este proyecto, quedarán a disposición de exposiciones, estudiantes y profesores, para facilitar la transferencia de conocimiento en beneficio de las nuevas generaciones estudiantiles de las Unidades Tecnológicas de Santander.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. *Objetivo general.*

Convertir una bicicleta convencional en una bicicleta eléctrica al seleccionar las piezas más adecuadas para su óptimo funcionamiento alimentadas a partir de una batería de iones de litio.

1.3.2. *Objetivos específicos.*

- Analizar los factores necesarios para una correcta conversión de una bicicleta de convencional a eléctrica.
- Realizar un análisis estructural básico de la bicicleta en Solidworks.
- Instalar los componentes adecuados para convertir una bicicleta convencional en una bicicleta eléctrica, teniendo en cuenta requerimientos de potencia y voltaje, display LCD para presentación de información de funcionamiento, y sistema de control electrónico del motor.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

1.4.1. Investigación, diseño y prototipo de una bicicleta eléctrica y tecnologías emergentes en baterías.

En este artículo se describe de manera conceptual el proceso de investigación, diseño y ensamble del prototipo de una bicicleta eléctrica, las soluciones encontradas a los problemas asociados durante las diferentes etapas del prototipo y por último se presenta el análisis de los resultados obtenidos durante las pruebas al prototipo (Hoyos, Montoya, Díez y Bohórquez, 2014).

1.4.2. Plan de negocios para ensamble y comercialización de una bicicleta eléctrica autosustentable ecolocleta.

El punto central de este proyecto es el desarrollo del plan de negocios para una bicicleta eléctrica autosustentable "Ecolocleta". Para el estudio análisis e investigación de este proyecto, se utilizó un enfoque interdisciplinario en el que se tomaron elementos reales de la ingeniería. Se desarrollaron tres estudios, de mercado, técnico y financiero. Los resultados fueron procesados y analizados en forma cuantitativa y cualitativa, se agruparon los datos según su naturaleza, para finalmente conocerla factibilidad del proyecto. (Acosta, Cholula, Ramirez, Reséndiz, Hernández y Lucero, 2010)

1.4.3. Diseño de una bicicleta eléctrica con cuadro adaptable.

El proyecto se enfoca en el diseño de un cuadro innovador con la ayuda del propio programa. Siguiendo las directrices europeas, optaremos por un modelo de bicicleta eléctrica tipo pedelec, con el cual la asistencia en los trayectos se regulará en el momento de pedalear a través de un sensor. La finalidad es que un modelo de cuadro se adapte a varios usuarios, a los cuales, les correspondería cuadros de diferentes tallas. Esto se consigue gracias a la regulación de las piezas (perfiles tubulares) que componen la bicicleta (Poch y Blanco, 2013).

1.4.4. Estudio y desarrollo del circuito de control y Potencia del convertidor de una bicicleta Eléctrica.

El objetivo de este proyecto es diseñar un convertidor de corriente continua en continua, para poder implementarle en una bicicleta eléctrica de modo que regule la tensión entregada por la batería al motor, dependiendo del estado de este. El proyecto contempla dos fases, una primera parte teórica en el que estudian el caso, y una parte práctica que contempla la parte de potencia y de control de dicho convertidor. (Moliner, 2014).

1.4.5. Diseño e implementación de un sistema de tracción y regeneración eléctrica para una bicicleta.

El fin de este proyecto de diseño e implementación busca realizar en primera parte un diseño del sistema de tracción, y luego implementar un sistema de tracción y regeneración eléctrica en un prototipo de laboratorio, para su aplicación específica en una bicicleta. Partiendo desde la selección, caracterización, y obtención el modelo dinámico del motor, para esta aplicación. Además del análisis, diseño, simulación e implementación de los convertidores eléctricos requeridos. (Molina, 2015).

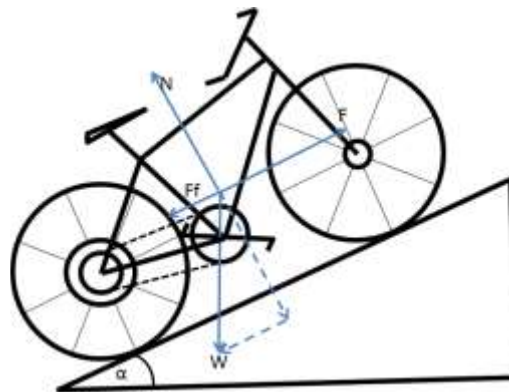
2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. Principios mecánicos.

Los sistemas de locomoción, con el cual se rigen los mecanismos de una bicicleta obedecen a los principios de la mecánica clásica, en el cual la segunda ley de Newton es fundamental, en cuestiones como la aceleración y el desplazamiento del vehículo. En la figura 1 encontramos el diagrama de cuerpo libre en el que podemos encontrar las fuerzas y momentos que se deben tener en cuenta.

Figura 1; Diagrama de cuerpo libre para bicicleta

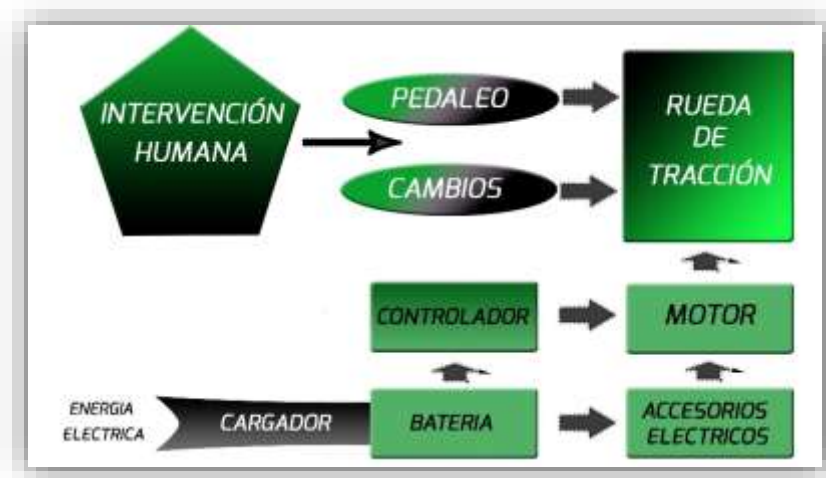


Fuente: Hoyos, Montoya, Díez y Bohórquez, 2014.

2.1.2. Control.

Los esquemas de control que mejor se adaptan al presente proyecto están enfocados al control de torque y velocidad del motor, Molina defiende que Por la estrategia de control deberá estar basada en mantener la componente del eje directo (i_d) en cero, y la componente del eje en cuadratura (i_q) será la corriente total requerida, para mantener un torque en los niveles óptimos (2015).

