



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONOCICLO  
ELÉCTRICO**

**AUTORES: XAVIER OMAR CHUQUIMARCA MEJÍA  
MARCOS DANIEL PERALTA ARÁUZ**

**DIRECTOR: ING. GUIDO TORRES  
CODIRECTOR: ING. HÉCTOR TERÁN**

**LATACUNGA**

**2015**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICADO**

Ing. Guido Torres

Ing. Héctor Terán

**CERTIFICAN**

Que el trabajo titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONOCICLO ELÉCTRICO**” realizado por los Sres. Xavier Omar Chuquimarca Mejía y Marcos Daniel Peralta Aráuz, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que contribuirá a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, se recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizamos a los Sres.: Xavier Omar Chuquimarca Mejía y Marcos Daniel Peralta Aráuz, que lo entreguen al Ing. Juan Castro, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

Latacunga, Junio, 2015.

---

Ing. Guido Torres  
**DIRECTOR**

---

Ing. Héctor Terán  
**CODIRECTOR**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros: Xavier Omar Chuquimarca Mejía  
Marcos Daniel Peralta Aráuz

**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONOCICLO ELÉCTRICO”** ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Junio 2015.

---

Xavier Chuquimarca Mejía.  
C.C.: 1723657530

---

Marcos Peralta Aráuz.  
C.C.: 1723337992

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros: Xavier Omar Chuquimarca Mejía  
Marcos Daniel Peralta Aráuz

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONOCICLO ELÉCTRICO**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, junio 2015.

---

Xavier Chuquimarca Mejía.  
C.C.: 1723657530

---

Marcos Peralta Aráuz.  
C.C.: 1723337992

## ***DEDICATORIA***

*A mi abuelo Rubén Mejía.*

*Porque fuiste el mejor, siempre te recordaré como el hombre inteligente, fuerte, hábil y dulce que a pesar de tu temperamento de ti solo recibí amor y apoyo incondicional.*

*A mi abuela Eulalia Morales.*

*Porque fuiste mi primer amor, una madre noble, abnegada, cariñosa, por protegerme siempre, por ser un ejemplo y porque nunca habrá otra persona igual. Además porque desde que inicié esta meta te lo prometí.  
Lo logramos Viejita!*

*A mi madre Silvana Mejía.*

*Por estar siempre conmigo apoyándome en mis decisiones además porque eres una madre luchadora que alumbras mi sendero con tus consejos y siempre me fortaleces con tu confianza.  
A ti te lo debo todo madrecita querida, madrecita adorada!*

*Xavier Omar*

## ***DEDICATORIA***

*Dedico el resultado de mis estudios a: Mis padres, Fernando Peralta y Mónica Aráuz por ser quienes me apoyaron incondicionalmente en cada momento y pasaje de mi vida, dándome su apoyo para seguir a delante para establecerme como profesional y como persona.*

*A mis hermanos y hermana por darme siempre su cariño llenándome de palabras de valentía y superación, dejando a un lado sus problemas para dedicarle tiempo a los míos.*

*A mis sobrinos por ser la fuente que me motiva a superarme en cada momento de mi vida y lograr mis metas propuestas.*

*A mis compañeros y amigos por ser quienes, compartimos varias anécdotas dentro y fuera de la Universidad y constituyeron a culminar esta gran meta.*

*Marcos Daniel Peralta Aráuz*

## ***AGRADECIMIENTO***

*A Dios por permitirme alcanzar esta meta a pesar de las dificultades, protegerme con su infinita bondad y ser mi refugio en los momentos de soledad. Además por regalarme la fortuna de haber tenido unos maravillosos abuelos y una madre ejemplar.*

*A mis abuelos Rubén y Eulalia, gracias abuelitos por todos los momentos a su lado y guiarme siempre por el buen camino.*

*A mis padres por creer siempre en mi y apoyarme en las dificultades a pesar de mis defectos.*

*A mis tíos Celso, Armando, Bayardo, Violeta, Orlando, Carmita y Elena por inculcarme valores desde pequeño para ser una persona correcta, apoyarme en todo sentido, estar pendientes de mi y acogerme como un hermano.*

