



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Sede Santo Domingo**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA E INDUSTRIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

Informe del proyecto técnico para obtener el título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TÍTULO: “CONSTRUCCIÓN DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA  
CON ASISTENCIA AL PEDALEO EN LA UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL SEDE SANTO DOMINGO, AÑO  
2015”**

**Autor:**

**CRISTIAN RIGOBERTO GARCÍA ALVARADO**

**Director**

**Ing. ARTURO FALCONÍ, *MSc.***

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

Febrero – 2017

“CONSTRUCCIÓN DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA CON ASISTENCIA AL PEDALEO EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL SEDE SANTO DOMINGO, AÑO 2015”

Ing. Arturo Falconí Borja, *MsC.*

**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

**APROBADO**

Ing. Karina Cuenca Tinoco, *MsC.*

**PRESIDENTA DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Ing. Jorge Vega Peñafiel, *MsC.*

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Ing. Cristian Laverde Albarracín, *MsC.*

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Santo Domingo, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 2017

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>Autor:</b>       | CRISTIAN RIGOBERTO GARCÍA ALVARADO   |
| <b>Institución:</b> | UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL SEDE SANTO DOMINGO   |
| <b>Título:</b>      | “CONSTRUCCIÓN DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA CON ASISTENCIA AL PEDALEO EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL SEDE SANTO DOMINGO, AÑO 2015” |
| <b>Fecha:</b>       | FEBRERO, 2017  |

El contenido del presente trabajo está bajo la responsabilidad del autor y no ha sido plagiado.



---

Cristian Rigoberto García Alvarado  
C.C. 1723831168

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Sede Santo Domingo**

Santo Domingo, 01 de febrero de 2017

Ing. Karina Cuenca Tinoco, *MsC.*

**COORDINADORA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
E INDUSTRIAS**

Presente.

De mis consideraciones. -

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo investigativo realizado por el estudiante Cristian Rigoberto García Alvarado, cuyo título es **“CONSTRUCCIÓN DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA CON ASISTENCIA AL PEDALEO EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL SEDE SANTO DOMINGO, AÑO 2015”**; ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, el mismo que no ha sido plagiado, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Atentamente,



---

Ing. Arturo Falconí Borja, *MsC.*

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

# *Dedicatoria*

El presente trabajo de titulación la dedico a Dios por la sabiduría, fuerza y perseverancia, a mi familia por el apoyo incondicional, por no dejar que caiga con cada obstáculo que se presentó en todo este tiempo, a mis amigos porque fueron de una forma directa e indirecta uno de los motores que impulsaron mi crecimiento como persona y a cada una de las personas que estuvieron junto a mí en este proceso que gracias a su apoyo moral y económico me dieron fuerzas y ánimos para seguir adelante con este proyecto.

# *Agradecimiento*

Primeramente, agradezco a la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE) sede Santo Domingo por haberme permitido ser parte de ella y por darme la oportunidad de seguir mi carrera, así como también a los docentes de esta institución por haberme brindado sus conocimientos y su apoyo para cada una de las inquietudes que se presentaron al transcurrir el ciclo académico.

Agradezco también al Ing. Arturo Falconí por darme oportunidad de recurrir a su conocimiento científico-práctico y sobre todo por la paciencia para guiarme durante el transcurso del desarrollo de este trabajo de titulación.

Para terminar, agradezco de una forma infinita a los que fueron mis compañeros de clase que gracias a su amistad y apoyo moral me dieron las fuerzas y ganas de seguir con mis estudios.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**  
**PROYECTO DE TITULACIÓN**

| <b>DATOS DE CONTACTO</b>    |   |
|-----------------------------|---|
| <b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b> | <b>172383116-8</b>                        |
| <b>APELLIDO Y NOMBRES:</b>  | <b>García Alvarado Cristian Rigoberto</b> |
| <b>DIRECCIÓN:</b>           | <b>Santa Martha</b>                       |
| <b>EMAIL:</b>               | <b>garcia1991cris@hotmail.com</b>         |
| <b>TELÉFONO FIJO:</b>       | <b>02-362-5204</b>                        |
| <b>TELÉFONO MOVIL:</b>      | <b>0967613530</b>                         |

| <b>DATOS DE LA OBRA</b>                             |  |
|---|--|
| <b>TÍTULO:</b>                                      | <b>Construcción de una bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo en la Universidad Tecnológica Equinoccial sede Santo Domingo, año 2015.</b>   |
| <b>AUTOR O AUTORES:</b>                             | <b>García Alvarado Cristian Rigoberto</b>  |
| <b>FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:</b> | <b>Febrero, 2017</b>   |
| <b>DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:</b>         | <b>Ing. Arturo Falconí, <i>MSc.</i></b>  |
| <b>PROGRAMA</b>                                     | <b>PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/></b>  |
| <b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>                      | <b>Ingeniero Automotriz</b>  |
| <b>RESUMEN: Mínimo 250 y máximo 1000 palabras</b>   | <p>Con base al problema de la contaminación en diferentes países del mundo se está promoviendo un conjunto de ideas, cambios y tendencias con respecto al transporte público.</p> <p>A esto se lo conoce como movilidad sostenible que está basado en políticas para</p> |

el uso de medios de transporte alternativos en las áreas urbanas como son las bicicletas, ya que día a día los niveles de contaminación ambiental están aumentando de manera exponencial.

En este proyecto se presenta la construcción de una bicicleta con asistencia al pedaleo en la Universidad Tecnológica Equinoccial sede Santo Domingo, año 2015, este medio de transporte se presenta como una alternativa para una parte de la población que no usa una bicicleta ordinaria por el alto esfuerzo físico que implica imprimir en ciertos trayectos ya sea para trasladarse a su domicilio o a su lugar de trabajo.

La bicicleta está equipada con un sensor de posición del pedal que mide la frecuencia del pedaleo ejercida por el ciclista y este emite una señal para la activación del motor, que está colocado en el neumático posterior con el objetivo de tener una mayor tracción y asistencia para el desplazamiento.

Para incrementar la autonomía de la bicicleta se tiende a aprovechar la energía mecánica producida por ésta, transformándola en energía eléctrica, que es controlada de forma proporcional para la alimentación del motor eléctrico gracias a dispositivos periféricos capaces de



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

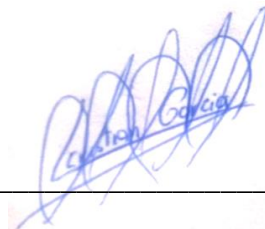
|                         |  |
|-------------------------|--|
|                         | <p>detectar cada una de las situaciones ocurridas en el manejo y por medio de funciones lógicas ya establecidas se procede a la activación de la asistencia.</p>   |
| <b>PALABRAS CLAVES:</b> | <p>Bicicleta, Propulsión eléctrica, Potencia eléctrica, Frecuencia eléctrica, Pedelec, Sistema de pedal asistido, Motor BrushLess DC, Fuerza electromotriz trasera.</p>  |
| <b>ABSTRACT:</b>        | <p>Based on the pollution problem in different countries of the world it is promoting a set of ideas, changes and trends dealing with public transport.</p> <p>This is known as sustainable mobility that is based on policies for the use of alternative means of transportation in urban areas such as bicycles, as day to day levels of environmental pollution is increasing exponentially.</p> <p>This project presents the construction of a bicycle with assistance riding at Technological Equinoctial University, Campus Santo Domingo, 2015, this means of transportation is presented as an alternative for a population group who does not use an ordinary bicycle because the strongest Physical power that involves production on certain rides either to move to their home or their workplace.</p> |

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

|                 |   |
|-----------------|---|
|                 | <p>The bicycle is equipped with a pedal position sensor that measures the riding frequency applied by the cyclist and it gives a signal for the activation of the motor, which is placed in the rear tire in order to have greater traction and support for the movement.</p> <p>To increase the self-rule of the bicycle tends to take advantage of the mechanical energy produced by it, transforming it into electrical energy, which is proportionally controlled for the power supply of the electric motor thanks to peripheral devices capable of detecting each of the situations that occurred in the Management and by means of already established logical functions it is proceed to the activation of the support.</p> |
| <b>KEYWORDS</b> | Bicycle, Electric propulsion, Electric power, Electric frequency, Pedelec , Pedal assisted, Motor BrushLess DC, Rotor, Stator, Capacitor, Synchronous permanent magnet, Rear electromotive force  |

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: \_\_\_\_\_



GARCIA ALVARADO CRISTIAN RIGOBERTO  
C.C. 1723831168


## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **GARCIA ALVARADO CRISTIAN ROGOBERTO**, CI 1723831168 autor del proyecto titulado: “**Construcción de una bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo en la Universidad Tecnológica Equinoccial sede Santo Domingo, año 2015**” previo a la obtención del título de **Ingeniero Automotriz** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 31 de enero del 2017

f: \_\_\_\_\_



**GARCIA ALVARADO CRISTIAN RIGOBERTO**  
C.C. 1723831168

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |      |
|---|------|
| PORTADA .....   | I    |
| SUSTENTACIÓN Y APROBACIÓN DE LOS INTEGRANTES DEL TRIBUNAL ..... | II   |
| RESPONSABILIDAD DEL AUTOR .....                                 | III  |
| APROBACIÓN DEL DIRECTOR .....                                   | IV   |
| DEDICATORIA .....   | V    |
| AGRADECIMIENTO.....   | VI   |
| FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO.....                       | VII  |
| DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN .....                                | XI   |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS .....                                      | XII  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | XIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | XIII |
| <br>  |      |
| I. INTRODUCTORIO .....  | 1    |
| II. MARCO REFERENCIAL .....                                     | 4    |
| III. METODOLOGÍA.....   | 24   |
| IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....                                | 54   |
| V. PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO .....                              | 58   |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                             | 59   |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                | 61   |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1 Ventajas y limitaciones de una batería de plomo-acido ..... | 17 |
| Tabla 2 Propiedades de los metales .....                            | 26 |
| Tabla 3 Composición química del acero ASTM A36 .....                | 27 |
| Tabla 4 Propiedades mecánicas del acero .....                       | 27 |
| Tabla 5 Coeficientes de rozamiento y rodadura .....                 | 32 |
| Tabla 6 Numero de dientes de la rueda dentada.....                  | 34 |
| Tabla 7 Relación de transmisión entre piñones .....                 | 34 |
| Tabla 8 Características del motor eléctrico .....                   | 36 |
| Tabla 9 relación entre espesor- diámetro- intensidad.....           | 43 |
| Tabla 10 Características de la batería .....                        | 51 |
| Tabla 11 presupuesto .....  | 57 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.- Velocípedos .....  | 4  |
| Figura 2 Celerífero .....   | 4  |
| Figura 3 Draisiana .....  | 5  |
| Figura 4 Dandy horse .....  | 5  |
| Figura 5 Draisiana con pedales.....   | 6  |
| Figura 6 “El Quebrantahuesos” .....   | 6  |
| Figura 7 Tour de Francia 1903 .....   | 8  |
| Figura 8 Componentes de una bicicleta.....  | 8  |
| Figura 9 Bicicleta eléctrica.....   | 10 |
| Figura 10 Motor eléctrico .....   | 11 |
| Figura 11 Motor DC con escobillas.....  | 12 |
| Figura 12 Posición del motor en una bicicleta .....                                 | 13 |
| Figura 13 Motor DC sin escobillas.....  | 14 |
| Figura 14 Distribución de imanes permanentes BEMF (Back Electro Motive Force) ..... | 15 |
| Figura 15 Partes internas de una bacteria de Plomo-acido .....                      | 16 |
| Figura 16 Batería de litio-ion .....  | 19 |
| Figura 17 Circuito Eléctrico de un Controlador .....                                | 20 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 18 Controlador .....                                     | 20 |
| Figura 19 Ubicación de los sensores Hall .....                  | 22 |
| Figura 20 Cargador de batería .....                             | 23 |
| Figura 21 Diseños de marcos de una bicicleta .....              | 24 |
| Figura 22 Cuadrante diseñado en solidworks.....                 | 28 |
| Figura 23 Modelo de bicicleta .....                             | 28 |
| Figura 24 Postura de paseo .....                                | 29 |
| Figura 25 Postura en ruta relajada .....                        | 30 |
| Figura 26 Postura de ataque .....                               | 30 |
| Figura 27 Reacción de rozamiento .....                          | 31 |
| Figura 28 Fuerzas que intervienen en una bicicleta .....        | 31 |
| Figura 29 Transmisión por mecanismo de cadena metálica.....     | 33 |
| Figura 30 Parte externa del motor Brushless.....                | 35 |
| Figura 31 Bobinados internos del motor .....                    | 35 |
| Figura 32 Medición de fases del motor .....                     | 36 |
| Figura 33 Ubicación del controlador .....                       | 38 |
| Figura 34 Ubicación de los componentes de la bicicleta .....    | 39 |
| Figura 35 Equipo de soldadura Lincoln .....                     | 42 |
| Figura 36 Fuerzas actuantes en el cuadrante normal.....         | 43 |
| Figura 37 Dimensiones del cuadrante modificado .....            | 43 |
| Figura 38 Equipo de protección personal.....                    | 44 |
| Figura 39 Medición de los tubos .....                           | 44 |
| Figura 40 Corte de tubos .....                                  | 44 |
| Figura 41 Soldadura de la estructura principal.....             | 45 |
| Figura 42 Soldadura del cuadrante posterior.....                | 45 |
| Figura 43 Soldadura del tubo superior del cuadrante .....       | 45 |
| Figura 44 Orificio en el tubo superior del cuadrante.....       | 46 |
| Figura 45 Cuadrante terminado .....                             | 46 |
| Figura 46 Rugosidad en las uniones de soldadura.....            | 46 |
| Figura 47 Aplicación de masilla en uniones.....                 | 47 |
| Figura 48 Superficie donde se aplicó el proceso de lijado ..... | 47 |
| Figura 49 Estructura de la bicicleta terminada de lijar.....    | 48 |
| Figura 50 Aplicación de pintura base a la estructura.....       | 48 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 51 Aplicación de pintura base color verde.....                          | 48 |
| Figura 52 Finalización de la aplicación de la pintura base.....                | 49 |
| Figura 53 Aplicación de la pintura final.....                                  | 49 |
| Figura 54 Cuadrante terminado .....  | 49 |
| Figura 55 Armado de la rueda delantera .....                                   | 50 |
| Figura 56 Rodamientos utilizados en el tubo de dirección.....                  | 50 |
| Figura 57 Colocación de tuercas y arandelas de presión al eje de la rueda..... | 50 |
| Figura 58 Orificio de alojamiento del eje de los pedales .....                 | 51 |
| Figura 59 Eje, pistas y rodamientos de los de pedales .....                    | 51 |
| Figura 60 Base de la batería de litio-Ion .....                                | 52 |
| Figura 61 Colocación de la batería.....  | 52 |
| Figura 62 El controlador sujeto al tubo principal del cuadrante .....          | 52 |
| Figura 63 Preparación de los terminales de cada uno de los elementos.....      | 53 |
| Figura 64 Colocación de la caja porta terminales.....                          | 53 |
| Figura 65 Ubicación geográfica de la vía aventura .....                        | 55 |
| Figura 66 Entrada de la vía aventura .....                                     | 55 |
| Figura 67 Velocidad mínima aplicada en rectas.....                             | 56 |
| Figura 68 Prueba en pendiente .....  | 56 |

## I. INTRODUCTORIO

En la actualidad el mundo está expuesto a cambios bruscos en el clima siendo estos irreversibles como consecuencia de los gases de efecto invernadero generados por los diferentes agentes contaminantes, entre los cuales se encuentran los automóviles. El uso excesivo de los vehículos ha originado elevados índices de contaminación ambiental, congestión vehicular y altos costos de mantenimientos de las ciudades.