Figura 2; Diagrama del sistema

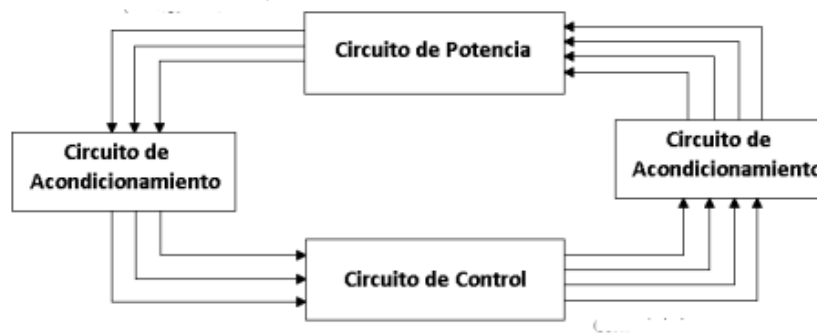


Fuente: Autor

El sistema funcionará en dos fases, el control de pedales y de las marchas que estará encargado de la parte humana, y la parte que es objeto de estudio en el presente trabajo, que consta de una batería con su respectivo cargador, que representa la entrada de energía y la carga que obtendrá la batería, esta energizará los accesorios del vehículo y el control del motor, para que este funcione adecuadamente, y este a su vez luego de transformar la energía eléctrica en mecánica, moverá la rueda de tracción bajo los mismos principios que el sistema tradicional, esto presente en la Figura 2.

Se destaca que el tipo de convertidor de continua en continua, se pasa a realizar el circuito de control y de potencia, como lo muestra la siguiente Figura 3, que marca el funcionamiento completo.

Figura 3; Esquema general del circuito de control y potencia.



Fuente: Molinero, 2014.

2.1.3. Motor.

En la distribución, todos los investigadores concuerdan en que el motor a utilizar debe ser un motor del tipo "Brushless", con rotor de imanes permanentes, núcleo en hierro al silicio y carcasa de aluminio. Hoyos defiende el empleo de este tipo de motores debido a sus aplicaciones de movilidad eléctrica, pues presentan una buena curva de torque y potencia con un peso reducido; pero su principal ventaja es que no presentan componentes en fricción, por lo cual son muy confiables y prácticamente no necesitan mantenimiento (2014). Como paréntesis se agrega que sólo para el caso de los vehículos eléctricos con motores de tamaños considerables sería necesario el cambio del refrigerante cada 5 años y el de aceite de motor cada 100.000 km, la alta duración del aceite se da debido a que en el motor eléctrico, el aceite no pierde viscosidad por el efecto

del cizallamiento ni tampoco se contamina con residuos de combustión, el factor limitante es el envejecimiento por cambios térmicos y la oxidación (Hoyos et al., 2014).

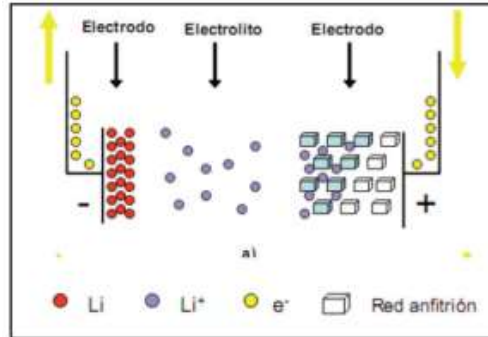
Debido a que el Motor eléctrico solo tiene una pieza móvil y a su diseño tipo "Brushless", éste no presenta puntos de rozamiento, ni piezas de desgaste; por lo tanto, la confiabilidad del sistema es muy alta y la vida útil de los elementos muy prolongada (Hoyos et al., 2014).

2.1.4. Batería de iones de litio.

Fonseca (2010), plantea que es posible generar energía a través de una reacción química; entre estas energías, la que nos interesa es la Energía Eléctrica. Los sistemas capaces de almacenar Energía Eléctrica en forma de energía química son denominadas Celdas Electroquímicas. La estructura fundamental de una Celda Electroquímica consiste en dos electrodos, metálicos en muchos casos, introducidos en una disolución conductora o electrolito: Electrodo Positivo, denominado Cátodo, y Electrodo Negativo, denominado Ánodo.

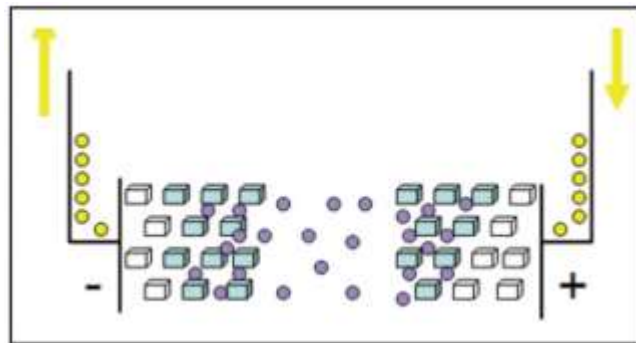
El Litio al ser el metal más liviano, con un potencial estándar de reducción de $-3.040V$; tiene el mayor potencial electroquímico produciendo una capacidad energética teórica de 3860 Ah/Kg . Por el valor tan negativo de su potencial de reducción, le proporciona una inestabilidad termodinámica en disolventes protónicos, como el agua, o, en ambientes con aire húmedo, que reacciona muy fácilmente, limitando el uso o construcción de baterías de litio en electrolitos no acuosos (Bijani, 2007)

Figura 4; Funcionamiento de baterías de Litio



Fuente: Bijani, 2007.

Figura 5; Funcionamiento Baterías de Ion-Litio



Fuente: Bijani, 2007

2.1.5. Biela.

Ambas bielas se deben diseñar de forma que puedan ser reguladas, para que así, permitan regular la altura del conjunto del pedal adaptando la posición según la configuración del ciclista. Por la parte interior de las bielas se deberá instalar un segundo elemento regulador, en el cual se fijarán los pedales. Para que ambas piezas queden fijadas, se colocará un pasador por los agujeros previamente mecanizados (Poch y Blanco, 2013).

2.1.6. Costos.

El uso de estas tecnologías tienen beneficios económicos por sobre sus competidores, económica y energéticamente representan un costo bastante menor.

Tabla 1. Comparación eficiencia energética Medios de Transporte				
Medio de Transporte	Energía a ser empleada (Wh)	Energía acumulada en	Autonomía (Km)	Utilización energética (Wh/Km)
Bicicleta Eléctrica	765	Baterías* 38V/20A	82	9,3
Motocicleta	34000	3,78 / Gasolina	150	226
Automóvil	34000	3,78 / Gasolina	45	755
Autor: Hoyos, Montoya, Díez y Bohórquez, 2014				
*El estudio realizado se utiliza de base, baterías con estas características, ya que son las más utilizadas.				

En la tabla 1 se observa que la bicicleta es mucho más eficiente, ya que alcanza una autonomía mayor que el automóvil, pero menor que la motocicleta, pero esto con una utilización energética, mucho menos, quizás en la comparación Bicicleta- Automóvil, es un poco injusta, teniendo en cuenta temas de peso y transporte (El automóvil es mucho más pesado y transporta mucha más gente, por esto su gasto energético es mucho mayor) pero si la comparamos con la motocicleta, que si bien tiene prácticamente el doble de autonomía, no brinda la eficiencia energética que brinda la motocicleta, y con un coste ambiental mucho menor.

Tabla 2. Costos Operativos Mensuales			
Ítem	Cantidad	Costo Unitario	Costo Carga
Recargas (KW/h)	10	481,87 COP*	4.819 COP
Mantenimiento	1/6 meses	60.000	10.000 COP
Impuestos	0	0	0
Fuente: Autor			
*Estadísticas de ESSA (Octubre 2017)			

La construcción de cualquier medio de transporte eléctrico involucra múltiples disciplinas que abarcan desde el diseño estético hasta la ingeniería mecánica y eléctrica e incluso estudios anatómicos y de ergonomía, siendo un ejercicio donde el trabajo multidisciplinario es fundamental (Hoyos et al., 2014).