*A mis compañeros con quienes tuve la suerte de compartir buenos momentos, en especial a Diego Andrade, Eduardo Guevara, Wilson Vargas y Daniel Peralta por demostrar que son unos amigos extraordinarios. En especial a Daniel y su familia por el aprecio, la confianza y la preocupación brindada durante el desarrollo de este proyecto.*

*A mis profesores por compartir sus conocimientos, amistad y apoyo en la asesoría de este proyecto de tesis.*

*Xavier Omar*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por darme la vida y el deseo de superación, por darme la salud para no decaer en esta etapa muy importante de mi vida, por guiarme en el camino del bien y siempre llevarme de su mano.*

*A mi madre, por ser mi pilar y mi soporte en la vida, por ser mi amiga y confidente, por estar a mi lado en todos los momentos buenos y malos.*

*A mi padre, por enseñarme el valor de la vida y de las cosas, por toda su paciencia para educarme y prepararme para el futuro.*

*Mi familia por ser el motor de mi esfuerzo, por darme la fuerza y la valentía de enfrentar los problemas, por estar pendientes y dispuestos a darme la mano en todo momento.*

*A mis amigos Wilson y Omar por ser como hermanos que siempre nos apoyamos mutuamente para superar cada obstáculo.*

*A mis profesores por enseñarme el conocimiento y ser grandes amigos forjándome devoción a mi carrera.*

*Marcos Daniel Peralta Aráuz*



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>PORTADA</b> .....	i
<b>CERTIFICADO</b> .....	ii
<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD</b> .....	iii
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	iv
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xiii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xiv
<b>RESUMEN</b> .....	xvii
<b>ABSTRACT</b> .....	xviii
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.1.1 Tema.....	1
1.1.2 Antecedentes .....	1
1.1.3 Planteamiento del problema .....	2
1.1.4 Descripción resumida del proyecto .....	2
1.1.5 Justificación e importancia .....	3
1.1.6 Objetivos del proyecto .....	3
1.1.7 Metas.....	4
1.1.8 Hipótesis .....	5
1.1.9 Variables de la investigación.....	5
1.2 Marco teórico .....	5
1.2.1 Estado del medio ambiente.....	5
1.2.2 Vehículos eléctricos .....	7
1.2.3 Breve historia del monociclo .....	8
1.2.4 El monociclo eléctrico y sus componentes.....	9
1.2.5 Neumático y rueda de apoyo .....	10
1.2.6 Chasis.....	11

1.2.7 Carrocería .....	12
1.2.8 Motor eléctrico dc.....	13
1.2.9 Baterías.....	17
1.2.10 Microcontrolador .....	18
1.2.11 Giroscopio y acelerómetro .....	20
1.2.12 Control electrónico .....	22
1.2.13 Programación.....	23
1.2.14 Control del motor .....	23
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>25</b>
<b>2. DISEÑO MECÁNICO .....</b>	<b>25</b>
2.1 Introducción .....	25
2.2 La casa de la calidad .....	26
2.2.1 Necesidades del cliente .....	27
2.2.2 Características de diseño.....	27
2.2.3 Relación entre necesidades cliente y características de diseño .....	27
2.2.4 Relación entre los cómo's.....	28
2.2.5 Análisis de los qué's .....	28
2.2.6 Análisis de los cómo's .....	28
2.3 Diseño asistido por computadora.....	32
2.3.1 Criterio de máxima tensión de von mises .....	32
2.3.2 Factor de seguridad .....	32
2.4 Requerimientos de diseño .....	33
2.5 Elementos de la estructura .....	33
2.5.1 El neumático .....	34
2.5.2 La dirección.....	34
2.5.3 El chasis .....	35
2.6 Análisis de esfuerzos .....	38
2.6.1 Soporte del motor .....	38
2.6.2 Soporte del asiento y columna de enlace .....	41
2.6.3 Horquilla y plaquetas .....	43
2.6.4 Pedales.....	44
2.6.5 Rueda de soporte .....	46
2.7 Cargas .....	46
2.7.1 Cargas muertas .....	46
2.7.2 Cargas vivas .....	47