Desafortunadamente el constante crecimiento del parque automotor en el sector automotriz, ha generado el incremento del tráfico dentro de las vías y el Ecuador no es la excepción.

El tránsito de vehículos y la alta demanda de medios de transporte, a su vez, genera malestar en la población puesto que aumenta considerablemente los índices de contaminación, así como también la aparición de enfermedades a causa del estrés en exceso.

Parte de las iniciativas frente a la contaminación del ambiente se evidencia el uso de medios de transportes amigables con ambiente. De ahí la propuesta de construir vehículos alternativos que ayuden en las ciudades con mayor tráfico vehicular, dichos medios tendrán que disminuir costos de mantenimiento e incluso abaratar costos con relación a impuestos y restricciones que se imponen en la actualidad a los automóviles. Una solución práctica es el uso de una bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo a más de ser un medio de transporte es una máquina de ejercicios la cual brindará una mayor libertad de movilidad en la ciudad sin dejar de mencionar su fácil parqueo y está siendo adoptada en muchas ciudades del mundo.

Siendo esta una alternativa que supera las expectativas del usuario ya que implica un esfuerzo menor alentando a las personas a utilizarla. La bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo es una alternativa para actividades recreativas, de distribución y transporte ayudando al medio ambiente e impulsando la actividad física del usuario.

El problema tecnológico del presente proyecto es la falta de medios de transporte amigables con el ambiente, que ayuden a la fácil movilización de las personas y evitar el congestionamiento vehicular de las deferentes calles y avenidas de nuestra provincia. Por medio de esta problemática se fomenta la creación y uso de nuevas tecnologías aplicadas al área automotriz y que con la construcción de una bicicleta con asistencia al pedaleo se está colaborando de una manera directa con la no generación de dichos problemas que afectan



tanto a las personas como al ambiente y que en la actualidad es una de las grandes problemáticas que todas las provincias poseen.

La construcción de vehículos que utilicen energías alternativas para la fácil movilización es indispensable frente al crecimiento del parque automotor que ha futuro va a generar mayor congestión en el tránsito en las ciudades con mayor población.

La bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo evita el consumo de energías contaminantes como los son la gasolina, el diésel y otros derivados del petróleo. Su autonomía y su construcción permiten que el usuario tenga un máximo rendimiento de la bicicleta eléctrica tanto así que si se añade un cesto para llevar los víveres sin esfuerzo y de una forma confortable o una silla para niños y así movilizarse junto a ellos sin problemas.

La bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo es un vehículo que se adapta a las necesidades de hoy. Cada vez este tipo de vehículo está ganando terreno como los automóviles y las motocicletas ya que prestan múltiples beneficios y muy pocos inconvenientes.

Los principales beneficios de utilizar una bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo son:

- Reducción de la contaminación al ambiente.
- Es uno de los medios más eficientes que existen.
- Tener la oportunidad de recorrer grandes distancias sin necesidad de pedalear en cada momento.
- El espacio para estacionar una bicicleta es de menos del ocho por ciento de lo que necesita un vehículo.
- Ayuda a potencial el rendimiento de una persona ya que la mantiene ejercitada.
- Además de ser un medio de transporte ayuda a la actividad física del conductor.
- La bicicleta eléctrica cuenta con diferentes opciones de recorrido y el usuario elige la que más convenga.

El desarrollo de este trabajo de titulación en la Universidad Tecnológica Equinoccial sede Santo Domingo ayuda a fomentar las nuevas tecnologías en las distintas ramas de la Ingeniería Mecánica Automotriz y motivará a sus estudiantes a creer en sí mismos, que si se puede generar formas de movilidad futuristas.

El objetivo general es construir una bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo en la Universidad Tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo. Año 2015

Para la obtención del objetivo principal fue necesario el desarrollo en forma ordenada de los objetivos específicos como son:

- Identificar los componentes principales para la construcción de una bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo.
- Establecer los fundamentos científico-técnicos que caracterizan a cada uno de los componentes a utilizar.
- Exponer la utilidad de una bicicleta eléctrica para mantener a las personas activas he independientes.

Es factible la construcción de una bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo en la Universidad Tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo, año 2015

El impacto social de este proyecto fue que los estudiantes encontraron una manera mucho más fácil, factible y accesible de moverse además de contribuir de una forma directa a la no generación de gases contaminantes que está afectando al cambio del clima.

Con la utilización e implementación de este tipo de tecnología se contribuye a la creación de nuevos métodos de utilización de energías limpias y evitando el consumo de combustibles fósiles.

Asimismo se genera un sin número de interrogantes en los estudiantes entorno al funcionamiento del sistema implementado, ayudando a la innovación de dicho sistema.

El proyecto denominado “Construcción de una bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo en la Universidad Tecnológica Equinoccial sede Santo Domingo, año 2015” es un estudio transversal en el cual se tiende a utilizar metodología de investigación científica ya que está basada en la investigación que han hecho otros investigadores, esto no quiere decir que sea exclusivamente un plagio sino que siempre se debe examinar cada una de las investigaciones realizadas en este tema y de esta manera tomar decisiones coherentes de si el tema es factible o no de realizarlo.

Además con la implementación del proyecto se está generando otras situaciones de estudio, es decir que crea nuevas interrogantes en cada una de las personas y estudiante referente al uso de nuevas formas de movilidad amigables con el ambiente.

Con la aplicación de este proyecto viéndolo desde otro punto de vista se está proponiendo como meta final el mejoramiento de la transportación de personas dentro de esta ciudad como también contribuyendo a la no generación de gases de efecto invernadero que es uno de los principales causantes de la contaminación del planeta.

## II. MARCO REFERENCIAL

### Historia de la bicicleta

“Como una definición breve: Bicicleta es un vehículo de dos ruedas alineadas y montadas en un cuadro, es impulsada por medio de una combinación de pedales movidos por medio de los pies. La aparición de este tipo de vehículo data desde 1869 algunos de los primeras bicicletas eran conocidas como “velocípedos”, la particularidad de este tipo de bicicletas es que no poseían pedales ni un sistema de arrastre” (Herlihy, 2004, pág. 25)



Figura 1. Velocípedos  
Fuente: (Pellini, 2014)

En el transcurso de la historia a la bicicleta se la ha conocido como un vehículo rustico careciente de suspensión propulsado por los pies y corriente hasta la mitad del siglo XVIII. En el año de 1690, en Francia se inventó un vehículo denominado “célerifére” que estaba construida con un bastidor de madera en donde estaban colocadas dos ruedas y la propulsión la lograba cuando los pies del conductor se impulsaban contra el piso, no poseía un sistema de dirección como tampoco un asiento en donde sentarse cómodamente se utilizaba una almohadilla en el bastidor como asiento.



Figura 2. Celerífero  
Fuente: (Santibañe, 2010)

“El barón alemán de Karlsruhe, Drais von Saverbronn después de varios intentos fallidos en la elaboración de vehículos de cuatro ruedas cambia completamente la idea de estos diseños y se pone a trabajar en una idea que sería de vital importancia para la historia de la bicicleta. Lo que tenía en mente era aumentar el rendimiento de la zancada humana con la ayuda de la rueda y diseño el primer vehículo con un sistema de dirección que lo llamaría “Draisiana” este medio de movilización constaba con un singular sistema de dirección que sobresalía en el cuadrante de madera, permitiendo el giro de la rueda delantera” (Herlihy, 2004, pág. 36)



Figura 3 Draisiana  
Fuente: (Drais, 2006)

“Con el pasar el tiempo los inventores franceses, alemanes y británicos introdujeron mejoras a dichas máquinas para poder optimizar su desempeño, estos primeros modelos se los conocía como “balancines”. En 1818 apareció la denominada “Dandy horse” que poseía un cuadrante más ligero que la draisiana además contaba con un asiento ajustable y un apoyo para el codo que de una u otra manera mejoraba la conducción fue creada por Karl Drais fue patentada en el año de 1819 en Estados Unidos” (Herlihy, 2004, pág. 38)



Figura 4. Dandy horse  
Fuente: (Gonzales, 2015)

“Para el año de 1839, el escocés Kirkpatrick Macmillan adiciono a una maquina similar a la draisiana los pedales y palancas de conducción estas nuevas innovaciones permitieron que el conductor de esta máquina se impulse por medio de los pies pero sin tocar el piso” (Herlihy, 2004, pág. 59)

Los pedales que poseía esta máquina eran cortos y estaban sujetos al cubo del neumático posterior y conectado por palancas largas que se sujetaban al cuadro de la parte superior.



Figura 5. Draisiana con Pedales  
Fuente: (Herlihy, 2004)

Uno de los antecedentes primordiales para la bicicleta moderna fue un modelo francés dirigido por manivela que se hizo popular en 1855 el cuadro y las ruedas se fabricaban en madera, los pedales estaban colocados en el cubo de la rueda delantera y era un poco más alta que la posterior. En Gran Bretaña esta singular maquina se la llamaba el “quebrantahuesos”, por todas las vibraciones que causaba cuando se desplazaba por calle pedregosas o adoquinadas.

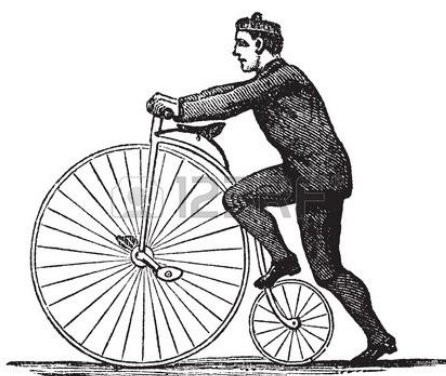


Figura 6. “El Quebrantahuesos”  
Fuente: (Gonzales, 2015)

“Para el año de 1869, en Gran Bretaña se implementaron por primera vez los neumáticos de goma maciza y este vehículo fue el primero en ser patentado con el nombre de bicicleta

James Starley en 1873 diseñó la primera máquina con características comunes de la bicicleta común. El neumático delantero de la bicicleta era tres veces más grande que el neumático posterior. En los 15 años siguientes las modificaciones y mejoras que adquirió la bicicleta como eran el asiento con muelles para amortiguar un poco las irregularidades del piso, tubos de acero para darle mayor resistencia a la estructura, sin embargo, las vibraciones generadas y la inestabilidad de la bicicleta alta obligaron a los inventores a buscar la altura idónea de la bicicleta.

En 1880 apareció por primera vez la conocida bicicleta segura o baja, las ruedas eran de dimensiones iguales y los pedales unidos por una rueda dentada a través de engranajes y el medio de unión entre ellos fue una cadena de transmisión que movía el neumático posterior.

Para la década de los sesenta y setenta, contaminación producida por los automóviles y las grandes empresas, incrementaron el interés por la bicicleta, la crisis mundial del petróleo también fue una causal para que se tomase a la bicicleta como un medio de transporte alternativo y llevarla a la popularidad. En algunas ciudades se implementaron carriles exclusivos para el uso de la bicicleta” (Herlihy, 2004, pág. 87)

El norteamericano Thomas Stevens realiza el primer viaje alrededor del mundo un 7 de enero de 1887 partiendo de San Francisco y retorno a la misma ciudad después de tres años de pedalear alrededor del mundo.

“El ciclismo de competición nació oficialmente un 31 de mayo de 1889, los hermanos Olevier, en compañía de la fábrica Michaux organizaron la primera carrera en el parque Saint Cloud de Paris y de esta manera comienza el ciclismo de competición en donde cada vez se buscaba mejorar el rendimiento de las bicicletas como también la del ciclista.

En 1903 se realizó la primera competición de en Francia conocida como el gran tour de Francia con 2428 kilómetros de recorrido que con el paso de los años se ha ido mejorando y mejorando la autonomía de las bicicletas” (Kalkhoof, 2015)



Figura 7. Tour de Francia 1903  
Fuente: (Etapaindie, 2013)

### La bicicleta en la actualidad

“Una bicicleta es un medio de transporte que por medio de una fuerza mecánica ejercida por las piernas del conductor genera movimiento” (Sánchez Real, 1988, pág. 14).

Desde su creación las bicicletas han ido evolucionando y siendo creadas para distintas áreas de desempeño de ahí se puede decir que una de sus principales clasificaciones son tres; bicicletas de tracción mecánica, bicicletas eléctricas y bicicletas asistidas electrónicamente al pedaleo.

### Bicicletas de tracción mecánica

La bicicleta es un medio de transporte personal la cual está constituida de componentes básicos que son un chasis o cuadrante en donde están alojados cada uno de los componentes constructivos de la misma, las ruedas que por lo general son dos capaces de permitir el deslizamiento, un sistema de transmisión por medio de pedales, un manillar comúnmente conocido como timón capaz de controlar la dirección y una silla en donde el ciclista puede sentarse.

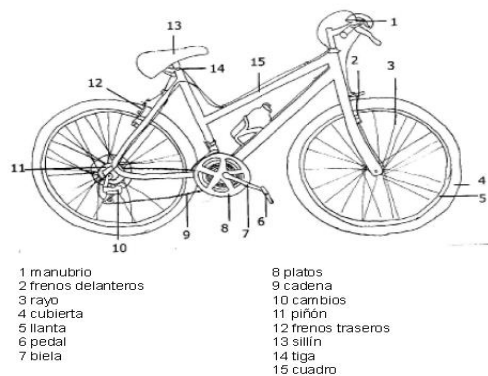


Figura 8. Componentes de una Bicicleta  
Fuente: (Pellini, 2014)

## **Bicicleta Eléctrica**

Básicamente una bicicleta eléctrica es una bicicleta normal que posee un motor eléctrico que puede estar montado en la rueda delantera, trasera o en la estructura central de la bicicleta (chasis) y este es comandado por una unidad de control electrónico.