2.1.7. Ventajas e inconvenientes.

Las bicicletas eléctricas, como cualquier otro medio de transporte, tiene sus ventajas e inconvenientes, en este apartado se van a reflejar las más importantes en cada caso:

- La principal ventaja reside en que es un medio de transporte silencioso, cómodo y económico, ya que su sistema eléctrico permite dejar de depender de los combustibles fósiles, mucho más caros y contaminantes.
- Facilidad de uso y conducción: Esto es debido a que no es necesario manejar ningún control adicional durante el trayecto, tienen una limitación de velocidad, no requieren matricula ni permisos especiales y pueden utilizarse por los carriles adaptados para las bicicletas.
- Autonomía: Con la ayuda del motor eléctrico se pueden recorrer grandes distancias con el mínimo esfuerzo y dado que existe la posibilidad de pedalear, nos aseguramos llegar al destino aunque se agote la batería.
- Bajo costo de operación y de mantenimiento, ya que a diferencia de las bicicletas convencionales, lo único que requiere un mínimo mantenimiento es el tren eléctrico.
- Versatilidad: Puede ser utilizada en cualquier terreno (carretera, ciudad, caminos...) además existe un rango de velocidades del motor auxiliar.

En cuanto a los inconvenientes que presentan las bicicletas eléctricas, cabe destacar:

- Precio: el principal inconveniente de este vehículo es el precio de las e-bikes, ya que suele ser el doble que el de una bicicleta convencional, ante este problema, cabe la posibilidad de comprar el kit eléctrico y montarlo sobre una bicicleta convencional, para poderse ahorrar una cierta cantidad de dinero.
- Requiere una mayor protección antirrobo que una bicicleta convencional.
- Mantenimiento: Las baterías de las e-bikes se han de cargar con regularidad aunque no se utilicen, y se debe de realizar la carga de acuerdo a las especificaciones propias de temperatura y humedad. Además la vida de las baterías es limitada y su sustitución presenta un gasto adicional.
- Peso: El peso de este tipo de bicicletas es superior al normal encontrándose en un rango comprendido entre 17 y 25Kg, de manera que son engorrosas de trasladar cuando no se está montado sobre ellas.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Componentes del sistema de tracción.

Autores como Molina, define los componentes y partes que conforman un sistema de tracción eléctrica, para bicicletas, se agrupan básicamente en cinco grandes grupos 1) suministro de energía, 2) controlador de batería, 3) convertidor de potencia, 4) sistema de control y 5) motor (2010).

- **Suministro de energía:** el suministro de energía se basa en un pack de baterías, de carga de ion de litio (Oman y Morchin, 2006).
- **Control de baterías:** se debe tener una unidad específica, que controle la carga y supervise la descarga de las baterías, dado que se debe garantizar su adecuado y seguro uso. En este aspecto, hay que tener varias precauciones, tales como el monitoreo y control de la corriente de carga y descarga, los umbrales de tensión de carga y descarga seguros, entre otros (Molina, 2010).
- **Motor:** es la parte central del sistema, y el componente donde se ha tenido una mayor y constante evolución. Actualmente, la principal tendencia, en este aspecto, es el uso de motores brushless DC, motivo especial, por el cual se ha intensificado la investigación en dicha área, especialmente en su principio de funcionamiento y sus técnicas de control (Molina, 2010).

- **Convertidor de potencia:** Debido al uso de motores brushless DC, el convertidor típico es un puente inversor / rectificador o convertidor DC/AC (bidireccional) (Mohán, 2001).
- **Sistema de control:** en la actualidad, al buscar métodos de control eficiente de tracción de motores, se llega al manejo de sistemas de control basados en control vectorial. Particularmente, para este tipo de aplicaciones, en motores eléctricos, se prefieren sistemas sin sensores externos al convertidor, para reducir el costo de implementación final del mismo. Adicionalmente a los cinco grandes grupos mencionados, en los últimos años, se ha ido desarrollando el sistema de freno eléctrico, el cual se basa en cambiar la configuración del control del driver de potencia, para pasar de manejar el motor como elemento de tracción, a un modo de generación (Chan, Yan y Fang, 2002).

2.2.2. Motor brushless DC.

El motor más utilizado en la actualidad es el motor brushless DC, razón por la cual es importante hacer una mención específica de este. El motor brushless DC es un motor de imanes permanentes en su rotor, y bobinado trifásico estrella en el estator, lo cual permite que no requiera el uso de escobillas, ya que el suministro eléctrico se hace al estator. Para generar el movimiento del rotor se debe inducir un campo magnético rotacional en el estator, por lo cual los bobinados del estator se construyen en una distribución geométrica. La corriente que se hace pasar por estos bobinados, debe inducir el campo magnético rotacional requerido (Molina, 2015).

2.2.3. Batería.

Las baterías hacen parte fundamental de un sistema de movilidad eléctrica independiente. Siendo el factor limitante la capacidad de energía acumulada por unidad de masa y de volumen, traduciéndose esto en una limitación a la autonomía propia del vehículo (Hoyos et al., 2014).

2.3. MARCO HISTORICO

La bicicleta como la conocemos hoy, tiene más de cien años, nacida en 1885, atribuida al barón Karl Drais, inventor alemán nacido en 1785, siendo uno de los inventos más importantes de la humanidad, que dispone hoy de más de mil millones de bicicletas (Herlihy, 2004).

En el siglo XIX comenzaron a aparecer las primeras baterías eléctricas, lo que significa la implementación de las bases técnicas, para una posterior construcción de la bicicleta eléctrica. Pero fue en los ochenta cuando se desato la revolución de la bicicleta eléctrica, gracias al enorme crecimiento de la economía china, diseñándolas y fabricándolas para sacarlas al mercado ya que generaba una opción de movilización rápida y solución ambiental (Herrera D).

Herrera también afirma que “Orden Bolton Junior en 1895 registra una patente en la cual diseñó una bicicleta con un motor eléctrico, el cual se encontraba insertado en la rueda trasera, consumiendo 100 A de una batería de 10 V, dos años más tarde Oseas W Libbey, patentó un diseño con un motor de eje doble situado en el eje central o del pedal de la bicicleta, cuyo diseño ha inspirado a fabricantes actualmente” (p. 1).

En 1898 Humbert creó una bicicleta eléctrica la cual se podía mover por dos personas (Especie de tándem), su diseño y fabricación incluían baterías en el centro de los dos ciclistas, la cual no obtuvo el éxito que se deseaba (Herrera D). En Alemania la empresa Heinzmann en el año 1920 creó el primer motor eléctrico para bicicleta. En 1930, Minneapolis Lejay Manufacturing, patentó un modelo, con generador de un Ford T acoplado a la rueda trasera. Más tarde, Moulton Consultants Ltd., fabricó una transmisión

con cadena, una acoplada al sistema de los peales y otra del motor eléctrico que alojaba (Herrera D).