2.7.3	Fuerza total por las cargas en el prototipo considerando un factor crítico.....	48
2.7.3	Fuerzas eje delantero y eje posterior .....	49
2.7.4	Configuración del monociclo .....	50
2.7.5	Distribución de masas.....	51
a)	Masa total eje delantero .....	51
b)	Masa total eje posterior .....	51
2.8	Ergonomía .....	52
2.8.1	Ergonomía geométrica.....	53
2.9	Análisis funcional .....	55
2.9.1	Módulo 1. Sistema estructural.....	55
2.9.2	Módulo 2. Sistema de dirección .....	56
2.9.3	Módulo 3. Sistema de frenos .....	56
2.9.4	Módulo 4. Sistema de accionamiento .....	57
2.9.5	Módulo 5. Sistema eléctrico .....	57
2.10	Diagrama de sub – sistemas.....	57
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>59</b>
<b>3.</b>	<b>CIRCUITO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.....</b>	<b>59</b>
3.1	Diseño del circuito eléctrico .....	59
3.1.1	Cálculos del motor .....	59
3.1.2	Selección del motor .....	63
3.1.3	Curvas del motor seleccionado.....	64
3.1.4	Selección de batería .....	65
3.1.5	Conexión en serie de baterías .....	67
3.1.6	Selección del cargador de baterías.....	68
3.1.7	Diseño de luz principal .....	69
3.2	Diseño del circuito electrónico .....	69
3.2.1	Controlador del motor .....	70
3.2.2	Selección de placa arduino uno r3.....	71
3.2.3	Giroscopio/acelerómetro .....	73
3.3	Diagrama de conexiones del monociclo eléctrico .....	74
3.3.1	Diagrama de conexión con sensor giroscópico.....	74
3.3.2	Diagrama de conexión con acelerador electrónico. ....	75
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>77</b>
<b>4.</b>	<b>CONSTRUCCIÓN Y EMSAMBLAJE .....</b>	<b>77</b>