La energía necesaria para que pueda trabajar el motor eléctrico puede ser suministrada por una batería y en algunos casos por condensadores, la misma que se puede utilizar cuando el ciclista lo desee. Una bicicleta eléctrica es una opción viable para adentrarse en vías sinuosas o con pendientes pronunciadas ya que solventa el rendimiento físico del ciclista.

De acuerdo con lo investigado en diferentes fuentes acerca de la autonomía de una bicicleta eléctrica se dice que están entre los 30 a 100 km, con velocidades que van desde los 25 a 50 km/h según sea su modelo. Cabe recalcar que dependerá de qué tipo de motor se ha utilizado, peso del ciclista, peso de la bicicleta, diseño de la bicicleta y la batería que posea para alimentación de los diferentes circuitos instalados, que son parámetros indispensables para el cálculo correspondiente de la autonomía de este vehículo.

Comparación con los medios de transporte convencionales, no emite gases contaminantes a la atmósfera como lo son monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos entre otros, no consume combustible fósil, además de promover el desplazamiento de una forma ecológica y limpia ayuda a que las personas se mantengan en actividad física disminuyendo así los niveles de estrés que a la larga son causantes de enfermedades que afectan a la estabilidad emocional de una persona.

La bicicleta eléctrica actúa cuando el ciclista activa el modo eléctrico en donde proporciona de energía eléctrica a cada uno de los componentes que posee, su aceleración es controlada por medio de un potenciómetro colocado en el manillar de dirección en donde se puede controlar la cantidad de potencia que se desee para su desplazamiento, como se mencionó anteriormente la colocación del motor eléctrico y la potencia del mismo son seleccionados dependiendo en que área se desee desplazar.





Figura 9. Bicicleta eléctrica  
Fuente: (Gonzales, 2015)

“La energía humana y eléctrica en este tipo de sistemas son independientes esto quiere decir que se pueden utilizar el acelerador y el pedaleo a la vez, cabe recalcar que en algunos países existen normativas que regularizan este tipo de vehículos siendo considerado como un ciclomotor a las bicicletas eléctricas que superen la velocidad de 30 km/h y la potencia nominal del motor este sobre los 0.25 w” (EUROPEA, 2002)

### **La bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo**

Facilita el recorrido de grandes distancias esto por la ayuda que proporciona su motor eléctrico haciendo así la conducción de la misma de una manera fácil y sencilla, además de la facilidad de aparcamiento ya que por sus dimensiones ocupan pequeños espacios.

Este tipo de bicicletas también denominadas PEDELEC incorporan un sistema de pedaleo asistido denominado también como PAS (Pedal Assistant System), esto quiere decir que el motor únicamente funciona cuando el ciclista ejerce la fuerza sobre el pedal.

El ciclista activa el control de mando, en ese instante es cuando la unidad de control activa cada uno de los elementos electrónicos, entonces un sensor inductivo detecta la fuerza que está siendo aplicada al pedal esta señal es transmitida al controlador o modulo en donde dicha información es procesada y promueve el encendido del motor eléctrico que es alimentado por la batería.

El tiempo de ejecución de dicha información es instantánea, de manera que el motor reacciona de inmediato. Si el ciclista no ejerciera fuerza alguna al pedal de la bicicleta sencillamente el motor permanece inactivo.

## COMPONENTES

### Motor DC con escobillas

Se entiende por motor a la “maquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía”. Específicamente, en una bicicleta con asistencia al pedaleo se utiliza un motor eléctrico rotativo sin escobillas que es un artefacto destinado a transformar la energía eléctrica en energía mecánica por medio de un rotor y un campo magnético. (Rojas Miranda, 2013)

Un motor de corriente eléctrica transforma la energía eléctrica que se encuentra acumulada en un batería o que es generada en un alternador en energía mecánica un motor de corriente eléctrica aprovecha dicha energía que fluye a través de un conductor en un solo sentido.

El motor está constituido por una armadura que gira en un campo magnético, la armadura tiene una bobina de cable arrollada a un núcleo de hierro la fuente de energía eléctrica que conecta a las escobillas y asen contacto con el conmutador de la armadura, el conmutador es un tipo de interruptor que cambia el sentido de dirección de la bobina según va girando la corriente eléctrica vieja desde la fuente hacia el motor y nuevamente a la fuente en un solo sentido.

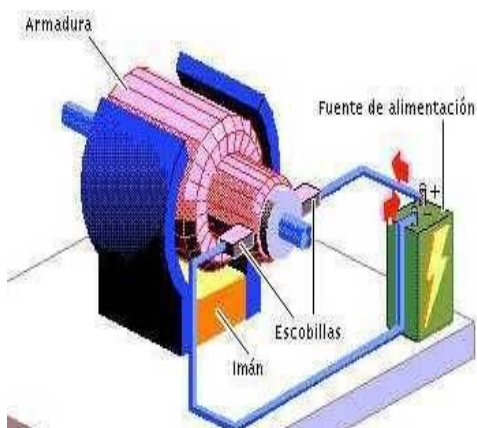


Figura 10. Motor eléctrico  
Fuente: (Enríquez, 2004)

El movimiento giratorio de los motores eléctricos está basado en la acción de atracción y repulsión de los polos producidos entre los campos magnéticos, esta da origen a un par de fuerzas que están obligando al rotor que gire en busca de la posición de equilibrio, la conexión entre la fuente de alimentación y el rotor (armadura) es a través de las escobillas

que se encuentran en constante rozamiento con las delgas que son anillos conductores. Cuando el giro del rotor se produce las escobillas ya no están deslizándose sobre las mismas delgas que a su vez alimentan a otras bobinas.

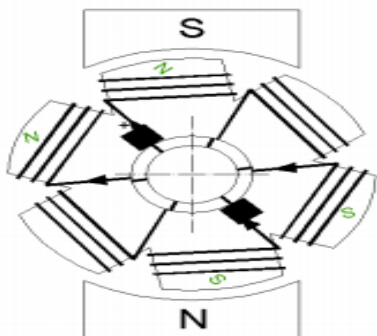


Figura 11. Motor DC con Escobillas  
Fuente: (Enríquez, 2004)

Por lo general las escobillas son dos pedazos de carbono o grafito estas últimas son las más utilizadas en motores para tener una mayor transmisión de corrientes y señales eléctricas, estas escobillas se encuentran en constante rozamiento con las bobinas del rotor. A medida que el rotor gira las bobinas se conmutan y debido a este fenómeno se produce chispas que generan calor y desprendimientos de materiales de las escobillas. El nombre de las denominadas escobillas se debe a que los primeros motores llevaban en su lugar paquetes hechos con alambres de cobre en forma de escobas de manera que al girar el rotor “barrían”

### **Motor DC sin Escobillas (brushless o BLDC)**

Este principio de funcionamiento está basado en la inducción electromagnética, descubierta por Michael Faraday.

En el mercado existen una gran gama de motores eléctricos, para la elección de uno que sea acorde al alcance de nuestro objetivo es importante tener en cuenta el rendimiento y el costo del mismo.

Los motores de imán permanentes sin escobillas denominados también como BLDC están ganando posicionamiento en aplicaciones automotrices, de consumo, aeroespaciales, instrumentación, automatizaciones medicas e industrias y en electrodomésticos esto debido a las grandes ventajas sobre los motores AC y DC con escobillas.

La ubicación del motor puede ser:

- A. Eje pedalier.- Yamaha y Panasonic elaboran dichos sistemas que cuyas ventajas son que asisten desde el primer momento que el ciclista ejerce una determinada fuerza en el pedal además con la colocación del motor en la parte céntrica del chasis de una bicicleta hacemos q el punto de gravedad sea más bajo y por ende el peso sea equilibrado tanto para el neumático delantero como para el posterior.
- B. Eje de la rueda.- En este tipo de sistema el motor eléctrico está situado en la parte del eje de la rueda ya sea en la delantera como en la trasera, esto facilita el montaje del motor así como también si el motor se sitúa en la rueda delantera tenemos doble tracción y un mejor equilibrio de pesos.

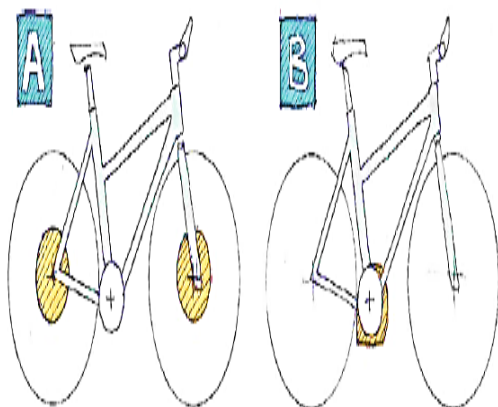


Figura 12. Posición del motor en una bicicleta  
Fuente: (Kalkhoof, 2015)

Para la construcción de este proyecto se utilizó un motor de imán permanente si escobillas denominados también como brushless (BLDC).

Como se ha explicado anteriormente sobre los motores con escobillas que producen rozamiento y por ende crean ruido, calor y chispa, reducen el rendimiento, requieren un mayor mantenimiento y generan desprendimientos de materiales que con la exorbitante acumulación de estos pueden ser conductores de corrientes y produciendo cortos circuitos o derivaciones de corriente.

En el mercado existe una amplia gama de motores eléctricos que funcionan con este principio, para la elección de uno de ellos generalmente es primordial tener en cuenta el

rendimiento y el costo del mismo. Los motores de imán permanentes sin escobillas están siendo utilizados en la actualidad en aplicaciones automotrices, aeroespaciales, de consumo y automatizaciones industriales.

Es por estas razones que se promovió el estudio de nuevos sistemas de conmutación para los motores eléctricos, dando así la aparición de los motores eléctricos sin escobillas.

Uno de los primeros motores sin escobillas que se fabricaron fueron los de corriente alterna asíncronos, hoy en día gracias a la innovación de la electrónica y la aparición de dispositivos electrónicos estos motores se muestran con una amplia ventaja en comparación con los motores que poseen escobillas, por lo que el mantenimiento de estos no es constante, su peso es menor y son más baratos de fabricar, aunque la forma de controlarlos es más compleja.

En los motores sin escobillas el mecanismo de cambio de polaridad se basa en sustituir la forma de conmutación, esto quiere decir que no se tiene una conmutación mecánica, sino que es reemplazada por una conmutación electrónica sin contactos.



Figura 13. Motor DC sin escobillas  
Fuente: (Galindo, 2015)

En la actualidad existen dos tipos de motores de imán permanente sin escobillas los Brushless DC y los síncronos AC denominados también como PMSM por su significado en inglés (Permanent Magnet Synchronous Motor).

El motor de corriente alterna denominado PMSM tiene un campo de excitación que es proporcionado por imanes permanentes. El sistema de este motor es similar al del BLDC.

Las características de ambos motores tanto de los PMSM y los BLDC son de alta eficiencia debido a su buena capacidad de control debido a su linealidad de velocidad en

relación al torque, y de esta manera tener una regulación idónea en base a la velocidad requerida.

En los motores sin escobillas las corrientes y voltajes que son aplicados en cada una de sus bobinas para su conmutación pueden ser controlados de una manera independiente mediante una programación electrónica. A diferencia de los motores con escobillas que la forma de conmutación la ejercen por medio de mecanismos mecánicos que acarrear grandes desventajas.

Una de las principales diferencias entre los motores BLDC y los PMSM es el tipo de señal de mando que es suministrada al motor por parte del inversor y a su vez la fuerza contraelectromotriz generada, esta fuerza dependerá de la distribución de los imanes permanentes dentro del motor.

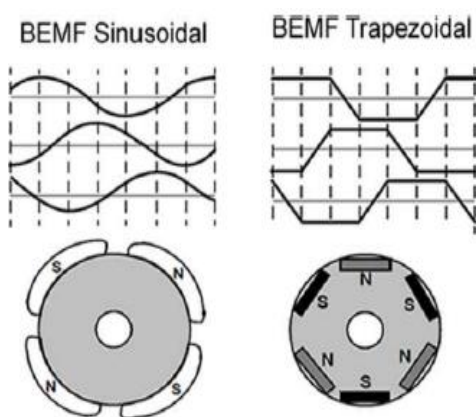


Figura 14 Distribución de Imanes Permanentes BEMF (Back Electro Motive Force)  
Fuente: (Galindo, 2015)

## Baterías

Los equipos y circuitos electrónicos de potencia incluyen con una gran frecuencia, baterías para el almacenamiento de energía como componente necesario para las acciones previamente encomendadas.

Se denomina batería al dispositivo capaz de almacenar energía eléctrica utilizando procedimientos electroquímicos de oxidación y reducción, estas celdas electro químicas tienen dos electrodos el ánodo y el cátodo, el ánodo se define como el electrón en donde se produce el proceso de oxidación y el cátodo donde se realiza la reducción que por medio de este procedimiento la energía es almacenada para su utilización en consumidores eléctricos ya sean estos motores, accesorios eléctricos, luces entre otras y que luego dicha

energía eléctrica es devuelta casi en su totalidad, este proceso de carga y descarga se puede repetir innumerables veces.

La denominación de batería proviene del hecho de que los dispositivos básicos donde dichas reacciones tienen lugar suelen aplicarse en combinaciones (normalmente en serie) de varios dispositivos iguales para obtener determinada tensión y capacidad. Es por esto que también se deriva el nombre de pila.

### **Baterías selladas de plomo-acido (Sealed Lead Acid)**

En la época de los sesenta las personas encargadas de investigar nuevas formas de almacenaje de energía desarrollaron un batería de Plomo-acido libre de mantenimiento. La batería desarrollada de este tipo también conocida como de GEL debido a que el electrolito que comúnmente se encuentra en las baterías convencionales es líquido cambia a un electrolito gelatinoso humedecido y posteriormente sellado.

Gracias a este tipo de fabricación las baterías son libres de mantenimientos y pueden funcionar en cualquier posición si correr el riesgo de que el electrolito se derrame y causen daños en la estructura en donde está montada. Las baterías de plomo-acido selladas están diseñadas con un sobrante voltaje un voltaje de baja potencia que ayuda a la batería a evitar el alcance de su potencial de generación de gases cuando se carga, cuando la batería recibe carga en exceso genera temperatura que esta produce el desprendimiento de gases y el agotamiento del agua. Es por esto que dichas baterías no se pueden cargar a su máxima potencia.