En este lapso, es la industria de los automóviles, la que incursiona en el negocio de las bicicletas eléctricas, desarrollando diferentes tipos de motores, partes y funciones en sus diferentes modelos, todos buscando ingresar a un mercado que no terminaba de dominar, Yamaha, Kutter, Lucas Industries, entre otras empresas dedicadas al sector automotriz desarrollar y perfeccionaron esta tecnología (Urban Fun Electric Movement, 2014). Esta es una tendencia que se ha mantenido hasta la actualidad.

Hasta la primera crisis del petróleo, se empieza a promover la utilización de las bicicletas. En los 90 con el avance tecnológico se diseñan bicicletas con sensores de par, control de potencia y baterías más duraderas. En 1992 Servicios Vector Limited vende la Zike, un prototipo de bicicleta fabricada con baterías de níquel-cadmio, cuya producción creció desde 1993 hasta 2004 en un estimado de 35%. En el siglo XXI Panasonic emplea la batería de ion Litio para revolucionar el mercado, dando resultados positivos para soportar más carga, de esta manera la bicicleta eléctrica cada vez son más usadas y con diseños de tecnológicos a mayor escala (Herrera D).

Las Bicicletas eléctricas más usadas son las que contienen baterías recargables mediante un enchufe, pero hoy en día podemos encontrar en el mercado bicicletas eléctricas híbridas con excelente desempeño las cuales producen la energía que solicita el motor, es decir, se recargan la batería por sí misma, unas de las opciones para recargar puede ser aprovechando el movimiento circulas del pedaleo o con la energía que se puede recuperar con el frenado (Herrera D).

En el comienzo del siglo XXI se desata el auge de estos vehículos con la incursión de empresas dedicadas a la tecnología, Panasonic construye la bicicleta eléctrica más

ligera del mercado, Honda prueba su Step Compo, la primera plegable eléctrica, y de nuevo Panasonic emplea las baterías de ion Litio para revolucionar el mercado (Urban Fun Electric Movement, 2014).

Como afirma Urban Fun Electric Movement (2014), “Las bicicletas eléctricas aún están escribiendo su propia historia ya que cada año se incorpora nueva tecnología que logra que cada vez más gente apueste por este vehículo alternativo”.

2.4. MARCO LEGAL

LEY 1811 DEL 2016: La presente ley tiene por objeto incentivar el uso de la bicicleta como medio principal de transporte en todo el territorio nacional; incrementar el número de viajes en bicicleta, avanzar en la mitigación del impacto ambiental que produce el tránsito automotor y mejorar la movilidad urbana (Presidencia de la Republica de Colombia, 2016).

ARTÍCULO 94° CÓDIGO DE TRÁNSITO DE COLOMBIA: El cual adopta las normas generales para bicicletas, triciclos, motocicletas, motociclos y moto triciclos. Estableciendo las regulaciones necesarias para la circulación, restricciones y regulaciones de estos vehículos (Ministerio de Transporte de Colombia, 2002)

RESOLUCION 0601 DE 2006: Debido a la importancia que tiene calidad del aire que respiramos, el gobierno colombiano adoptó la Resolución 601 de 2006 y en su capítulo II se establecen los niveles de contaminantes permisibles en el aire la mayoría de ellos producidos por el uso de combustibles fósiles en motores de combustión (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

RESOLUCION 160 DE 2017: Esta nueva norma se refiere directamente a los vehículos automotores tipo ciclomotor, tricimoto y cuadriciclo de combustión interna o eléctrica, entre estos las motos eléctricas. También se les exige a los conductores de dichos vehículos portar SOAT, tener licencia de conducción, y a su vez los vehículos deberán tener certificado de revisión técnico-mecánica y ser registrados en el Registro Nacional Automotor (RNA) del Registro Único Nacional de Tránsito (Runt). Esta regulación específica las características de potencia que debe tener dichos vehículos, ya que no

todas deben cumplir dichas especificaciones, en el caso de la bicicleta aquí diseñada no aplica para esta nueva resolución ya que esta se cataloga como bicicleta eléctrica con pedaleo asistido (El motor no supera los 350W). (Ministerio de Transporte de Colombia, 2017).

LEY 253 DE ENERO 9 DE 1996: Aceites y grasas se consideran residuos peligrosos de acuerdo al Anexo I del Convenio de Basilea, ratificado por Colombia mediante la Ley 253 de enero 9 de 1996 (Congreso de la Republica de Colombia, 1996).

2.5. MARCO AMBIENTAL

La mitad del petróleo que se consume actualmente se utiliza como combustible para el transporte, y aproximadamente el 30% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero proviene de esta actividad (Benavides y León, 2007). A nivel nacional las cifras tampoco son alentadoras, Según informe de la Contraloría General de Medellín, citado por Álvarez y Santander (1997), la región del valle del Aburrá viene registrando un crecimiento anual del parque automotor cercano al 9,5%, en comparación con el 5% promedio mundial

Todo ello, sumado a la volatilidad de los precios del petróleo y la posibilidad de crear empleos “verdes”, está espoleando el interés por los combustibles renovables para su uso en el transporte. Con estos datos se proponen alternativas energéticas que tengan potencial para sustituir en los próximos cinco años una considerable proporción de los combustibles fósiles actuales.

Para seleccionar estas energías, Stark (2011) ha establecido cuatro criterios. En primer lugar, deben ser energías que puedan satisfacer la demanda mundial de combustible; también deben poder producir menos emisiones de contaminantes a la atmósfera, a la vez que deben mantener unos precios competitivos. Finalmente, también es necesario que puedan llegar a ser comercializadas a corto plazo.

Las energías alternativas se han clasificado según sean evolutivas, revolucionarias o transformadoras. Las evolutivas son aquellas que derivan de activos y recursos ya existentes, mientras que las revolucionarias permitirían que se siguiera utilizando la infraestructura de distribución existente (la del petróleo). Por su parte, las

transformadoras (motores) son las que cambiarían completamente el paradigma de los combustibles líquidos (Stark, 2011).

La primera opción es la creación de un motor de combustión interna avanzado debido a que su rendimiento aún tiene potencial de mejora. La inversión en tecnologías avanzadas que mejoren la eficiencia, puede tener una gran repercusión sobre las emisiones de gases contaminantes. También se destaca la agricultura de nueva generación, que promete mejorar el rendimiento de los cultivos que necesitan los fabricantes de biocombustibles para poder competir con los hidrocarburos.

La biología sintética ha abierto una vía factible para el gasóleo hecho a partir de caña de azúcar. El proceso implica microorganismos que pueden convertir la caña de azúcar en combustible diésel ultra limpio. Medios de transporte eléctricos que utilicen energías renovables y no emitan contaminantes a la atmosfera.

Los resultados obtenidos en la simulación realizada por Toro (2001), mostraron que el monóxido de carbono fue el contaminante con mayor tasa de emisión, representando más del doble de las cantidades calculadas para el resto de los poluentes estudiados

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

3.1. ANALISIS DE LOS ELEMENTOS

En el desarrollo del trabajo de grado lo primero que se realizó fue un análisis de los elementos necesarios para la conversión, teniendo en cuenta esto, se determinó que el elemento principal será el motor brushless DC, y su controlador, que se convierte en el elemento central al momento de realizar los comandos en el motor.

MOTOR

El motor utilizado es un motor de 350W de potencia, y 36V de alimentación, no es posible utilizar un motor de mayor potencia ya que, incumpliría la resolución 160 de 2017, para ciclomotores y entraría a ser regulada, debe estar en el mismo rango de voltaje nominal que la batería de Litio.