4.1	Construcción de los soportes del motor .....	77
4.2	Construcción del conjunto de la horquilla .....	80
4.2.1	Horquilla y pedales .....	80
4.2.2	Construcción de las plaquetas .....	82
4.4	Construcción de la columna de enlace y el soporte del asiento.....	85
4.5	Construcción de la carrocería .....	87
4.5.1	Componentes en fibra de vidrio .....	87
4.5.3	Pintura.....	90
4.5.2	Construcción del asiento.....	93
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>95</b>
<b>5.</b>	<b>PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS .....</b>	<b>95</b>
5.1	Prueba de estabilidad .....	95
5.2	Prueba de velocidad máxima .....	96
5.3	Prueba de funcionamiento en diferentes terrenos .....	98
5.4	Prueba del sistema de dirección .....	100
5.5	Prueba del acelerador electrónico .....	100
5.6	Prueba de aceleración por sensor giroscópico .....	101
5.7	Prueba sistema eléctrico.....	102
5.8	Prueba de autonomía de baterías.....	103
5.9	Prueba en pendiente.....	104
<b>CAPÍTULO VI .....</b>		<b>107</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>107</b>
6.1	Conclusiones .....	107
6.2	Recomendaciones .....	109
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>110</b>
<b>NETGRAFÍA.....</b>		<b>111</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>112</b>
<b>ANEXO 1: PLANOS DE CONSTRUCCIÓN</b>		
<b>ANEXO 2: ARTÍCULO CIENTÍFICO</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2. 1</b>	Necesidades del cliente y ponderación .....	29
<b>Tabla 2. 2</b>	Cargas muertas del monociclo .....	46
<b>Tabla 2. 3</b>	Cargas vivas del monociclo .....	47
<b>Tabla 2. 4</b>	Distribución de fuerzas .....	50
<b>Tabla 3. 1</b>	Peso estipulado del monociclo eléctrico.....	60
<b>Tabla 3. 2</b>	Especificaciones técnicas del motor .....	62
<b>Tabla 3. 3</b>	Características de los motores .....	63
<b>Tabla 3. 4</b>	Matriz de selección del motor .....	64
<b>Tabla 3. 5</b>	Características de la batería ViperTek 12 V/ 7 Ah.....	67
<b>Tabla 3. 6</b>	Especificaciones técnicas cargador de batería.....	69
<b>Tabla 3. 7</b>	Especificaciones técnicas controlador del motor Brushless .....	70
<b>Tabla 3. 8</b>	Especificaciones técnicas placa arduino uno R3.....	72
<b>Tabla 3. 9</b>	Especificaciones técnicas MPU-6050.....	74
<b>Tabla 4. 1</b>	Tabla de planchas de acero .....	77
<b>Tabla 4. 2</b>	Diagrama de procesos del soporte del motor .....	79
<b>Tabla 4. 3</b>	Características del tubo estructural ATM A500 .....	80
<b>Tabla 4. 4</b>	Características de acero laminado ATM A 36 .....	82
<b>Tabla 4. 5</b>	Diagrama de procesos de horquilla y pedales.....	84
<b>Tabla 4. 6</b>	Diagrama de procesos de la columna de enlace .....	86
<b>Tabla 4. 7</b>	Diagrama de procesos carrocería .....	92
<b>Tabla 4.8</b>	Diagrama de procesos del asiento.....	94
<b>Tabla 5. 1</b>	Pruebas de estabilidad .....	96
<b>Tabla 5. 2</b>	Prueba de velocidad máxima .....	97
<b>Tabla 5. 3</b>	Datos de pruebas .....	98
<b>Tabla 5. 4</b>	Prueba de funcionamiento en diferentes terrenos .....	99
<b>Tabla 5. 5</b>	Prueba de dirección.....	100
<b>Tabla 5. 6</b>	Prueba de acelerador electrónico.....	101
<b>Tabla 5. 7</b>	Prueba de sensor giroscópico .....	102
<b>Tabla 5. 8</b>	Prueba de baterías .....	103
<b>Tabla 5. 9</b>	Prueba de inclinación del monociclo.....	104
<b>Tabla 5.10</b>	Ficha técnica.....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. 1:</b> Causas de la contaminación ambiental en Ecuador .....	6
<b>Figura 1. 2:</b> Clasificación de los vehículos eléctricos .....	8
<b>Figura 1. 3:</b> Formas de monociclos.....	9
<b>Figura 1. 4:</b> Diseños de monociclos eléctricos .....	10
<b>Figura 1. 5:</b> Componentes principales del monociclo Solowheel .....	10
<b>Figura 1. 6:</b> Monociclo eléctrico Honda UNI-CUB .....	11
<b>Figura 1. 7:</b> Clasificación de los motores de corriente continua.....	14
<b>Figura 1. 8:</b> Curva de velocidad/par torsional de un motor DC tipo serie..	14
<b>Figura 1. 9:</b> Curva velocidad/par torsional de un motor DC tipo serie.....	15
<b>Figura 1. 10:</b> Curvas de funcionamiento de un motor sin escobillas .....	15
<b>Figura 1. 11:</b> Curva de velocidad/par torsional de un motor DC shunt.....	16
<b>Figura 1. 12:</b> Velocidad/torque de un motor DC de imán permanente .....	16
<b>Figura 1. 13:</b> Curva velocidad/par torsional de un motor DC compuesto....	17
<b>Figura 1. 14:</b> Distintos tamaños y bornes de baterías .....	18
<b>Figura 1. 15:</b> Disposición de pines microcontrolador Atmega 328 .....	19
<b>Figura 1. 16:</b> MPU-6050.....	20
<b>Figura 1. 17:</b> Placa arduino uno con programación libre.....	22
<b>Figura 1. 18:</b> Programación de un microcontrolador .....	23
<b>Figura 1. 19:</b> Controlador de un motor sin escobillas.....	24
<b>Figura 2. 1:</b> Fases de diseño.....	25
<b>Figura 2. 2:</b> Esquema de la Casa de la Calidad.....	29
<b>Figura 2. 3:</b> La Casa de la Calidad del monociclo eléctrico .....	30
<b>Figura 2. 4:</b> Modelado del motor acoplado en el neumático.....	34
<b>Figura 2. 5:</b> Ángulo de inclinación-distancia de avance de la dirección ....	35
<b>Figura 2. 6:</b> Modelado del chasis .....	36
<b>Figura 2. 7:</b> Percentiles de masa corporal .....	37
<b>Figura 2. 8:</b> Dimensiones del motor eléctrico .....	38
<b>Figura 2. 9:</b> Soporte del motor .....	38
<b>Figura 2. 10:</b> Distancia del eje del motor a las perforaciones .....	39
<b>Figura 2. 11:</b> Análisis de Von Mises del soporte del motor .....	40
<b>Figura 2. 12:</b> Modelado del soporte del asiento y la barra de enlace.....	41