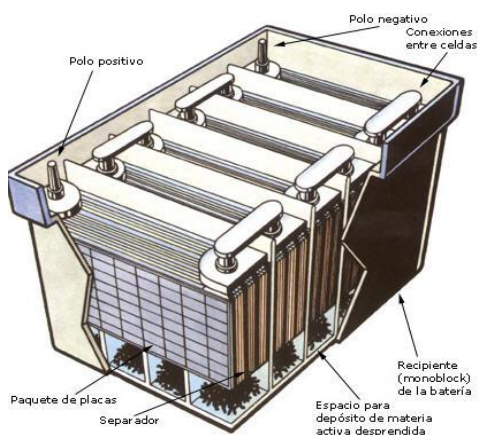


Figura 15. Partes internas de una batería de Plomo-ácido  
Fuente: (Galindo, 2015)

Según el estudio realizado sobre las baterías selladas de plomo-acido la temperatura óptima de funcionamiento es de aproximadamente de 25 grados centígrados si la temperatura sobrepasase este límite la vida útil de la batería se reducirá considerablemente. Este tipo de batería puede manejar desde 0.2 Ah hasta 30 Ah, tiene una gran versatilidad ya que no sufre el efecto memoria que es básicamente un fenómeno que reduce la capacidad de carga de la batería con cargas incompletas este fenómeno se produce cuando se ejerce la carga de una batería sin que esta esté descargada en su totalidad, el porcentaje de descarga de esta batería es alrededor del 40% en el año. Considerando que este tipo de baterías tiene un peso elevado el precio es bastante bajo lo cual hace atractiva la elección al momento de seleccionar una batería para una determinada aplicación en los diferentes campos.

Tabla 1. Ventajas y Limitaciones de una Batería de Plomo-acido

| <b>VENTAJAS</b>  | <b>LIMITACIONES</b>                    |
|--|--|
| <b>Bajo costo</b>  | Son muy contaminantes                  |
| <b>Fácil fabricación</b>                                       | Elevado peso                           |
| <b>No posee efecto memoria</b>                                 | No pueden ser almacenadas sin carga    |
| <b>Libre de mantenimiento</b>                                  | Un exceso de carga reduce la vida útil |
| <b>No requiere carga del electrolito</b>                       |  |
| <b>Su porcentaje de descarga es muy bajo</b>                   |  |
| <b>Son capaces de proporcionar altos niveles de corriente.</b> |  |

Fuente: Autor

### **Baterías de litio-Ion**

En la creciente demanda de la electrónica y con respecto a la creación de vehículos amigables con el medio ambiente hace necesario la creación de nuevos acumuladores de energía que capten rápidamente y su porcentaje de descarga sea lo más lenta posible. Dentro de estas las más representativas son las baterías de litio-ion.

Las baterías de litio-ion emplean como electrolito una sal de litio, este es un metal ligero y que da lugar a algunas grandes ventajas en comparación con las baterías de plomo-ácido esto quiere decir que se obtiene una mayor cantidad de energía con un peso inferior.



Es importante recalcar que cuando un ánodo de litio metálico en combinación con algunos óxidos de metales de transición las celdas electroquímicas reversibles que resultan de este proceso dan como resultado valores de voltaje superiores a los de otro sistema, con esto se contribuye a una alta densidad de energía, así como también gracias a la tecnología de litio que es muy versátil por lo que no representa un problema de contaminación ambiental.

Las baterías de litio-ion proporcionan un alto voltaje de alrededor de los 3 voltios por celda y una excelente capacidad de corriente esta conlleva a que puede proporcionar una alta cantidad de energía, no sufren del efecto memoria y la tasa de auto descarga es de aproximadamente de un 6% mensual.

Para el funcionamiento correcto de este tipo de baterías se necesitan de dos circuitos de protección, el primero para la protección de la batería si hubiese una sobre carga evitando así una posible explosión de la misma y el segundo circuito que ayuda al óptimo desempeño de la batería es el de evitar la sobre descarga, con esto se evita la descarga total de la batería. El dispositivo encargado de proveer la energía a la batería es un cargador limitador de voltaje que su trabajo es similar a los cargadores de las baterías de plomo-acido, aunque la diferencia radica en que el voltaje que suministra (voltaje de salida) esto quiere decir que el voltaje suministrado es mayor. Mientras los cargadores convencionales de batería tienen algo de flexibilidad hablando en términos de voltajes cuando son desconectadas automáticamente, las baterías de litio-ion son muy rigurosos en cuanto a estas tolerancias de voltaje, su tolerancia de voltaje máxima adicional que pueden recibir es de unos  $\pm 0.05$  voltios.

Entre las principales características que se debe tener en cuenta al momento de adquirir una batería o acumulador de corriente para un uso determinado hay que considerar:

- Voltaje
- Corriente
- Potencia
- Capacidad de carga
- Resistencia interna
- Tolerancia a la temperatura
- Energía específica
- Densidad de potencia



Figura 16. Batería de litio-ion  
Fuente: (Galindo, 2015)

## Controladores

Los dispositivos capaces de comandar las acciones requeridas por ciclista han cambiado de una forma dramática esto a favor de mejorar la capacidad de reacción de los motores eléctricos y de los circuitos, logrando así un desempeño óptimo en la bicicleta eléctrica.

El controlador es uno de los dispositivos electrónicos muy importantes de una bicicleta eléctrica ya que este ayuda al procesamiento de las señales y gestionar la energía que va hacia el motor. Adicional a esto el controlador está equipado contra las posibles caídas de tensión y corriente, el controlador de una bicicleta eléctrica procesa las órdenes directas del ciclista esto quiere decir que permite las activaciones o la inhabilitación del motor eléctrico y de cada uno de los circuitos electrónicos. El controlador gestiona directamente la energía que está en la batería ofreciendo así la potencia a través de cada uno sus circuitos hacia los elementos activos como lo son: el acelerador, motor sensor de pedaleo, palanca de freno y los interruptores pulsadores. Internamente en el controlador posee un software que recepta la información emitida por los componentes externos (sensores) mediante el procesamiento de esta información coordinar las funciones de cada uno de los elementos electrónicos para un desempeño adecuado de la bicicleta.

Según los datos obtenidos mediante las señales de salida de los sensores se aplica al motor la cantidad necesaria de corriente para el funcionamiento adecuado del motor y de los requerimientos del ciclista. Estas y otras razones son por el cual el controlador es una de las partes más importantes que comprende el circuito eléctrico de una bicicleta eléctrica.

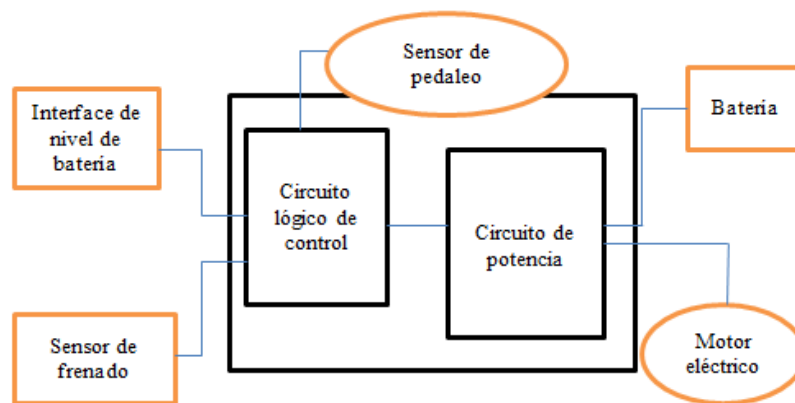


Figura 17. Circuito Eléctrico de un Controlador  
Fuente: Autor

### Características de un controlador.

Entre las principales características de un controlador tenemos las siguientes:

- La tensión nominal
- Corriente nominal
- Potencia
- Consumo

Cada uno de los puntos mencionados anteriormente ayuda al correcto desempeño de un controlador y por ende el óptimo funcionamiento de la bicicleta eléctrica.



Figura 18. Controlador  
Fuente: (Kalkhoof, 2015)

### Sensor hall en un motor Brushless

Los sensores de efecto Hall son utilizados para detectar la posición de determinados elementos o medir velocidades de rotación, una de las principales ventajas es que puede

ofrecer datos a grandes velocidades de rotación gracias a sus componentes es por estas razones que los sensores de este tipo están siendo utilizados en muchas aplicaciones como lo son: mediciones de campos magnéticos, mediciones de corrientes sin potencial, emisor de señales sin contactos entre otras.

En comparación con un motor con escobillas de corriente directa, la conmutación se la realiza por medio de carbones, por otro lado, en los motores brushless la conmutación es controlada electrónicamente. Para que se ejerza el giro de un motor eléctrico sin escobillas los bobinados son activados de una forma secuencial. Para esto es necesario conocer las posiciones de estator para así determinar cuál bobinado se debe activar después de dicha secuencia, para ello se utiliza sensores de efecto hall que están en el estator y de esta manera determinar la posición del rotor.

Los sensores de efecto hall son de vital importancia en el correcto funcionamiento de un motor eléctrico sin escobillas ya que realizan funciones valiosas tales como: determina la posición específica del rotor, mejoran el par motor de arranque, la aceleración sea suave, los sensores ayudan al control de velocidad si hay alguna deficiencia en el motor el controlador de velocidad puede utilizar esta información para apagar el motor y evitar daños.

Por lo general los motores BLDC contienen tres sensores de efecto Hall en el extremo del motor y en el estator. Cuando los polos magnéticos del rotor se exponen frente a frente de los sensores Hall, envían una señal alta o baja esto indica si el polo Norte o Sur está pasando cerca de los sensores. En base a las combinaciones de estas señales se inicia la secuencia exacta de conmutación, como se menciona en el funcionamiento los sensores y la captación de las posiciones tanto del rotor como del estator no se pronuncian partes que estén en constante rozamiento así que se evita el calentamiento y el desprendimiento de materiales capaces de provocar anomalías dentro del funcionamiento del motor.

Si se colocan los sensores de una manera incorrecta en la parte fija del motor (estator) cualquier desajuste de estos con respecto a los imanes del rotor ocasionan errores en la determinación de la posición del rotor.

## Comunicación basada en sensores de efecto hall

Para la generación de torque en el motor de una bicicleta que posee imanes permanentes se debe hacer pasar corriente por las fases del estator para ejercer la conmutación, esta conmutación debe tener una secuencia establecida para poder determinar la posición angular de cada uno de los sensores y realizar el funcionamiento de una manera secuencial. Los tres sensores de efecto hall que se encuentran dentro del motor eléctrico están posicionados a 120 grados cada uno.

Con cada una de las señales emitidas por parte de los sensores, así como también con las posiciones relativas de los mismos respecto a las fases, se puede deducir el vector de excitación a cada momento.

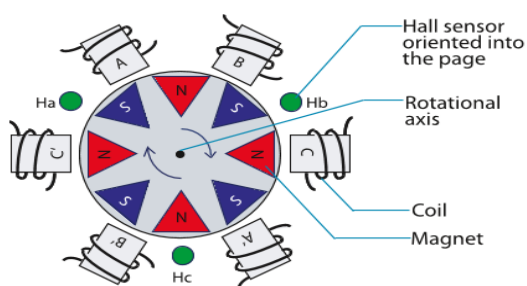


Figura 19. Ubicación de los sensores Hall  
Fuente: (Kalkhoof, 2015)

## Cargador

Se considera que una batería se encuentra cargada cuando la tensión en sus bornes es superior a un valor dado, esto dependerá del tipo de acumulador y la acidez del electrolito. Para una batería con acumuladores de litio el valor suele estar entre 3.6 a 4.2 voltios. Ahora bien, se considera una batería descargada cuando los valores dados son inferiores, dichos valores en una batería de litio están entre los 2.0 a 2.7 voltios.

La característica de carga es muy importante para la vida útil de una batería, si se somete a cargas fuertes se reduce la durabilidad de la misma.

Básicamente un cargador para baterías de litio-ion es un dispositivo electrónico que limita el voltaje y la corriente. El tiempo de carga de una batería de litio-ion es de aproximadamente tres horas en parámetros recomendados de carga, no se debe usar cargadores que no cumplan las especificaciones de carga idóneas por lo que las baterías de litio-ion operan con un voltaje superior al de 3.6 voltios, si se suministra un voltaje por encima del especificado se corre el riesgo de que alcance temperaturas elevadas y se generen incendios y el peor de los casos explosiones.

Para el almacenamiento de las baterías de litio-ion debe tener por lo menos un cuarenta por ciento de carga esto ayudará a que la vida útil de la batería sea la misma y no se reduzca.

Las baterías de litio-ion poseen internamente circuitos que ayudan a la protección de la misma en los procesos de carga y descarga, estos circuitos se lo conocen como BMS/PCM/PCB denominados sistemas de gestión de la batería.

Dichos circuitos se encargan de controlar cuando los conjuntos de celdas no deben ser descargadas cortando la tención suministrada a los dispositivos electrónicos, por otro lado, se corta la tensión de entrada una vez que la batería está cargada en su totalidad o si detectase una variación de voltaje excesivo que podría causar daños en la parte interior de las mismas.



Figura 20. Cargador de batería  
Fuente: (Galindo, 2015)

### III. METODOLOGÍA

Para la construcción de la bicicleta eléctrica se seleccionó el método exploratorio ya que se necesita visualizar de manera minuciosa el correcto funcionamiento del sistema.

#### Parámetros básicos de diseño.

A continuación, se describe la construcción y montaje de cada uno de los componentes, tanto mecánicos como electrónicos necesarios para el funcionamiento de la bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo.

En primera instancia se realiza el diseño de la estructura de la bicicleta (cuadrante), una bicicleta puede ser definida como un marco con ruedas en donde se han agregado aditamentos para mejorar la movilidad.

En la figura (21) se puede ver ilustrado los diferentes diseños de marcos usualmente utilizados en una bicicleta. Para cada uno de los diseños se puede utilizar diferentes tipos de materiales o procesos de construcción como también diferentes dimensiones, esto dependerá de que uso demos a la bicicleta, el peso del ciclista, geografía del suelo en donde se va a desplazar, la cual redundará en marcos que a simple vista tienen una apariencia similar, pero con comportamientos considerablemente distintos, esto por las condiciones y características expuestas anteriormente.