Tabla 3. Especificaciones Motor			
Max. Vel. (Prueba de motor)* (f)	370 rpm	Max. Vel.**	43 Km/h
Peso	3,5 Kg	Rango de Potencia*	180W – 350W
Radio Motor	70 mm	Rango de Voltaje*	24V – 48V
Torque Máximo	0,15 Nm	Rango Torque	0,15Nm-0,3Nm
Fuente: Autor			
* Pruebas realizadas en laboratorio (Anexos de motor)			
** Pruebas realizadas por los autores			

$$\tau = \frac{P}{w} \leftrightarrow w = 2\pi f \text{ donde } \rightarrow \tau = \frac{P}{2\pi f} = \frac{350W}{2\pi(370rpm)} = 0,15 Nm$$

Donde:

T= Torque o Par Motor, P=Potencia, w=Vel. Angular, f= Frecuencia,

Los valores de Velocidad máxima (Prueba de motor), rango de voltaje y rango de potencia, hacen referencia a los límites que soporto el motor a la hora de realizar las pruebas.

Tabla 4. Máximas Velocidades*	
Sin carga y sin Fricción (Solo carga eléctrica)	43,1 Km/h
Con carga y fricción (Solo carga eléctrica)	36,8 Km/h
Con carga y fricción (Solo asistente de pedaleo al máximo)	34,9 Km/h
Con carga y fricción (Con asistente de pedaleo al máximo)	35,9 Km/h
Fuente: Autor	
* Pruebas realizadas por los autores (Valores aproximados)	

La velocidad máxima a alcanzar no va a depender de usar las asistencias que brinda la bicicleta, ya que todos los valores van a estar alrededor del mismo valor, dependiendo del peso, y del estado de la vía en la que se transita.

CONTROLADOR DEL MOTOR

El controlador del motor es la memoria de la bicicleta, quien distribuye voltajes y corrientes y se encarga de mostrar estos datos en la pantalla LCD (Estos elementos vienen previamente programados).

Tabla 5. Conexiones Controlador			
Línea No.	Conector	Línea No.	Conector
1	Motor A	1	Batería +
2	Motor B	2	Batería -
3	Motor C	1	LCD V+

Tabla 5. (Continuación)			
4	Señal de Torque A	2	Power OUT
5	Señal de Torque B	3	LCD V-
1	Acelerador	1	Sensor de pedaleo
2	Freno	1	Sensor Vel. (Señal)
3	Freno	2	Sensor Vel. +
		3	Sensor Vel. -
Fuente: Autor			

Tabla 6. Especificaciones Controlador			
Voltaje de Operación	30V – 45 V	Voltaje máximo	60V
Potencia de operación	180W – 350W	Potencia máxima	960W
Corriente de operación	6A – 20A	Corriente máxima	20A
Fuente: Autor			

El controlador de motor no dispone de rangos de operación como tal, al ser un elemento central, puede ser configurado según las características de los elementos generadores y consumidores, como lo son el motor, y la potencia nominal de este, y la batería y los valores de corriente y voltaje de la misma

BATERÍA

La batería tiene una carga nominal de 13Ah, lo que le brinda una autonomía de alrededor de 3 horas a carga completa (Según pruebas realizadas por los autores), teniendo esto se puede decir que el consumo del sistema de la bicicleta es de alrededor de 4,4 A.

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Capacidad de Carga}}{\text{Tiempo de descarga}}$$

Tabla 7. Especificaciones Batería			
Voltaje Nominal	36 V	Max. Voltaje de Carga	40 V
Capacidad Nominal	13 AH	Max. Corriente de descarga	4,4 A
Corriente de carga estándar	3 A	Max. Tiempo de descarga	3 H
Fuente: Autor			

3.2. DISEÑO EN SOLIDWORKS

Se le dedico un espacio al trabajo en el software de diseño Solidworks, uno de los autores realizo un diseño aéreo espacial de cómo quedaría la bicicleta. Como lo se puede apreciar en las figuras 6, 7 y 9, las diferentes vistas del diseño esperado, y que sería tomado como guía al momento de la conversión.

Figura 6; Vista lateral diseño Solidworks



Fuente: Autor

Figura 7; Vista lateral diseño Solidworks



Fuente: Autor

Figura 8; Vista inclinada Solidworks



Fuente: Autor

3.3. CONVERSIÓN

En primera instancia se realizó un mantenimiento mecánico a la bicicleta, realizado por un especialista, con la ayuda de este, se realizó la instalación del acelerador y los frenos e insertar su cableado eléctrico (Figura 9), luego se procedió a realizar la instalación de la base de la batería y de la base del controlador de motor.

Figura 9; Conexión de freno y acelerador



Fuente: Autor

Figura 100; Guías de la base de la batería y la batería



Fuente: Autor

Vemos la base de la batería al ser remachada al marco diagonal de la bicicleta, generando una mayor estabilidad, como podemos observar en la Figura 10, al determinar las guías de conexión.

Se realiza la instalación del cableado eléctrico, de forma interna por medio del marco diagonal de la bicicleta a la cual se le realizaron dos inserciones para realizar esto, como se muestra en la Figura 11, y luego se realizó la instalación del controlador de motor, y se selló con la tapa de la base.

Figura 11; Orificio inferior marco bicicleta



Fuente: Autor

El sistema del controlador tiene una variedad de conectores correspondientes a los elementos eléctricos del kit de conversión, en la Figura 12 podemos observar el cableado eléctrico correspondiente a estas conexiones, las cuales se identificaron de acuerdo a las instrucciones del fabricante y de la bibliografía consultada.

Figura 12; Cableado de controlador de motor



Fuente: Autor

Figura 13; Instalación cableado controlador de motor



Fuente: Autor

Figura 114; Realizando sellado de la base de controlador de motor



Fuente: Autor

Se realizó también la instalación del motor, el cual sustituyó al piñón de la rueda delantera, Figura 15, este se debió radiar a la rueda, se decidió hacer en la rueda delantera por motivos de cableado del motor, este tendría un trayecto más largo, y sería más probable que este se deteriorara más rápidamente al estar más expuesto.

Figura 15; Motor brushless DC, adaptado a la rueda delantera



Fuente: Autor

Posteriormente se conectó el sensor de pedaleo, el cual asiste, por medio de fuerza adicional en el motor, este se conectó paralelo al plato de la bicicleta, como se muestra en la Figura 16, para así, censar el número de vueltas, así realizar la asistencia de pedaleo.

Figura 12; Sensor en paralelo al plato de disco



Fuente: Autor

Luego se conectó el panel LCD, (Figura 17) que mostrara los datos relacionados al funcionamiento de la bicicleta, tales como el nivel de la batería, velocidad, distancias recorridas, etc. Como se muestra en la Figura 18.

Figura 17; Instalación panel LCD



Fuente: Autor

Figura 18; Pantalla LCD, pre (izquierda) y post (derecha) instalación



Fuente: Autor

4. RESULTADOS

El resultado final, se determina en el funcionamiento de la bicicleta, en la figura 19 vemos a los autores luego de la finalización de la conversión.