<b>Figura 2. 13:</b> Análisis de Von Mises en la barra de enlace y el asiento .....	42
<b>Figura 2. 14:</b> Componentes de la horquilla .....	43
<b>Figura 2. 15:</b> Análisis FEM Von Mises en la horquilla y plaquetas.....	44
<b>Figura 2. 16:</b> Pedal.....	45
<b>Figura 2. 17:</b> Análisis FEM Von Mises en el pedal.....	45
<b>Figura 2. 18:</b> Distancia de los ejes al centro de masa.....	49
<b>Figura 2. 19:</b> Sistema máquina persona .....	52
<b>Figura 2. 20:</b> Características dimensionales del cuerpo humano.....	53
<b>Figura 2. 21:</b> Posición de pilotaje en una moto .....	54
<b>Figura 2. 22:</b> Posición de conducción .....	55
<b>Figura 2. 23:</b> Módulo sistema estructural .....	56
<b>Figura 2. 24:</b> Módulo del sistema de dirección.....	56
<b>Figura 2. 25:</b> Módulo sistema de frenos.....	56
<b>Figura 2. 26:</b> Módulo sistema de accionamiento.....	57
<b>Figura 2. 27:</b> Módulo sistema eléctrico .....	57
<b>Figura 2. 28:</b> Subsistemas .....	58
<b>Figura 3. 1:</b> Curvas características de motor 9continent.....	64
<b>Figura 3. 2:</b> Batería marca ViperTek.....	66
<b>Figura 3. 3:</b> Conexión de baterías en software live wire .....	67
<b>Figura 3. 4:</b> Conexión serie de baterías de la misma marca y modelo .....	68
<b>Figura 3. 5:</b> Cargador de baterías .....	68
<b>Figura 3. 6:</b> Circuito de luz principal.....	69
<b>Figura 3. 7:</b> Controlador del motor Brushless.....	70
<b>Figura 3. 8:</b> Diagrama eléctrico de la placa arduino uno.....	71
<b>Figura 3. 9:</b> Componentes principales del Arduino uno R3.....	73
<b>Figura 3. 10:</b> Giroscopio/Acelerómetro MPU-6050 .....	73
<b>Figura 3. 11:</b> Diagrama de conexiones del monociclo eléctrico .....	75
<b>Figura 3. 12:</b> Diagrama de conexiones del monociclo eléctrico .....	76
<b>Figura 4. 1:</b> Soporte del motor .....	78
<b>Figura 4. 2:</b> Doblado por compresión.....	81
<b>Figura 4. 3:</b> Horquilla y pedales .....	81
<b>Figura 4. 4:</b> Maquinado de las plaquetas .....	83
<b>Figura 4. 5:</b> Plaqueta derecha.....	83

<b>Figura 4. 6:</b>	Base del asiento y columna de enlace.....	85
<b>Figura 4. 7:</b>	Molde de cartón para los pedales .....	87
<b>Figura 4. 8:</b>	Aplicación de la cera desmoldante en el cartón.....	88
<b>Figura 4. 9:</b>	Aplicación de la fibra de vidrio al molde.....	88
<b>Figura 4. 10:</b>	Fibra de vidrio humedecida.....	89
<b>Figura 4. 11:</b>	Masillado y lijado de las piezas.....	89
<b>Figura 4. 12:</b>	Estructura con pintura anticorrosiva.....	90
<b>Figura 4. 13:</b>	Pintura en la carrocería.....	91
<b>Figura 4. 14:</b>	Monociclo eléctrico terminado. ....	91
<b>Figura 4. 15:</b>	Dobladora de rodillos .....	93
<b>Figura 4. 16:</b>	Estructura del asiento acoplada a la carrocería .....	93
<b>Figura 5. 1:</b>	Prueba de estabilidad .....	96
<b>Figura 5. 2:</b>	Prueba de velocidad máxima.....	97
<b>Figura 5. 3:</b>	Escenario de pruebas .....	98
<b>Figura 5. 4:</b>	Inclinación en prueba de diferentes terrenos .....	99
<b>Figura 5. 5:</b>	Sistema de dirección.....	100
<b>Figura 5. 6:</b>	Funcionamiento por acelerador electrónico. ....	101
<b>Figura 5. 7:</b>	Ángulo de inclinación del conductor.....	102
<b>Figura 5. 8:</b>	Comprobación de luz principal.....	103
<b>Figura 5. 9:</b>	Comprobación de baterías cargadas .....	104
<b>Figura 5. 10:</b>	Prueba en pendiente.....	105