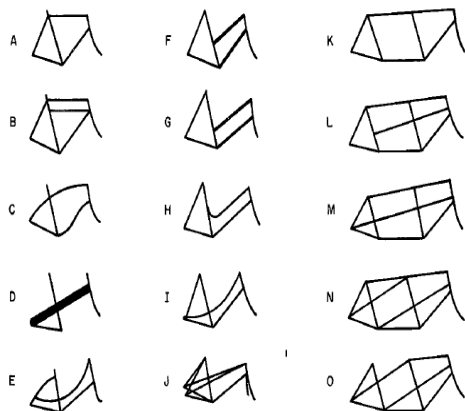


Figura 21. Diseños de marcos de una bicicleta  
Fuente: (Francisco Javier Gese, Jose Antonio Calvo, 2003)

El marco que se encuentra en el literal A es denominado como “diamante” este tipo de marco es el más utilizado y técnicamente probado, al punto en que los diseñadores y fabricantes de bicicletas no optan por crear y experimentar con nuevos diseños si no que tratan de experimentar con este diseño en cuanto a los ángulos de posición de los tubos,

tipos de uniones, espesor de los tubos entre otras. En algunos casos se puede considerar a este diseño como apropiado para bicicletas de carrera y de carga, aunque como se mencionó anteriormente debe ser dimensionado de acuerdo a la actividad que se va a realizar.

El diseño del literal B contiene un tubo horizontal adicional lo cual aumenta la resistencia del marco a ciertos tipos de esfuerzos, pero no se considera tan necesario ya que el tubo horizontal no es el que soporta la mayoría de esfuerzos en la bicicleta.

El diseño del literal C es un marco más flexible capaz de absorber pequeños impactos y resultar con un paseo un poco más agradable sobre una superficie irregular, su flexibilidad hace que no aproveche de una forma correcta toda la energía aplicada por el ciclista y en este caso también por el motor eléctrico.

El diseño del literal D la mayoría de los esfuerzos recaen sobre el tubo central, por lo que este debe ser de un diámetro superior al de los demás, por lo general este modelo es utilizado en bicicletas plegables o desarmables.

Los diseños del literal E hasta el J son considerados cómodos para las mujeres ya que facilita la conducción con vestidos, aunque con menor rigidez en su estructura. En cambio, los diseños del literal K al O se los utiliza para “Tandems”, como se puede ver en las imágenes este tipo de estructura ofrece una mayor rigidez, pero con un peso exuberante que limita la velocidad y se utilizaría una mayor cantidad de energía para la movilización.

En el campo de la ingeniería en las últimas décadas ha sobresalido la importancia de la selección de materiales, es por ello que tanto en el diseño como en la fabricación de nuevos productos se debe tomar en consideración cada una de las especificaciones técnicas de cada uno de los materiales a utilizar. Desde la primera idea del producto que se desea es el mejor material para que el producto no solo cumpla con las especificaciones, sino que también el proceso de fabricación y montaje del producto en el caso de la bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo.

La transformación de los materiales utilizados en el ciclismo va de la mano con la evolución de las bicicletas, de hecho, se puede hablar de la evolución de las bicicletas en distintos periodos según los materiales utilizados para su construcción.



### Periodo del acero

Al comienzo, la industria metalúrgica desarrollo tecnologías muy eficientes para la fabricación de tubos de aceros, fue en donde los primeros fabricantes de bicicletas experimentaron en la elaboración del cuadro para la bicicleta. Cabe recalcar que dichos diseños eran rústicos y pesados con lo que se necesitaba de una cantidad de energía mayor para ejercer el desplazamiento de la bicicleta.

### Periodo del aluminio

Una mejora que obtuvo la industria metalúrgica fue el abaratamiento de los costos de producción del aluminio, con esto se reemplazó al aluminio por el acero en la mayor parte de la bicicleta.

### Periodo de los materiales compuestos

El inicio de este periodo comenzó con el aeroespacial, lo que en nuestro medio se conoce como fibra de carbono, el proceso de fabricación y la obtención de este material lo hace d costo elevado.

Con la utilización de materiales compuestos se permite obtener algunos beneficios que no se los puede conseguir con los materiales antes mencionados como son; mejorar las propiedades mecánicas, resistencia al desgaste, tenacidad, Maquinabilidad y dureza.

Tabla 2. Propiedades de los metales

| Acero aleado con cromo y molibdeno |                        |                       | Aluminio serie 7000           |                        |                       |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]      | Límite de rotura [MPa] | Módulo de Young [GPa] | Densidad [kg/m <sup>3</sup> ] | Límite de rotura [MPa] | Módulo de Young [GPa] |
| 7800                               | 1000                   | 210                   | 2700                          | 500                    | 70                    |

| Titanio Ti-6Al-4V             |                        |                       | Composite 58% Fibra, 42% Matriz |                        |                       |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Densidad [kg/m <sup>3</sup> ] | Límite de rotura [MPa] | Módulo de Young [GPa] | Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]   | Límite de rotura [MPa] | Módulo de Young [GPa] |
| 4500                          | 1000                   | 120                   | 1500                            | 1000                   | 190                   |

Fuente: (Kalkhoof, 2015)

Para la construcción del cuadrante de la bicicleta se tomó como material principal el denominado acero al carbono ASTM A36 por cumplir con las características de durabilidad y dureza que requiere nuestro proyecto, esto se pudo determinar gracias a la

simulación realizada con el programa solidworks en donde se realizó simulaciones con diferentes tipos de materiales por lo cual el acero al carbono ASTM A36 fue el que se ajustó a los requerimientos.

El acero al carbono ASTM A 36 es un acero estructural utilizado comúnmente para la construcción de estructuras metálicas que demandan de una alta resistencia a las condiciones de fatiga e impactos, el método de unión para dicho material se lo puede realizar por tornillos, soldadura o remaches.

Tabla 3. Composición química del acero ASTM A36

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| <b>Carbono (C)</b>  | 0.26% Max |
| <b>Fosforo (P)</b>  | 0.04% Max |
| <b>Silicio (SI)</b> | 0.40% Max |
| <b>Azufre (S)</b>   | 0.05% Max |
| <b>Cobre (CU)</b>   | 0.20% Min |

Fuente: Autor

Tabla 4. Propiedades mecánicas del acero

| <b>Límite de fluencia mínimo</b> |       | <b>Resistencia a la tracción</b> |       |     |     |
|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|-----|-----|
| Mpa                              | Psi   | Psi                              |       | Mpa |     |
|                                  |       | Min                              | Max   | Min | Max |
| 250                              | 36000 | 58000                            | 80000 | 400 | 550 |

Fuente: Autor

## Simulación en Solidworks:

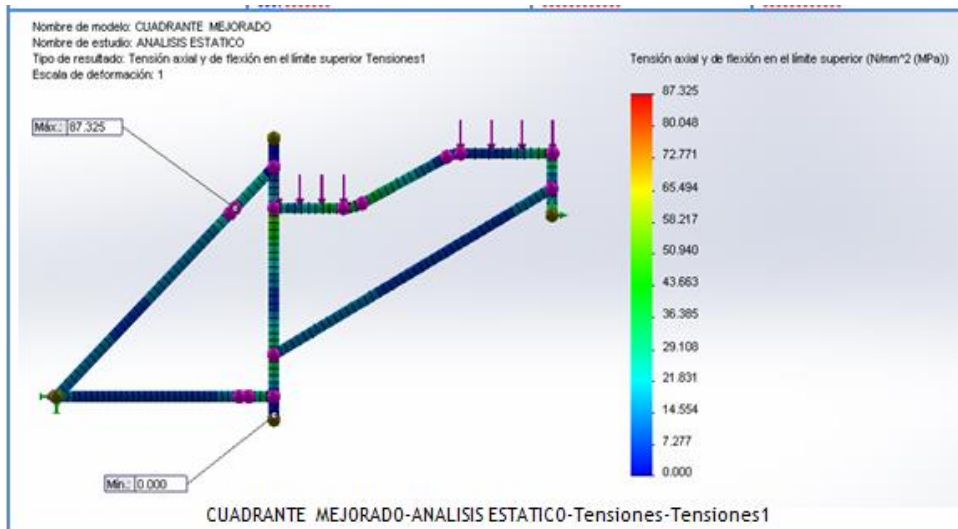


Figura 22. Cuadrante diseñado en Solidworks  
 Fuente: Autor

Para realizar las uniones de la estructura central de la bicicleta se selecciona el proceso de soldadura por arco metálico protegido que según la sociedad estadounidense de soldadura (AWS) la define como un proceso de soldadura como un arco entre un electrodo recubierto y el baño de fusión. El proceso utiliza un electrodo cubierto con fundente que a medida que se ejerce la soldadura este se quema proporcionando protección al cordón de soldadura mientras que el electrodo proporciona el material de aporte.

### Características de la bicicleta.

Las características que tiene la bicicleta que se va a construir se detallan a continuación, cabe recalcar que estas características están acordes con el modelo construido y simulado en el programa, en donde se utiliza el material adecuado para que el proyecto tenga la viabilidad y sea segura la construcción.

### Modelo creado en solidwork:

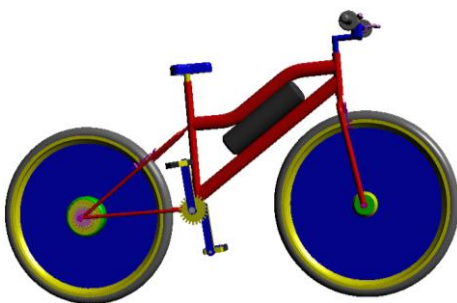


Figura 23. Modelo de bicicleta  
 Fuente: Autor

Características:

- Cuadro modificado de acero ASTM A36
- Suspensión rígida
- Rin de aluminio de 26 pulgadas
- Fresnos delanteros y posteriores mecánicos
- Transmisión de movimiento por cadena
- Peso; 70 kg

### Posturas al conducir una bicicleta

Se puede definir tres posturas del cuerpo de un ciclista al momento de conducir una bicicleta, para ello se toma en cuenta la analogía del cuerpo y la geometría del cuerpo para poder determinar los grados del cuerpo en detalle de cada inclinación.

Postura de paseo. - Este tipo de postura se lo utiliza en recorridos de baja velocidad, en esta posición la columna aparece un tanto erguida con posición a las doce en punto con relación a un reloj y no hay mucha presión sobre los brazos.



Figura 24. Postura de paseo

Fuente: (Navarro, Rui-Wamba Martija , Fernandez Campos , Altisench, Garcia Bañuelos , & Rui-Wamba, 2010)

**Postura de ruta relajada.** - se adopta para recorridos en donde se imprime velocidades medias la columna se inclina levemente apuntando a la una del reloj, cabe recalcar que para esta postura el peso va repartido directamente a las muñecas para ello se debe contar con manubrios ergonómicos evitando así problemas en dichas articulaciones.



Figura 25. Postura en ruta relajada

Fuente: (Navarro, Paco N; Rui-Wamba Martija, Javier; Camps, Alex Fernández; Oriol Altisench, Jordi Julià; García Bañuelos, Cristina; Rui-Wamba Martija, Miguel Ángel, 2010)

**Postura de ataque.** - En esta posición la velocidad es muy alta por lo que el ciclista la adopta para que la resistencia sometida por el aire no interrumpa el desplazamiento y que se genere un gasto de energía inadecuado.



Figura 26 Postura de ataque

Fuente: (Kalkhoof, 2015)

### **Principales fuerzas que soporta una bicicleta**

Para el estudio de las fuerzas que actúan en una bicicleta debemos tener en consideración el análisis de las fuerzas dinámicas y estáticas que engloban el óptimo funcionamiento de la bicicleta.

#### **Estudio estático de las fuerzas**

Para el estudio estático de las fuerzas que se ejercen en una bicicleta antes de que el ciclista comience su marcha se deben tener en cuenta:

**El peso.** - Esto se define como la masa total de la bicicleta y el ciclista por la aceleración de la gravedad ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ) para cálculos se toma en consideración ambos pesos en el centro de gravedad.

**Centro de masa o gravedad.** - Es el punto en donde se cree que se acumula todo el peso y nos sirve para analizar el movimiento del mismo.

**Las reacciones de las ruedas.** - El peso del conjunto de la bicicleta y el ciclista hacen que este peso se concentre en dos puntos de las ruedas, estos puntos situados en la rueda delantera y posterior no deben poseer resistencia al desplazamiento.

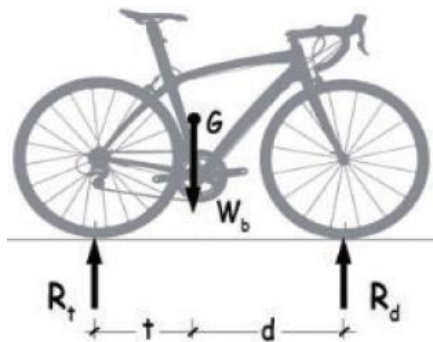


Figura 27. Reacción de rozamiento

Fuente: (Navarro, Paco N; Rui-Wamba Martija, Javier; Camps, Alex Fernández; Oriol Altisench, Jordi Julià; García Bañuelos, Cristina; Rui-Wamba Martija, Miguel Ángel, 2010)

Donde:

$W_b$ : Peso de la bicicleta

$R_t$ : Reacción del piso en la rueda trasera

$R_d$ : Reacción del piso en la rueda delantera

$T-d$ : Distancia entre la rueda delantera y posterior al centro de gravedad

### Estudio dinámico de las fuerzas que intervienen en una bicicleta

Para el estudio dinámico de estas fuerzas se toma en consideración desde que el ciclista comienza a ejercer el pedaleo ya que se generan fuerzas con el movimiento de todo el sistema.

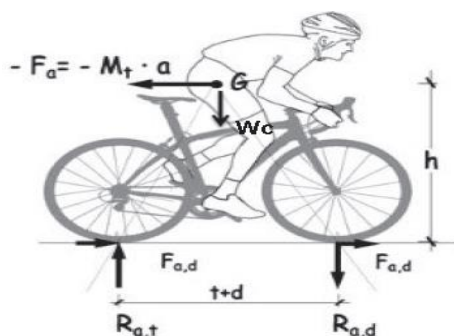


Figura 28 Fuerzas que intervienen en una bicicleta

Fuente: (Navarro, Paco N; Rui-Wamba Martija, Javier; Camps, Alex Fernández; Oriol Altisench, Jordi Julià; García Bañuelos, Cristina; Rui-Wamba Martija, Miguel Ángel, 2010)

Dónde:

Ra,t y Ra,d: Reacciones del suelo en los neumáticos delanteros y posteriores

Wc: Peso del ciclista más la bicicleta

Fa: fuerza proporcionada por el ciclista

H: Altura del punto de gravedad en conjunto

### **La fuerza de rozamiento**

Cuando el neumático de la bicicleta se expone a una superficie para su debido deslizamiento por medio de una fuerza ejercida por el ciclista la banda de rodadura presenta una resistencia al desplazamiento.