Figura 19; Autores con la bicicleta terminada



Fuente: Autor

Se finalizó la conversión de la bicicleta convencional en una bicicleta de asistencia eléctrica con éxito, realizando la adaptación de una batería de 36V/13Ah de marca SHANSHAN proporcionando una autonomía de 30-35km/h utilizando solo el motor de alimentación de 36V y de potencia de 350w y alcanzando una autonomía de hasta 45km/h con el sensor PAS (Sistema de Pedaleo Asistido).

Todo controlado por medio del controlador de motor, indicado en la figura 20, el cual modula todos los elementos del kit de conversión, desde la pantalla LCD, que

muestra la velocidad, el nivel de asistencia (De 1 a 5), la carga de la batería y el tiempo de uso y kilometraje (total y parcial), también controla el sistema PAS, y el motor con el sistema de aceleración de tipo de pulgar graduable.

Figura 130; Controlador motor Brushless



Fuente: Autor

El sistema mecánico de la bicicleta función en perfecto estado, todos los aspectos mecánicos fueron revisados por un especialista, fue calibrada tanto en frenos como en transmisión y se encuentra en perfecto estado, todos los elementos del sistema eléctrico fueron rectificadas en múltiples ocasiones, se terminó un producto en excelente calidad, funcionando óptimamente y en un estado estético impecable.

Figura 141; Resultado Esperado (Solidworks)



Fuente: Autor

Figura 152; Resultado final



Fuente: Autor

En las figuras 21 y 22, encontramos los resultados a esperar según el diseño realizado en el software Solidworks y la fotografía de nuestro elemento final.

5. CONCLUSIONES

La primera parte del proyecto se basó en análisis de los factores necesarios para una correcta conversión de una bicicleta convencional en una bicicleta de asistencia eléctrica, se determinaron los elementos básicos necesarios para la Conversión, motor brushless DC, controlador de motor, panel LCD, Batería de Ion de Litio Y kit de Conversión (Frenos, cableado y sensor PAS), todo esto relacionado en el capítulo **2. MARCO REFERENCIAL** y en la primera parte del capítulo 3, **3.1. ANALISIS DE LOS ELEMENTOS.**

Se realizó un análisis estructural de lo que esperábamos obtener, bajo el programa de diseño Solidworks, diseño visto anteriormente en las figuras 6, 7, y 8, del capítulo **3.2. DISEÑO EN SOLIDWORKS.**

Para finalizar se hizo la adaptación de los elementos eléctricos sobre la bicicleta convencional los cuales no presentaron mayores inconvenientes se realizó la instalación de los elementos básicos de la conversión, además de los elementos mecánicos básicos de una bicicleta (frenos y transmisión).

En la realización de este proyecto se encontró un sistema bastante manejable técnicamente, sin que existiera la necesita de manejar conocimientos demasiado avanzados para realizar un trabajo de calidad, pero si con los conocimientos teóricos vistos a lo largo de la carrera universitaria.

Al momento de realizar el cableado proveniente se encontró que debido a los largos trayectos del cableado desde el controlador del motor hasta los diferentes

elementos eléctricos, estos tendrían a enredarse con los elementos mecánicos de la bicicleta, para lo cual se decidió tomar como referencia el marco superior, que tiene un orificio para el cableado de las guayas de los frenos y de la transmisión, de la misma manera se realizó un orificio en el marco diagonal de la bicicleta, por el cual se transportó el cableado que salía del controlador del motor, y para darle una nota más estética se envolvió en encauchetado el cableado eléctrico.

Se presentó también que el controlador de motor traía siete conexiones correspondiente a los elementos eléctricos del circuito, los cuales se volvieron bastante difíciles de interpretar, para solucionar dicha situación, se acudía a revisar la bibliografía utilizado en la cual en el trabajo Diseño de una bicicleta eléctrica con cuadro adaptable, de Poch y Blanco (2013) nos otorgó una visión más amplia de la situación, la cual complementamos con información encontrado en un blog técnico de nombre CicloTEK, especializado en bicicletas eléctricas.

En la actualidad se vive un momento en el cual las tecnologías eléctricas se están alzando en la vida de las personas, el panorama brinda un desarrollo en este tipo de tecnologías bastante alto, de ahí la importancia de la participación en eventos de adquisición de conocimientos, lo que prepara aún mejor al investigador, de frente a un futuro cercano.

La eficacia de este tipo de transportes, y una implementación bastante amplia, genera grandes aportes al desarrollo económico mundial sostenibles, además de una mejora significativa en el desarrollo académico e investigativo.

6. RECOMENDACIONES

En el desarrollo de este proyecto se tocan temas importantes en el área de las energías alternativas, y métodos de movilidad alternativos, pero no toca todos, es importante destacar otro tipo de energías alternativas, que serían prudentes desarrollar e investigar, como la energía solar o eólica.

Más específicamente en el desarrollo del proyecto se espera utilizar una batería de litio de carga convencional, por motivos económicos y de tiempo, siendo un poco mejor en temas eficiencia ambiental, utilizar una batería de carga dual, tanto convencional como de manera mecánica (por medio de los pedales).

Se toma como referencia el uso de energía eléctrica en sustitución de los combustibles fósiles, más la realización de una autosustentable, que no requiera de la carga de la batería por medio de cargar eléctrica tradicional.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta García, R., Cholula Lozano, B., Ramirez Belmont, O. A., Reséndiz Álvarez, D., Hernández, R., & Lucero, G. (2010). Plan De Negocios Para Ensamble Y Comercialización De Una Bicicleta Eléctrica Autosustentable Ecolocleta (Doctoral Dissertation).

Álvarez, J., Santander, M. Evaluación de las Emisiones Provenientes de Fuentes Móviles en la Ciudad de Medellín. Tesis de Pregrado, U.P.B, 1997

Benavides, B. H, O., León a. G, E., (2007) Información Técnica Sobre Gases De Efecto Invernadero Y El Cambio Climático. IDEAM

Bijani S., Láminas de Cu₂O. Aplicación como electrodo, Tesis Doctoral, Universidad de Málaga, 2007.

Congreso de la Republica de Colombia. (1996) Ley 253 de Enero 9 de 1996.
Recuperado de
[http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1996/ley_0253_1996.pdf]

Fonseca, J. H. (2010) Celdas, Pilas Y Baterías De Ion-litio Una Alternativa Para....??? Journal Boliviano De Ciencias, Volumen 8, Número 22, pp. 40-47. Issn 2075-8936.

H. Oman and W. C. Morchin, (2006) *Electric Bicycles: A Guide to Design and Use*, IEEE Press.

Herlihy, David V. (2004). *Bicycle: The History*. Yale University Press, pp. 200-250. ISBN 0-300-10418-9.

Herrera, D. E. *Bicicleta Eléctrica Desde Sus Inicios Hasta La Actualidad*.

Hoyos, J. F. H., Montoya, A. F. M., Díez, A. E., & Bohórquez, J. A. (2014). Investigación, diseño y prototipo de una bicicleta eléctrica y tecnologías emergentes en baterías. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 8(1), 60-70.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006) Resolución 0601 de 2006. Recuperado de [<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=19983>]

Ministerio de Transporte de Colombia. (2002) Ley 769 de 2002, Código Nacional de Transito. Recuperado de [<https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=13114>]

Ministerio de Transporte de Colombia. (2017) Resolución 160 de 2017. Recuperado de [<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=68085>]

Molina G., O, D. (2015) *Diseño E Implementación De Un Sistema De Tracción Y Regeneración Eléctrica Para Una Bicicleta*. (Proyecto de trabajo de grado para optar al título de: Magister en Ingeniería Electrónica). Pontificia Universidad Javeriana, Bogota, Colombia.