## RESUMEN

Los efectos climáticos de la contaminación ambiental ocasionada en gran parte por las emisiones de gases de la combustión en los automotores y los inconvenientes de movilidad y traslado de las personas debido al tráfico vehicular son motivo de preocupación que han impulsado a la industria automotriz a desarrollar nuevos diseños de prototipos a base fuentes de energía alternativa. En el presente documento se describe posteriormente de manera detallada los motivos, metas, parámetros, etapas y procedimientos tanto técnicos como de calidad considerados para el diseño y construcción de un monociclo eléctrico. Cabe señalar que previamente a la presentación del diseño final se realizó un proceso minucioso de selección de los elementos que conforman tanto el sistema mecánico (neumático y estructura metálica) y los sistemas eléctrico y electrónico (motor, control del motor, sensores y microcontrolador) además los análisis mediante simulación con los programas SolidWorks, LiveWire y Proteus y los cálculos respectivos. El prototipo consiste en una estructura metálica tubular de acero con un bajo centro de gravedad para su mayor estabilidad, un motor eléctrico tipo brushless adaptado a un neumático delantero y una rueda posterior de soporte. Funciona de dos maneras, la primera con un potenciómetro en el manillar derecho y la segunda con un acelerómetro sujeto al pecho del conductor que acelera y desacelera el prototipo en función de los grados de inclinación de la persona que lo conduzca. La carrocería está construida con fibra de vidrio para brindarle estética al diseño y proteger de agentes externos a los componentes electrónicos. Las dimensiones son de 60 cm de longitud y una altura de 80 cm.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **MONOCICLO ELÉCTRICO**
- **CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**
- **VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

## **ABSTRACT**

The climatic effects of global contamination caused in great part by gas emission residues from automobiles and the inconvenience of high traffic is a reason for which automobile industry is pushed to develop new car designs and prototypes based on alternative fuel. In this paper, it will be presented in detail the reasons, goals, parameters, stages and procedures taken into consideration in the design and construction of an electric unicycle. Of note, these was a meticulous selection of element that forms the mechanical (pneumatic and metallic structure) and electrical/electronic systems (motor, sensors, microcontroller) including simulation analysis with SolidWorks, Live Wire and Proteus programs. The prototype consists of a steal tubular metallic structure with a low center of gravity for added stability, an electric motor brushless type adapted to a frontal pneumatic and a posterior Wheel for support. It Works in two ways; the first one is with a potentiometer on the right side and the second with an accelerometer attached to the operator chest that accelerates/decelerate the prototype using the operator's body inclination as a guide. The prototype is made of fiberglass which offers a better look to the design and protects the electronic components from the elements. It's dimensions are 60 cm long x 80 cm high.

### **KEYWORDS:**

- **ELECTRIC UNICYCLE**
- **ENVIRONMENTAL POLLUTION**
- **ELECTRIC VEHICLES**

## **CAPÍTULO I**

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se puntualizan varios aspectos importantes tomados en cuenta para la realización del proyecto, objetivos, metas, variables y conocimientos teóricos necesarios en el diseño y construcción del monociclo eléctrico.

##### **1.1.1 TEMA**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONOCICLO ELÉCTRICO.”

##### **1.1.2 ANTECEDENTES**

La Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas forma profesionales de calidad concientizados en los asuntos ambientales y especializados en el diseño, construcción, reparación y mantenimiento de diversos sistemas automotrices.