Para poder determinar esta fuerza de resistencia se toma en consideración el coeficiente de fricción para neumáticos que se encuentra en la siguiente tabla.

Tabla 5. Coeficientes de rozamiento y rodadura

| <b>Superficie de rodadura</b>     | <b>Coeficiente de rozamiento<br/>estático</b> | <b>Coeficiente de rozamiento<br/>a la rodadura</b> |
|-----------------------------------|---|--|
| <b>Hormigón o asfalto en seco</b> | 0.8-0.9                                       | 0.014  |
| <b>Hormigón o asfalto húmedo</b>  | 0.4-0.7                                       | 0.014  |
| <b>Grava</b>                      | 0.6-0.7                                       | 0.02   |
| <b>Arena</b>                      | 0.3-0.4                                       | 0.14-0.3   |
| <b>Hielo</b>                      | 0.1-0.2                                       | 0.014  |

Fuente: (Navarro, Rui-Wamba Martija , Fernandez Campos , Altisench, Garcia Bañuelos , & Rui-Wamba, 2010, pág. 73)

## Relación de transmisión

### Transmisión de movimiento en la bicicleta

La transmisión del movimiento de los pedales hacia la rueda trasera se la realiza por medio de ruedas dentadas que están acopladas a la rueda y en los pedales y una cadena metálica que une a dichos piñones, cada uno de estos piñones poseen un determinado número de dientes y diámetros diferentes para poder realizar el cambio de velocidades acordes a la superficie en donde se esté desplazando la bicicleta.

Existen diferentes tipos de mecanismos capaces de transmitir el movimiento giratorio de los pedales hacia la rueda entre ellos se tiene por correa o banda dentada, varilla y por cadena siendo esta ultima la más factible por ser económica, tener durabilidad y de fácil montaje y desmontaje.

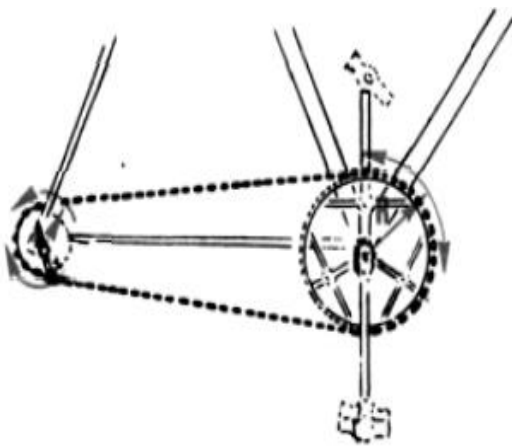


Figura 29. Transmisión por mecanismo de cadena metálica  
Fuente: (Sánchez Real, 1988)

Como se menciona anteriormente la relación de transmisión se la lleva a cabo entre los piñones del pedal (conductores) y los piñones de la rueda (conducidos). Por medio de la siguiente ecuación se puede determinar esta relación:

$$R_t = \frac{\text{número de dientes del piñon conductor}}{\text{número de dientes piñon conducido}}$$



Tabla 6. Numero de dientes de la rueda dentada

|                       |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| N. dientes conductor  | 42 | 34 | 24 |    |    |    |    |
| N. dientes conducidos | 28 | 24 | 22 | 20 | 18 | 16 | 14 |

Fuente: Autor

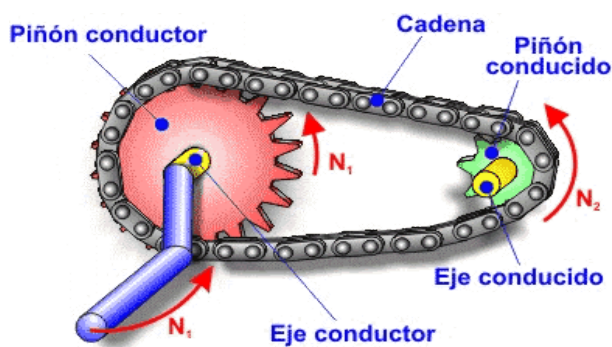
Figura 30. Conjunto de Arrastre de la Bicicleta  
Fuente: (Castro, 2012)

Tabla 7. Relación de transmisión entre piñones.

| Conductor → | 42                      | 34   | 24   |
|-------------|-------------------------|------|------|
| Conducido ↓ | Relación de transmisión |      |      |
| 28          | 1.5                     | 1.21 | 0.85 |
| 24          | 1.75                    | 1.42 | 1    |
| 22          | 1.9                     | 1.54 | 1.1  |
| 20          | 2.1                     | 1.7  | 1.2  |
| 18          | 2.33                    | 1.89 | 1.33 |
| 16          | 2.62                    | 2.13 | 1.5  |
| 14          | 3                       | 2.43 | 1.7  |

Fuente: Autor

## Motor

El motor utilizado en este proyecto es un motor eléctrico trifásico sin escobillas denominado Brushless, en su interior no posee escobillas y actúa por acción de atracción y repulsión entre las bobinas del estator y los imanes permanentes del rotor, este tipo de motor es también conocido como un motor libre de mantenimiento ya que no existe un rozamiento interno entre sus componentes tanto fijos y móviles esto se da porque el giro del motor lo comanda un controlador que con ayuda de tres sensores de efecto Hall que proporcionan la información correcta de la posición angular de los imanes, en base a esta información emitida por los sensores se activan las o la bobina correspondiente para ejercer el efecto electromagnético de repulsión generando el giro.



Figura 31. Parte externa del motor Brushless  
Fuente: Autor

## Parte interna del motor



Figura 32. Bobinados internos del motor  
Fuente: Autor

Internamente el motor eléctrico está compuesto por veinte imanes de Neodimio, estos imanes pertenecen a la familia de imanes de tierras raras, están compuestos por una

aleación de Nd, Fe y B (neodimio, hierro y boro) poseen una gran potencia, eficiencia y estabilidad en comparación con los de ferrita cuando son sometidos a campos electromagnéticos.

La conexión interna de los bobinados del motor eléctrico son de tipo triangulo, esto se pudo comprobar tomando medidas entre dos fases del motor con los cables de color; verde - amarillo; azul - verde; amarillo – azul en donde se pudo observar una lectura de 5 ohmios.



Figura 33. Medición de fases del motor  
Fuente: Autor

Tabla 8. Características del motor eléctrico

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| <b>Voltaje</b>              | <b>36V</b> |
| <b>Potencia</b>             | 250 – 350W |
| <b>Intensidad</b>           | 10A        |
| <b>Eficiencia</b>           | 75%        |
| <b>Ancho</b>                | 100 mm     |
| <b>Diámetro</b>             | 145 mm     |
| <b>Peso</b>                 | 10 lbs     |
| <b>Conectores</b>           | 3          |
| <b>Imanes de neodimio</b>   | 20         |
| <b>Fases</b>                | Trifásico  |
| <b>Conexión de bobinado</b> | Triangulo  |

Fuente: Autor

### Unidad de control electrónico del motor

La unidad de control electrónico es el encargado de procesar las señales emitidas por los sensores que se encuentran alojados en la bicicleta y gestionar la energía suministrada por la batería.

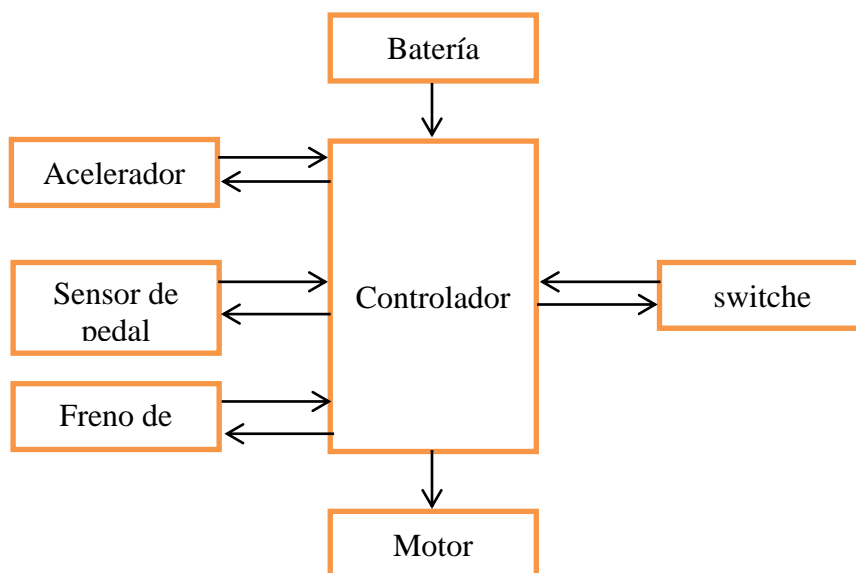


Figura 34. Partes Principales de la Bicicleta Eléctrica  
Fuente: Autor

### ¿Cómo el controlador regula la velocidad del motor?

La velocidad del motor sin escobillas es comandada por un MOSFET que define el ciclo de trabajo del mismo PWM. Cuando el controlador modifica el ciclo de trabajo el controlador tiene la capacidad de controlar la tensión media del motor, y entonces regular la velocidad, por lo general la frecuencia de un controlador es de 15k Hz, si se posee una frecuencia más alta se produciría pérdidas de conmutación y si tuviéramos menor frecuencia el motor produciría ruido fuerte e indeseable.

Básicamente el proceso de trabajo del software del controlador es el siguiente:

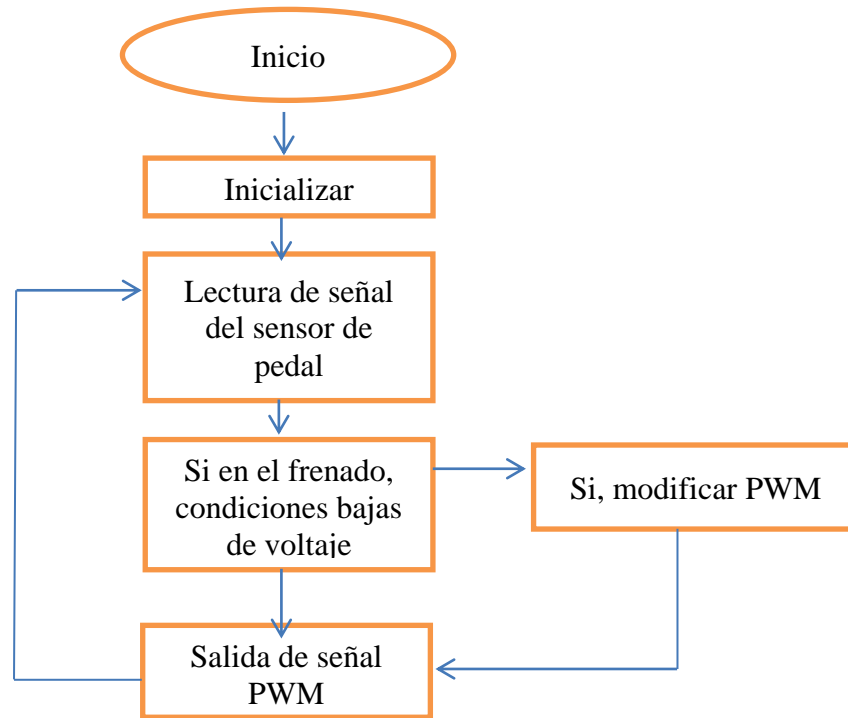


Figura 35. Proceso de Trabajo Del Software del Controlador  
Fuente: Autor

El controlador posee tres cables de color verde, amarillo y azul que son las fases del motor y 16 pines debidamente marcados para la alimentación y entrada de señales de los componentes de la bicicleta, el Angulo de fase es de 120 grados, voltaje DC 36V, potencia de 250W y corriente máxima de 17A.