Moliner Ruiz, Ó. (2014). Estudio y desarrollo del circuito de control y potencia del convertidor de una bicicleta eléctrica. (Grado En Ingeniería Electrónica Industrial Y Automática) Escuela Politécnica Superior Universidad De Burgos, España.

N. Mohan, (2001) Advanced Electric Drives Analysis, Control and Modeling using Simulink, Minneapolis: MNPERE.

Poch Vives, D., & Blanco Nicolás, J. (2013). Diseño de una bicicleta eléctrica con cuadro adaptable.

Presidencia de la Republica de Colombia. (2016) Ley 1811 del 2016. Recuperado de
de
[<http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201811%20DEL%2021%20DE%20OCTUBRE%20DE%202016.pdf>]

Stark, M. (2011) Doce alternativas energéticas a los combustibles tradicionales para el transporte. Compromiso RSE. Recuperado de
[<http://www.compromisorse.com/rse/2011/01/28/doce-alternativas-energeticas-a-los-combustibles-tradicionales-para-el-transporte/>]

T. F. Chan, L.-T. Yan and S.-Y. Fang, (2002) "In-wheel permanent-magnet brushless DC motor drive for an electric bicycle," Energy Conversion, IEEE Transactions on, vol. 77 17, no. 2, pp. 229 – 233.

Toro, M. V., Ramírez, J. J., Quiceno, R. A., & Zuluaga, C. A. (2001). Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión Corinair. *Revista Acodal*, (191), 42-49.

Urban Fun Electric Movement. (2014) La bicicleta eléctrica. Historia de un vehículo en alza. Barcelona, España. Recuperado de [<http://www.urbanfun.es/blog/112-la-bicicleta-electrica-historia-de-un-vehiculo-en-alza>]

8. ANEXOS

Nominal Voltage	Rated Capacity	Battery Material	Battery Cell	Dimension	Rated Discharge Current	Max Discharge Current	Cycle Life
3.6V	13Ah	Li-Polymer	2200mAh 18650	45*16*5.5(cm)	20A	25A	800 (70%)

Datasheet Batería de Litio SHANSHAN (Datos enviados por distribuidor)

Operation Manual & Safety

Wuxi Sansui Electronics Co., Ltd.

Operation Manual of Lithium-ion Battery Charger

Model: **SSLC084V42**

I. Features

This product is a smart charger. With adoption of switching mode power Supply technology, the charger is special for lithium-ion, with outstanding Performance. It has the following advantages:

1. Wide range of voltage input: 100~240 Vic;
2. Low noise of output ripple;
3. Automatic recovery from short circuit and over-current protection;
4. Anti-backflow;
5. Complete sealed structure, with characteristics of damp-proof, Dust-proof and high safety level.

II. Scope of application

This charger is applicable to 36V/8-15Ah lithium-ion battery set. The charging voltage is $43.8 \pm 0.4V$.

III. Method of application:

1. Plug in the battery box first and then plug in the AC power supply;
2. When the battery is charged normally, the power supply charging indicator is red. After the battery has been fully charged, the indicator Turns green;
3. After the battery has been fully charged (the indicator is green), please Unplug AC power supply first and then unplug the battery box to stop charging.

IV. Trouble-shooting

1. The power supply indicator is not on:
 - a. Check whether there is AC input
 - b. Check whether there is a poor contact at the input wire interfaceFor any other case, please send the product to the factory for repair. Don't repair it by yourself.
2. The charging indicator is not on:
 - a. Check whether the output connector is well connected
 - b. Check whether the battery is damagedFor any other case, please send the product to the factory for repair. Don't repair it by yourself.
3. The charging indicator keeps red all the time:
 - a. Check whether the battery is damaged. For any other case, please send the product to the factory for repair. Don't repair it by yourself.

Manual de Usuario Cargador Sans (1/2)

WARNING !

1. The charger can only be used in the room.
2. Don't charge the battery which cannot be charged any more.
3. Don't depose, repair or remake the product by yourself.
4. Don't use the product in combustibile gas, or explosion or fire accident may be caused.
5. Don't put the charger near water or make it wet, or fire accident or electric shock may be caused.
6. When there is smoke or burnt smell from the charger, please unplug the power supply wire immediately.
7. When the charger is broken and parts inside are naked due to collision or other reasons, don't touch them by hand or you may get electric shock.

Manual de Usuario Cargador Sans (2/2)



EUROPE TESTING CERTIFICATION CO., LIMITED

Report No.: ETR1201021101

3. PRODUCT DESCRIPTION

3.1. EUT Description

Description : E-BIKE MOTOR
 Applicant : CNEBIKES CO., LTD
 No.38, Gouman Industrial Park, Changzhou, Jiangsu 213164, China
 Manufacturer : CNEBIKES CO., LTD
 No.38, Gouman Industrial Park, Changzhou, Jiangsu 213164, China
 Model Number : HH24-180, HH24-200, HH24-250, HH38-180, HH38-200, HH38-250

3.2. Block Diagram of EUT Configuration



3.3. Operating Condition of EUT

Test mode 1: TX

3.4. Test Conditions

Temperature: 23-26°C
 Relative Humidity: 45-65%

3.5. Modifications

No modification was made.

3.6. Abbreviations

AC	Alternating Current
AMN	Artificial Mains Network
DC	Direct Current
EM	ElectroMagnetic
EMC	ElectroMagnetic Compatibility
EUT	Equipment Under Test
IF	Intermediate Frequency
RF	Radio Frequency
rms	root mean square
EMI	Electromagnetic Interference
EMS	Electromagnetic Susceptibility


SUITE 404, 304 REGENT STREET LONDON UNITED KINGDOM W1B 3HH
 Tel: +44 2001 295 749 website://www.etc.co.uk e-mail: etc@etc.co.uk

Datasheet Motor E-Bike (1/3 Descripción del producto)


ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
Soporte al Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Asesor de Planeación
FECHA DE APROBACIÓN:

 EUROPE TESTING CERTIFICATION CO., LIMITED		Report No.: ETRE1207021105	
RF Field Strength Susceptibility Test Results EUROPE TESTING CERTIFICATION CO., LIMITED			
Applicant	CNEBIKES CO., LTD	Test Date	Jul. 01, 2012
EUT	E-BIKE MOTOR	Temperature	22 ℃
MM	HH36-250	Humidity	50 ±5
Power Supply	AC 230V / 50Hz	Test Mode	Full load
Test Engineer	Deng Yong	Frequency Range	80 MHz to 1000 MHz
Modulation:	<input type="checkbox"/> AM <input type="checkbox"/> Pulse <input type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> 1 kHz <input type="checkbox"/> 80%		
Criterion:	A		
	Frequency Rang :	80-1000	
Steps	1%	1%	
	Horizontal	Vertical	
Front	Pass	Pass	
Right	Pass	Pass	
Rear	Pass	Pass	
Left	Pass	Pass	

Datasheet Motor E-Bike (2/3 Resultados Test resistencia)

 EUROPE TESTING CERTIFICATION CO., LIMITED		Report No.: ETRE1207021105	
Electrostatic Discharge Test Results EUROPE TESTING CERTIFICATION CO., LIMITED			
Applicant	CNEBIKES CO., LTD	Test Date	Jul. 01, 2012
EUT	E-BIKE MOTOR	Temperature	22 ℃
M/N	HN35-250	Humidity	50 %
Power Supply	AC 230V / 50Hz	Test Mode	Full load
Test Engineer	Deng 'long		
Air Discharge: 8KV For each point positive 10 times and negative 10 times discharge.			
Contact Discharge: 4KV			
Location		Kind A-Air Discharge C-Contact Discharge	Result
Slits		A	PASS
Metal Part		C	PASS
HCP		C	PASS
VCP		C	PASS
Discharge should be considered on Contact and Air and Horizontal Coupling Plane (HCP) and Vertical Coupling Plane (VCP).			