En los últimos años, la toma de conciencia sobre las necesidades medioambientales es ya global debido a los fenómenos ambientales producidos por las emisiones de gases contaminantes ocasionados por los medios de transporte que utilizan motores de combustión. Cada día la tecnología avanza para colaborar con el cuidado del planeta, un ejemplo claro son los prototipos que funcionan con fuentes de energía alternativa.

Una de estas innovaciones introducidas la constituyen los medios de transporte unipersonales como una solución complementaria que funciona a base de energía eléctrica.

### **1.1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La ausencia de medios de transporte alternativos constituye una causa importante de la dificultosa viabilidad de personas y vehículos, lo que les produce inconvenientes para trasladarse?.

### **1.1.4 DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO**

La industria automotriz produce día a día nuevos prototipos para el traslado de las personas con la finalidad de mejorar su movilidad y reducir la contaminación ambiental, tomando en cuenta esto se ha pensado construir un medio de transporte personal con una fuente de energía alternativa.

Se pretende diseñar y construir un medio de transporte ecológico y portátil con una estructura capaz de soportar a una persona y movilizarla por trayectos reducidos, terrenos regulares, atractivo, innovador y sencillo de conducir.

Trabaja con una rueda propulsada por un motor eléctrico alimentado por una fuente recargable de 36 V permitiéndole funcionar por un tiempo de 120 minutos, una rueda de soporte, un sistema de sensores acelerómetros y giroscópicos que permiten aumentar la velocidad al inclinarse hacia adelante y al inclinarse hacia atrás frenar. Alcanza una velocidad y peso de 16 km/h y 40 kg respectivamente.

Es un medio de transporte ideal para todas las personas que tengan la necesidad de recorrer trayectos reducidos como parques, fábricas, centros

comerciales, paseos turísticos o sitios en general con una superficie de suelo regular.

### **1.1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

El aumento poblacional y sus consecuentes necesidades de movilizarse para su desarrollo imponen progresivamente mayores formas de transportarse entonces se busca desarrollar nuevas alternativas de traslado que permitan el normal funcionamiento de la sociedad. Al ser un tema de movilidad va tener un beneficio hacia la población en general ya que es destinado al transporte de personas.

Con estas nuevas alternativas de movilizarse se ayudará a combatir la contaminación ambiental que aqueja al mundo entero, existe una tendencia a buscar opciones que permitan seguir desarrollando las diferentes actividades pero procurando reducir el impacto que tienen en la naturaleza.

Entre las alternativas se encuentran medios de transportes alternativos que ayudan a controlar los altos niveles de contaminación atmosférica por causa de los combustibles.

### **1.1.6 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un monociclo eléctrico como medio de transporte alternativo para aumentar la fluencia de las personas y mejorar su viabilidad en espacios reducidos y zonas ecológicas.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar y construir una estructura para los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos.

- Diseñar e implementar un sistema de propulsión con baterías y un motor eléctrico capaz de trasladar al monociclo.
- Diseñar e implementar un sistema de conducción por medio de acelerómetros y giroscopios electrónicos.

### **1.1.7 METAS**

- Diseño de la estructura del monociclo eléctrico
- Selección de componentes y diseño del sistema de aceleración y frenado.
- Construcción del monociclo eléctrico
- Pruebas y verificaciones del monociclo
- Realizar un análisis de los resultados obtenidos en las pruebas para establecer conclusiones y posibles mejoras.
- Contar con una alternativa ecológica para transportarnos
- Dotar de seguridad al diseño del monociclo eléctrico para evitar accidentes y lesiones al conductor
- Brindar ergonomía a la persona que conduzca el monociclo eléctrico
- Proporcionar un transporte para la recreación en áreas verdes y lugares cercanos a los puntos de mayor afluencia, atracción o interés comercial, bancario, turístico o estudiantil

### **1.1.8 HIPÓTESIS**

Es viable la utilización de un monociclo eléctrico para mejorar la viabilidad de las personas en sectores urbanos congestionados, reducidos y ecológicos?

### **1.1.9 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **Variables independientes**

- El monociclo eléctrico como medio de transporte alternativo.