Figura 36. Ubicación del controlador  
Fuente: Autor

## Diseño general

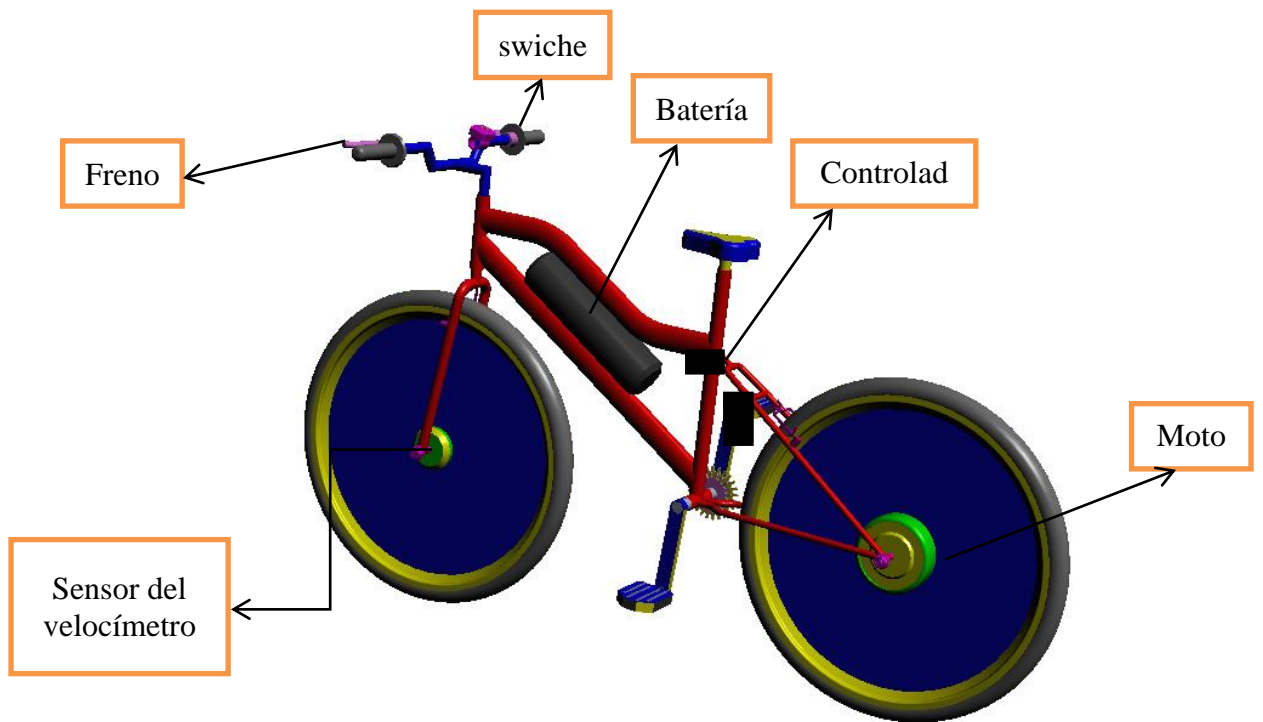


Figura 37. Ubicación de los componentes de la bicicleta  
Fuente: Autor

## Construcción y montaje de los componentes

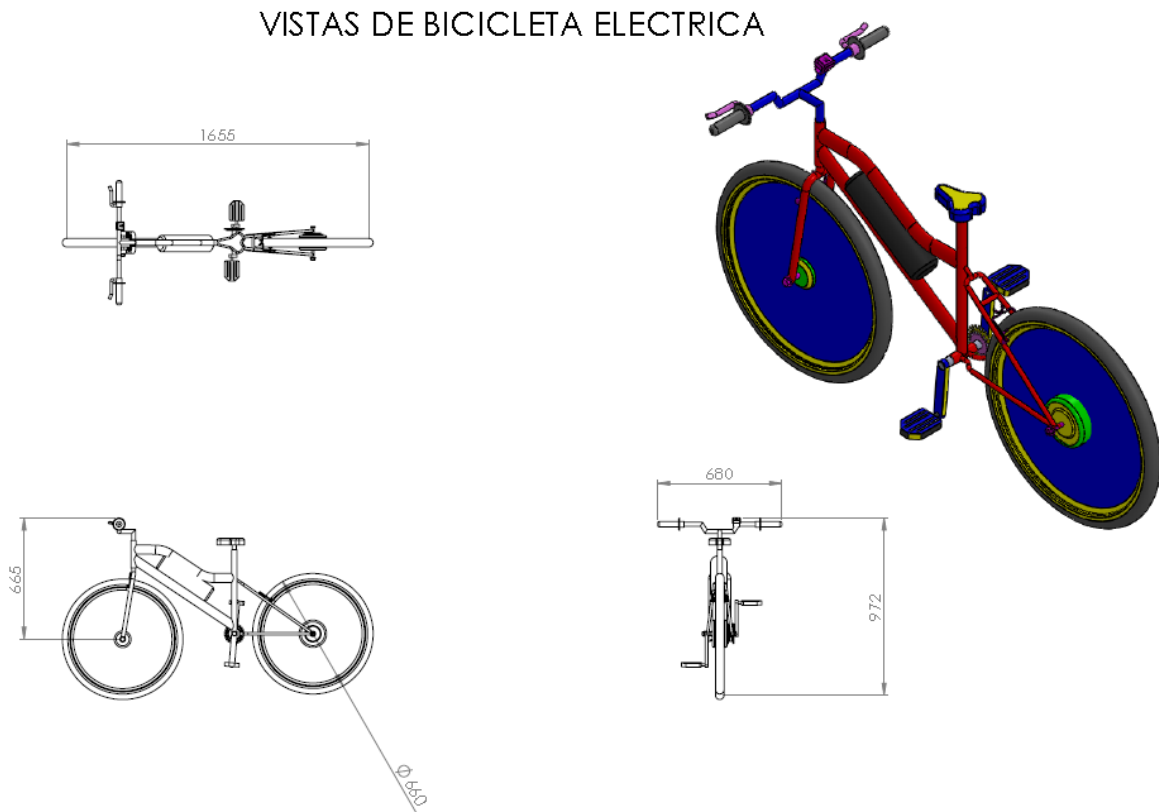


Figura 33. Planos Constructivos de la Bicicleta  
Fuente: Autor

Como se menciona en el capítulo anterior el diseño de la bicicleta se lo realiza en el programa solidworks en donde se simula las cargas potenciales que puede soportar la estructura y se toma las dimensiones casi similares a la de una bicicleta normal.

Las dimensiones establecidas para la construcción se basan en las de una bicicleta montañera en donde se considera como principal importancia la posición ergonómica del ciclista y como segundo los materiales que sean de fácil obtención en el entorno.

### Diseño del cuadrante

Se analiza la geometría de una bicicleta normal el cuadrante se suele denominar de doble diamante, esto en base a que el triángulo principal está unido al tubo de dirección y el triángulo posterior complementa la estructura del cuadro en donde se colocan los mecanismos de transmisión.

Las dimensiones geométricas de la bicicleta.

Las dimensiones de la bicicleta será de 1655 mm de largo esta medida es tomada desde un extremo del neumático delantero hasta el posterior, la altura será tomada desde la parte superior del timón hasta la parte inferior del neumático las cuales serán de 972 mm, el tubo superior del cuadrante tienen una dimensión de 50.8 mm de diámetro, 520 mm de largo por un espesor de 1 mm el tubo inferior del cuadrante tiene 590 mm de largo con un espesor y diámetro igual al superior, el tubo vertical del sillín tiene un diámetro de 29 mm con un espesor de 1 mm y 455 mm de longitud tomados desde la unión de soldadura del mecanismo de generación de movimiento (pedal) hasta el sillín, el tubo donde se coloca el mecanismo de dirección y sus respectivos rodamientos tiene una dimensión de 150 mm de largo con un diámetro de 29 mm y un espesor de 1 mm, los tubos de los tirantes y de las vainas tienen un diámetro de 15.9 mm, espesor de igual de 1 mm con una longitud de tirante de 450 mm, las longitudes de las vainas es de 430 mm.

### **Equipo de protección personal**

- Mandil de cuero
- Mangas de cuero
- Casco de soldar
- Gafas
- Mascarillas
- Guantes
- Zapatos punta de acero

### **Equipos de corte**

- Cierre de mano
- Cortadora eléctrica

### **Materiales e Insumos**

- 3000 mm de Tubo de acero al carbono A36 de 50.8 mm de diámetro
- 3000 mm de tubo de acero al carbono A36 de 15.9 mm de diámetro
- 1000 mm de tubo de acero al carbono A36 de 29 mm de diámetro



- 1 kilogramo de electrodo E6013
- 4 pliegos de lija 80, 250 y 500 cada uno
- ½ kilogramo de masilla automotriz
- 1 litro de tiñer
- 250 ml de catalizador
- 250 ml pintura base color verde
- 250 ml de pintura automotriz color roja
- 1 mastico
- 10 wipes

### Equipo de soldadura



Figura 38. Equipo de soldadura Lincoln  
Fuente: (Lincoln, 2016)

Como se menciona en el apartado anterior la unión de los metales que conforman la estructura de la bicicleta se la realiza por medio de la soldadura por arco metálico protegido (AWS) y las características del equipo se las menciona a continuación:

#### Datos técnicos:

- Alimentación: volt 50 - 60 HZ: 3Ph x 230 / 400 V
- Fusible 32 /20 Amp
- Potencia instalación 12 Kw
- Tensión en vacío 59 - 68,5 volt
- Regulación de soldar 40 - 260 Amp
- Diámetro electrodos utilizables 1,6 - 5 mm.
- Servicio 200A -35%/ 155A - 60% /120A - 100%

- Peso 66,5 Kg

Tabla 9. Relación entre Espesor- Diámetro- Intensidad

| Espesor de chapa (mm) | Diámetro electrodos (mm) | Intensidad de corriente (Am) |
|-----------------------|--------------------------|------------------------------|
| 2-4                   | 2.5-3                    | 60-100                       |
| 4-6                   | 3-4                      | 100-150                      |
| 6-10                  | 4-5                      | 150-200                      |
| >10                   | 6-8                      | 200-400                      |

Fuente: (Lincoln, 2016)

Para el diseño del cuadrante hay que tomar en consideración las fuerzas que van a ser aplicadas al mismo, estas fuerzas en un cuadrante normal serían las siguientes:

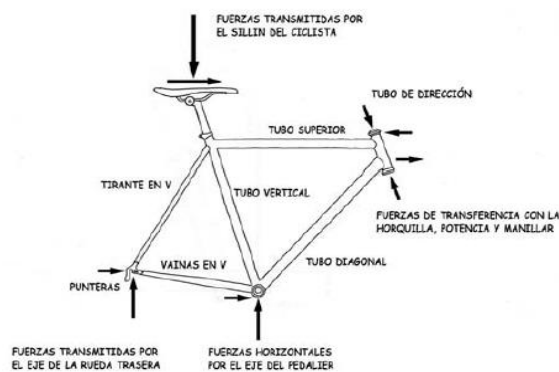


Figura 39. Fuerzas actuantes en el cuadrante normal

Fuente: (Sánchez Real, 1988)

### Construcción del cuadrante

La construcción del cuadrante se lo realiza en base al diseño antes mencionado en el programa solidworks en los cuales se especifica las longitudes del mismo.

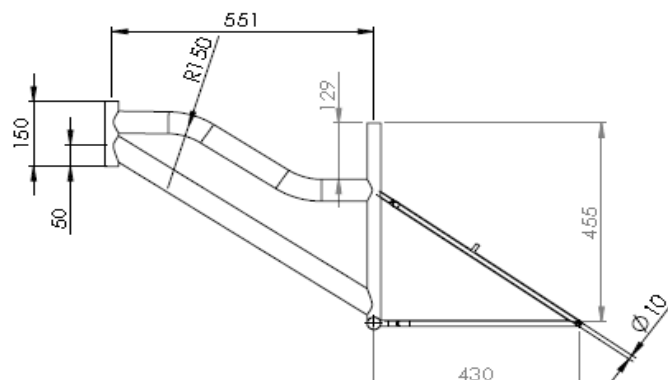


Figura 40. Dimensiones del cuadrante modificado

Fuente: Autor

Luego de este primer paso se procede a realizar la toma de medidas de las dimensiones antes mencionadas en los planos y plasmarlas en los tubos para su respectivo corte, cabe recalcar que para este proceso debemos tener en cuenta cada uno de los elementos que conforman el equipo de protección personal así como también el conocimiento sobre la utilización de los diferentes equipos y herramientas a utilizar.



Figura 41. Equipo de protección personal  
Fuente: Autor

Proceso de medición y corte de los materiales.



Figura 42 Medición de los tubos  
Fuente: Autor



Figura 43 Corte de tubos  
Fuente: Autor

Proceso de soldadura de los tubos de la estructura.



Figura 44. Soldadura de la estructura principal  
Fuente: Autor

Soldadura de los tirantes y vainas en V.



Figura 45 Soldadura del cuadrante posterior  
Fuente: Autor

Soldadura del tubo superior del cuadrante.



Figura 46. Soldadura del tubo superior del cuadrante  
Fuente: Autor



Figura 47. Orificio en el tubo superior del cuadrante  
Fuente: Autor

Cuadrante terminado.



Figura 48. Cuadrante terminado  
Fuente: Autor

### **El acabado**

Para el proceso del acabado de la estructura de la bicicleta se tomó en cuenta la superficie en donde se aplicó el cordón de soldadura, ya que en primera instancia por la temperatura y la escoria producida por el material de aporte se formaron rugosidades en donde el aspecto visual no era el correcto, para solucionar estas imperfecciones se utilizó masilla automotriz para cubrirlas y darle al acabado idóneo.



Figura 49. Rugosidad en las uniones de soldadura  
Fuente: Autor

Aplicación de masilla en las uniones de soldadura.



Figura 50. Aplicación de masilla en uniones  
Fuente: Autor

### Proceso de lijado de la masilla.

Para el proceso de lijado de masilla se recomienda realizar algunas combinaciones con abrasivos convencionales de grano fino.

En el proyecto se comenzó a desbastar la superficie con una lija P80 esto con el objetivo de obtener un rápido devastado de la superficie, luego se procedió a pasar una lija P250 para que la superficie vaya tomando un afinado adecuado y por último se pasó una lija P500 esto para la el suavizado de la superficie y borrar los arañazos producidos por las lijas pasadas anteriormente.



Figura 51 Superficie donde se aplicó el proceso de lijado  
Fuente: Autor



Figura 52. Estructura de la bicicleta terminada de lijar  
Fuente: Autor

Aplicación del recubrimiento base en le estructura del cuadrante



Figura 53. Aplicación de pintura base a la estructura  
Fuente: Autor

Para la aplicación de la pintura base y de la pintura final la distancia recomendada entre la pistola de pintura y la pieza a pintar es de entre los 150 a 300 mm, esto con el objetivo de obtener un acabado idóneo y evitar el exceso de pintura aplicada.

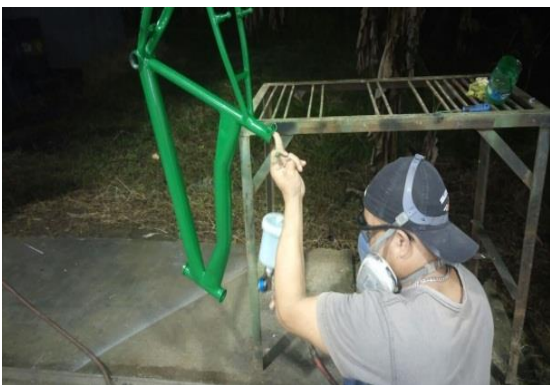


Figura 54. Aplicación de pintura base color verde  
Fuente: Autor





Figura 55. Finalización de la aplicación de la pintura base  
Fuente: Autor

La aplicación de la pintura en el cuadro de la bicicleta además de proporcionar un acabado agradable y atractivo permite la protección de la estructura contra la corrosión.



Figura 56. Aplicación de la pintura final  
Fuente: Autor



Figura 57. Cuadrante terminado  
Fuente: Autor



## Montaje de componentes de la bicicleta



Figura 58. Armado de la rueda delantera  
Fuente: Autor

En el montaje del tubo de dirección como de la horquilla que sujeta a la rueda se recomienda la aplicación de grasa en los rodamientos esto para evitar el rozamiento entre las superficies metálicas.



Figura 59. Rodamientos utilizados en el tubo de dirección  
Fuente: Autor

## Montaje de la rueda posterior con el motor eléctrico



Figura 60. Colocación de tuercas y arandelas de presión al eje de la rueda  
Fuente: Autor

Armado de rodamientos y del sistema de transmisión (pedales, cadena rueda dentada)



Figura 61. Orificio de alojamiento del eje de los pedales  
Fuente: Autor



Figura 62. Eje, pistas y rodamientos de los de pedales  
Fuente: Autor

Montaje de la base de la baria y la batería correspondiente, las características de la batería se detallan a continuación:

Tabla 10 Características de la batería

| <b>Tipo de batería</b>       | <b>Litio-ion</b> |
|------------------------------|------------------|
| <b>Voltaje máximo</b>        | 36V              |
| <b>Intensidad máxima</b>     | 9000 mAh         |
| <b>Taza de auto descarga</b> | 6% mensual       |
| <b>Numero de celdas</b>      | 6                |

Fuente: Autor



Figura 63. Base de la batería de litio-Ion  
Fuente: Autor



Figura 64. Colocación de la batería  
Fuente: Autor

### **Montaje del controlador**

El controlador está sujeto al tubo principal del cuadrante de la bicicleta mediante dos tornillos que evitan el movimiento del mismo.