Datasheet Motor E-Bike (3/3 Resultados Test Carga electroestática)

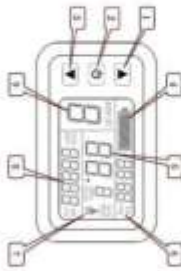
Rated Voltage	24V/36V/48	Operating voltage	20_30V/30_45V/40_60V
Rated Current	5A / 10A	Max Current	10A / 20A
Rated Power	120W /480W	Max Power	240W/ 960W

Datasheet Controlador de motor KT36ZWS SuZhou

MANUAL DE USUARIO PANEL LCD

Extiéndalo suavemente, por favor, los decimales de este manual antes de cerrar la bicicleta.

Display y sus Funciones



1	Botón Arriba	6	TTM	Tiempo de viaje por ruta
2	Botón Encendido	7	SkimN	SkimN constante
3	Botón ABAJO	8	Km	Distancia en kilómetros
4	Indicador de carga	9	Mi	Distancia en millas
5	Velocidad máxima por hora		DST	Distancia por recorrido
	Maxi velocidad		ODO	Distancia total
	Velocidad promedio		ASSIST	Nivel de asistencia

Operación

1. ON/OFF: Mantenga presionado **[2]** durante 3 segundos, para encender, y presione **[3]** nuevamente una segunda vez para apagar. Cuando el motor se detiene y no se utiliza durante más de 5 minutos, el display se apaga automáticamente y deactivará la alimentación del motor.
2. Encendido



Presione el botón **[2]** para iniciar la interfaz de inicio del display.

2.1 Encendido de luz de fondo

Mantenga presionado **[2]** para encender la luz de fondo del display; presione la tecla muestra para apagarla.



Presione **[2]** o **[3]** rápidamente para alternar entre los 5 niveles de potencia. Nivel 3 es la potencia máxima. Nivel 5 es la máxima potencia. Cada vez que se encienda, se restaurará al último modo seleccionado.

2.2 Cambiar Nivel de Asistencia

2.3 Función Crecero Ekm/h



Presione el botón **[2]** de forma prolongada hasta que el icono **[4]** aparezca de manera intermitente en la pantalla, la bicicleta se mantendrá a una velocidad no mayor a SkimN, ejé de presionar el botón **[2]** para invalidar la función.

2.4 Visualizar y reiniciar datos



Después de mantener presionado el botón de encendido durante 5 segundos, presione **[2]** y **[3]** al mismo tiempo, los iconos de tiempo de viaje por Ruta (TTM) y Distancia por Recorrido (DST) estarán de forma intermitente, presione el botón **[2]** brevemente, de esta manera se eliminará el contenido de ambas variables. Si no presiona el botón **[2]** durante los siguientes 5 segundos, se restaurará automáticamente a la pantalla y al contenido original de consola.

2.5 Visualizar el tiempo de viaje y distancia total



Presione el botón **[2]** brevemente para visualizar el Tiempo de Viaje Total (TTM) y la Distancia Total (ODO). Presione **[3]** brevemente de para regresar a la interfaz de inicio.

2.6 Visualizar velocidad máxima y velocidad promedio



En la interfaz de Tiempo de Viaje y Distancia Total, presione brevemente **[2]** o **[3]** para visualizar la Velocidad Máxima (MaxV) y la Velocidad Promedio (AVS). Presione **[2]** brevemente de para regresar a la interfaz de inicio.

Manual de usuario panel LCD (1/2)



1.2 Indicador del nivel de batería

Cuando la capacidad de la batería es mayor al 70%, las 4 secciones del indicador de capacidad estarán llenas. A medida que la capacidad de la batería se va agotando, las secciones se irán vaciando en su orden.

Cuando la capacidad de la batería es menor al 15%, todas las secciones estarán vacías. Cuando el controlador esté en el nivel mínimo de voltaje, el indicador de capacidad estará intermitente, indicando que la bicicleta está sujeta del volante mínimo, tiempo propicio para considerar cargar la batería.

3. Valores de código de Error

El display mostrará un código de error de manera intermitente cuando ocurra un fallo en el sistema de control electrónico. Una vez solucionado el fallo, automáticamente se mostrará la pantalla de inicio.



Código Error / Descripción
01 _info Acelerador Anormal
02 _info Sensor (Hear) PMS anormal
04 _info Sensor de Torque Anormal
05 _info Eje del sensor de Torque Anormal
06 _info Motor o controlador en corto circuito

Configuraciones Generales

1. Configurar máxima velocidad de marcha



Después de mantener presionado el botón de encendido por 5 segundos, presione **[>]** al mismo tiempo, la velocidad máxima Km/H estará intermitente, presione **[<]** o **[>]** nuevamente para configurar la máxima velocidad de marcha (por defecto 25km/H). Presione el botón **[<]** nuevamente para ir a la configuración del siguiente parámetro.



2. Configuración del diámetro de la rueda

La configuración del diámetro de la rueda se realiza después de finalizar la configuración de la velocidad máxima de marcha, el indicador del diámetro de la rueda estará intermitente. Presione **[<]** o **[>]** brevemente para seleccionar el diámetro de la rueda. Selección entre los rangos: 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 29, 700c pulgadas. Presione el botón **[<]** brevemente y continúe con el siguiente parámetro de configuración.

3. Configuración de unidades de medida



Las unidades de medida se configuran después de terminar la configuración del diámetro de la rueda, el indicador Km/H y Km o MPH y Mill estará intermitente. Presione **[<]** o **[>]** brevemente y seleccione la unidad con la que se sincronizarán las medidas de velocidad y distancia.

Display	Sistema Métrico	Sistema Inglés
Velocidad	Km/H	MPH
Distancia	Km	Mill

4. Presione el botón **[<]** brevemente, el indicador de Km/H y Km o MPH y Mill dejarán de estar intermitentes, indicando que la configuración de las unidades de medida se ha completado. Presione el botón **[<]** brevemente para regresar a la pantalla de configuración de velocidad máxima de marcha o presione prolongadamente el botón **[<]** para salir y guardar los cambios. Y regresar a la interfaz principal.

5. Salida de las configuraciones generales.

Desde cualquiera de las 3 configuraciones generales se puede salir y regresar a la interfaz principal si se presiona el botón **[<]** prolongadamente después de que cada configuración se haya completado.

En cada interfaz de configuración si no se presiona uno de las botones seleccionados por más de un minuto, automáticamente se regresará a la interfaz inicial y los valores que se hayan seleccionado serán invalidados.

Manual de usuario panel LCD (2/2)