Figura 65. El controlador sujeto al tubo principal del cuadrante  
Fuente: Autor

## Conexión de los componentes de la bicicleta con el controlador



Figura 66. Preparación de los terminales de cada uno de los elementos  
Fuente: Autor



Figura 67. Colocación de la caja porta terminales  
Fuente: Autor

## IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Pruebas de Funcionamiento

#### Análisis de carga de la batería

Para la verificación de carga de la batería se debe:

- Colocar el interruptor de la batería en posición ON
- Presionar el botón de color rojo que se encuentra en el manubrio del lado derecho hasta que se enciendan las luces de color verde (carga completa), naranja (media carga) y roja (carga baja) que indican el nivel de carga de la batería.
- Colocar el multímetro en los pines de color rojo y café, el voltaje debe de ser de 36V - 38V.
- Si no se encuentra dentro de este rango se recomienda poner a cargar la batería

#### Tiempo de carga de la batería

El tiempo de carga de la batería se puede determinar mediante la siguiente formula

$$\text{horas de carga} = \frac{\text{intencidad de la bateria (mAh)}}{\text{intencidad de salida del cargador (mAh)}}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$\frac{9000mAh}{2000mAh} = 4.5 \text{ horas}$$

Cabe recalcar que las baterías en general tienen una determinada pérdida de eficiencia, en este caso la pérdida de eficiencia es del 10% con lo cual el tiempo de carga tiende a prolongarse, entonces el tiempo real de carga sería de 4.95 horas.

#### Ruta establecida para las pruebas.

Para el análisis del funcionamiento de la bicicleta con asistencia al pedaleo se tomó la ruta denominada "VIA AVENTURA" la misma que se encuentra ubicada a 10 minutos de la provincia de Santo Domingo de los Tsachilas, cuenta con 14 kilometros de recorriendo de ida y vuelta partiendo desde Repsol Duragas y presenta una geografía acorde para el estudio de la misma.

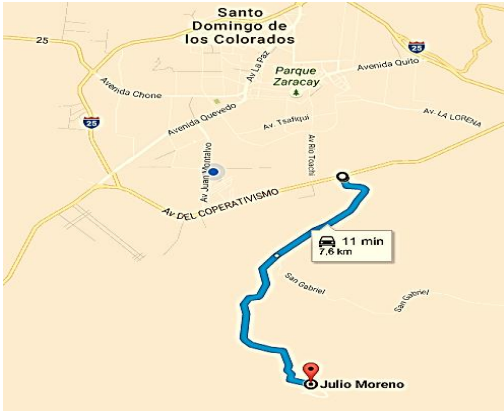


Figura 68. Ubicación geográfica de la vía aventura  
Fuente: Autor



Figura 69. Entrada de la vía aventura  
Fuente: Autor

Velocidad de la bicicleta aplicada en ruta.

La velocidad promedio tanto de ida como de regreso se calculó por medio de la siguiente fórmula:

$$velocidad = \frac{distancia\ de\ recorrido\ (km)}{tiempo\ (h)}$$

Reemplazando la ecuación tenemos:

$$\frac{14km}{0.75\ h} = 30km/h$$

Para mayor entendimiento el 0.75 h se lo extrae transformando los minutos en horas en este caso el tiempo que tardó en ir y regresar el ciclista fue de 45 min estas fueron transformados en horas.



Figura 70. Velocidad mínima aplicada en rectas  
Fuente: Autor

El promedio de un ciclista en una bicicleta estándar partiendo desde el mismo punto es de 35 minutos de ida y de regreso es de 45 minutos, esto da un tiempo de 1 hora 20 minutos en comparación con el tiempo realizado con la bicicleta con asistencia al pedaleo que fue de 45 minutos en donde se puede ver un tiempo considerable en cuanto a los dos recorridos.



Figura 71. Prueba en pendiente  
Fuente: Autor

### **Autonomía de la bicicleta**

Por medio de las pruebas realizadas a la bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo se pudo obtener una autonomía de alrededor de 35 km con una velocidad promedio de 25 km/h.

Cabe recalcar que el consumo de energía y la autonomía de la bicicleta dependerá de las veces en que se aplique el pedaleo, del trayecto de la ruta ya que en vías interurbanas se aplica una mayor velocidad por ende un mayor consumo de energía que en vías urbanas y otro punto a considerar es la geografía, ya que en pendientes que sean con grados de inclinación mayores o menores la bicicleta demandará de más energía para superar la resistencia al deslizamiento.

**PRESUPUESTO**

Tabla 11. Presupuesto

| <b>Ítem</b>  | <b>Costo Unitario</b> | <b>Costo total</b> |
|--|-----------------------|--------------------|
| <b>Derechos</b>                                    | \$ 1000               | \$ 1000            |
| <b>Equipo de computo</b>                           | \$ 600                | \$ 600             |
| <b>Papelería</b>                                   | \$ 50                 | \$ 50              |
| <b>Copias</b>                                      | \$ 50                 | \$ 50              |
| <b>Impresiones</b>                                 | \$ 50                 | \$ 50              |
| <b>Anillado</b>                                    | \$ 20                 | \$ 20              |
| <b>Internet</b>                                    | \$ 20/mes             | \$ 100             |
| <b>Movilización</b>                                | \$ 30/mes             | \$ 150             |
| <b>Motor eléctrico modelo<br/>Brushless o BLDC</b> | \$ 295                | \$ 295             |
| <b>Batería de ion-litio</b>                        | \$ 300                | \$ 300             |
| <b>Bicicleta normal</b>                            | \$ 400                | \$ 400             |
| <b>Energía eléctrica</b>                           | \$ 15/mes             | \$ 20              |
| <b>Horas de trabajo</b>                            | \$ 340/mes            | \$ 1360            |
| <b>Capacitación particular</b>                     | \$ 200/mes            | \$ 400             |
| <b>Varios</b>                                      | \$ 300                | \$ 300             |
| <b>Total</b>                                       |                       | <b>\$ 5095</b>     |

Fuente: Autor



## V. PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO

### **Bicicleta con asistencia al pedaleo**

La bicicleta con asistencia al pedaleo fue construida con una estructura en donde la hergonomia es uno de los puntos fundamentales para la correcta conduccion de la misma, como se lo muestra en la siguiente imagen:



La bicicleta eléctrica con asistencia al pedaleo posee una autonomía de 35 km y una velocidad promedio de 25 km/h esto lo logra gracias a su motor eléctrico de 350 W que está instalado en el neumático posterior que por medio de un sensor que se encuentra en el pedal incita a la activación y desactivación del mismo.

Cuenta con una batería de litio-ion con un voltaje de 36 V y 9000 miliamperios, toda esta energía y las informaciones proporcionadas por los sensores de frenado y el sensor del pedal están dirigidos por un controlador.

La altura de la bicicleta tomada desde la parte inferior del neumático hasta el manubrio de dirección es de 972 mm con un asiento regulable en donde fácilmente una persona desde los 11 años la puede conducir.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Basándose en la utilización de medios de transportes amigables con el medio ambiente y además a la contribución de la matriz productiva del país hacia el consumo de energías renovables, este proyecto es factible ya que se promueve la utilización de medios de transporte alternos que facilitan la movilidad de personas contribuyendo al deporte y a la no contaminación.
- El diseño previo del proyecto fue de vital importancia para saber si era factible la construcción con los materiales y equipos que se encuentre en el medio y evitar pérdidas de tiempo y dinero.
- El trabajo en conjunto de los elementos que conforman el circuito de asistencia de la bicicleta eléctrica cumple con lo dispuesto en las normativas de diseño y desempeño provocando así una disminución del esfuerzo físico del ciclista y recorriendo distancias más largas.
- Con la implementación de los componentes eléctricos y electrónicos que ayudan a mejorar el desplazamiento de la bicicleta se aumenta el peso de la misma, pero por la potencia y torque generado por el motor eléctrico este peso adicional pasa casi desapercibido al momento de movilizarse.
- Por medio de la creación de este proyecto se pudo poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el periodo estudiantil, además de construir un vehículo que se ajusta al modelo productivo del país evitando la generación de CO<sub>2</sub> y otros elementos contaminantes hacia la atmósfera.

## Recomendaciones

- Utilizar en la construcción del cuadrante de la bicicleta es necesario utilizar materiales adecuados ya que por una mala utilización de las mismas podríamos afectar la durabilidad, el desempeño y la resistencia de la bicicleta ya terminada.
- Evitar que la bicicleta esté expuesta a la lluvia durante mucho tiempo ya que los componentes eléctricos pueden humedecerse y provocar corto circuitos.
- Emplear un motor eléctrico de capacidad superior al utilizado en este proyecto, se mejora la potencia y el torque para vencer la resistencia que impone el grado de inclinación de una pendiente al subirla.
- Indicar como recomendación no recorrer al límite máximo de velocidad que alcanza la bicicleta ya que se está haciendo trabajar al sistema de una forma inadecuada provocando sobre calentamientos e inestabilidad de la misma.
- Verificar que la distancia entre el sensor de posición del pedal y la rueda de imanes este en 5 mm de separación, si existiese una distancia mayor el sensor no podrá detectar dicha posición y no funcionara el sistema.
- Cargar la batería de litio-ion por lo menos una vez cada 3 meses si no se estuviese utilizando la bicicleta, esto con el objetivo de preservar la durabilidad de la misma.
- Tratar de no prolongar el tiempo de carga de la batería, puede causar daños internos a las placas de litio y por ende la durabilidad disminuirá.
- Realizar la carga de la batería por lo menos 1 vez cada 3 meses si no se utiliza la bicicleta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Association, L. E. (s.f.). *LEVA*. Obtenido de "Light Electric Vehicle Association: <http://www.levassociation.com/>.
- Castro, J. (15 de Mayo de 2012). <http://concurso.cnice.mec.es/>. Recuperado el 15 de Enero de 2017, de <http://www.concurso.cnice.mec.es/>
- cuadro, C. (2012). *Vector Representation of Three-Phase Variables*. Bogota.
- Drais, K. (25 de Julio de 2006). [karl-drais.de](http://www.karl-drais.de). Recuperado el 11 de Enero de 2017, de [http://www.karl-drais.de/es\\_biografia%20Karl%20Drais.pdf](http://www.karl-drais.de/es_biografia%20Karl%20Drais.pdf)
- Enríquez, G. (2004). *El libro practico de los generadores, transformadores y motores eléctricos*. México: Limusa SA.
- Etapaindie. (20 de Julio de 2013). [etapaindie.com](http://www.etapaindie.com). Recuperado el 14 de Enero de 2017, de <http://www.etapaindie.com/>
- EUROPEA, E. P. (18 de MARZO de 2002). [eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu). Obtenido de <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0024:ES:HTML>
- Francisco Javier Gese, Jose Antonio Calvo. (2003). *Estudios Mediante Elementos Finitos de los esfuerzos en una Bicicleta* . Madrid España.
- Galindo, O. D. (2015). *diseño e implementación de un sistema de tracción y bogota-colombia*.
- Gonzales, A. (6 de Junio de 2015). [Docsetools.com](http://docsetools.com). Obtenido de [Docsetools.com](http://docsetools.com): [http://docsetools.com/articulos-educativos/article\\_8605.html](http://docsetools.com/articulos-educativos/article_8605.html)
- Herlihy, D. V. (2004). *Bicycle The History*. USA.
- Kalkhoof, B. (8 de Junio de 2015). [manuals.derby-cycle.com](http://manuals.derby-cycle.com). Obtenido de [manuals.derby-cycle.com](http://manuals.derby-cycle.com): [http://manuals.derby-cycle.com/manuals/raleigh/es\\_raleigh\\_2013\\_20130430\\_04.pdf](http://manuals.derby-cycle.com/manuals/raleigh/es_raleigh_2013_20130430_04.pdf)
- Lincoln. (2 de Febrero de 2016). [lincolnelectric](http://www.lincolnelectric.com). Recuperado el 13 de Enero de 2017, de <http://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/Documents/CATALOGO2016digital.pdf>
- Navarrete, C. &. (2012). *Escuela Politécnica Nacional. Diseño y construcción de un sistema regenerativo de energía con ultra capacitores para una bicicleta. (tesis inédita de grado)*. Quito: Ninguna.
- Navarro, P. N., Rui-Wamba Martija , J., Fernandez Campos , A., Altisench, O., Garcia Bañuelos , C., & Rui-Wamba, M. (2010). *Ingeniería de la bicicleta* . Madrid España : Esteyco.

- Navarro, Paco N; Rui-Wamba Martija, Javier; Camps, Alex Fernández; Oriol Altisench, Jordi Julià; García Bañuelos, Cristina; Rui-Wamba Martija, Miguel Ángel. (2010). *La ingeniería de la Bicicleta*. Madrid, España: Esteyco.
- Neoteo, A. (7 de Abril de 2010). *www.neoteo.com*. Obtenido de *www.neoteo.com*: <http://www.neoteo.com/motores-brushless-blcd/>
- Nieves, C. &. (25 de Noviembre de 2015). *digital.csic.es*. Obtenido de *digital.csic.es*: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/15686/1/ctslibat.pdf>
- Ordoñez, F. &. (2010). *informe final de diseño y construcción de tres prototipos de sistemas de adaptación de un motor para bicicleta*. Quito: Ninguna.
- Pellini, C. (10 de Octubre de 2014). *historiasybiografias.com*. Recuperado el 11 de Enero de 2017, de *historiasybiografias.com*: <http://www1.historiaybiografias.com/bicicleta/>
- Richard, P. (25 de Marzo de 2005). *www.bikeradar.com*. Obtenido de *www.bikeradar.com*: <http://www.bikeradar.com/commuting/gear/category/bikes/electric/product/review-sunstar-s03-kit-12-2-5ah-kit-46004/>
- Rodrigo, A. &. (21 de Febrero de 2009). *Plan de negocios para el ensamble y comercialización de una bicicleta eléctrica auto sustentable ecoleta*. Obtenido de *esis.bnct.ipn.mx*: <http://tesis.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/7482/1/I7.1907.pdf>
- Rojas Miranda, F. (2013). *Diseño y Desarrollo de Vehículos Eléctricos Livianos de Dos Ruedas*. Chile: Escuela de Diseño .
- Sánchez Real, J. (1988). *La física de la bicicleta*. Madrid: De la Torre.
- Santibañe, A. (8 de Octubre de 2010). *historibicicleta.blogspot.com*. Recuperado el 11 de Enero de 2017, de <http://historibicicleta.blogspot.com/>