#### **Variables dependientes**

- El traslado y viabilidad de las personas en sectores reducidos, de mayor afluencia y zonas ecológicas.

## **1.2 MARCO TEÓRICO**

### **1.2.1 ESTADO DEL MEDIO AMBIENTE**

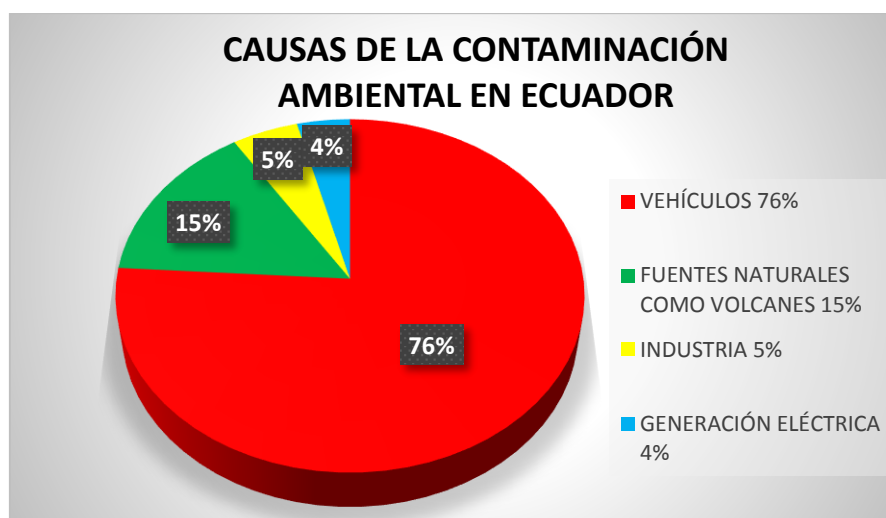
Los desechos originados de la combustión en los automotores producen dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO<sub>n</sub>), vapor de agua, dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) entre otros a través de los gases de escape, contribuyen al calentamiento global, lluvia ácida y el adelgazamiento de la capa de ozono.

La Organización Meteorológica Mundial en su boletín del 2014, informa que entre 1990 y 2013 el calentamiento del clima experimentó un incremento del 34 % a causa de los gases de efecto invernadero de larga duración, tales como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

En el 2013 la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera alcanzó el 142 % del nivel de la era preindustrial (antes de 1750), el de metano el 253 % y el de óxido nitroso el 121 %.

La cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera a escala mundial alcanzó 396,0 partes por millón (ppm) en 2013. El incremento de este gas en la atmósfera de 2012 a 2013 fue de 2,9 ppm, el más alto para el período de 1984 a 2013. Si sigue creciendo al ritmo actual, se prevé que el promedio anual mundial de concentración de CO<sub>2</sub> supere el umbral simbólico de 400 ppm en 2015 o 2016.

En el Ecuador, los sistemas de producción de energía, las industrias y el transporte siguen creciendo haciendo más crítica contaminación del aire. La contaminación de nuestro país proviene de diversas fuentes de acuerdo a la figura 1.1.



**Figura 1. 1: Causas de la contaminación ambiental en Ecuador**  
Fuente: Ministerio de Educación y Cultura del Ecuador, 2013

La mayor causa de la contaminación atmosférica es ocasionada por los vehículos que utilizan hidrocarburos de baja calidad, según la Dirección Nacional de Hidrocarburos del Ecuador. Por ejemplo, la cantidad de azufre que tiene el diesel en nuestro país es diez veces mayor a la que toleran las normas en Estados Unidos.



Se han buscado estrategias para reducir la contaminación ambiental, por ejemplo en Quito se implantó un sistema de revisión vehicular desde el 2003 efectuado por la Corporación de Centros de Revisión y Control Vehicular (CORPAIRE) realizando pruebas estáticas a los vehículos con los motores encendidos para determinar si el mismo puede o no circular en función del estado de sus sistemas y las emisiones por el tubo de escape, gracias al cual, según la CORPAIRE, las emisiones de monóxido de carbono se han reducido en un 35 % y las de hidrocarburos en un 25 % desde el 2004.

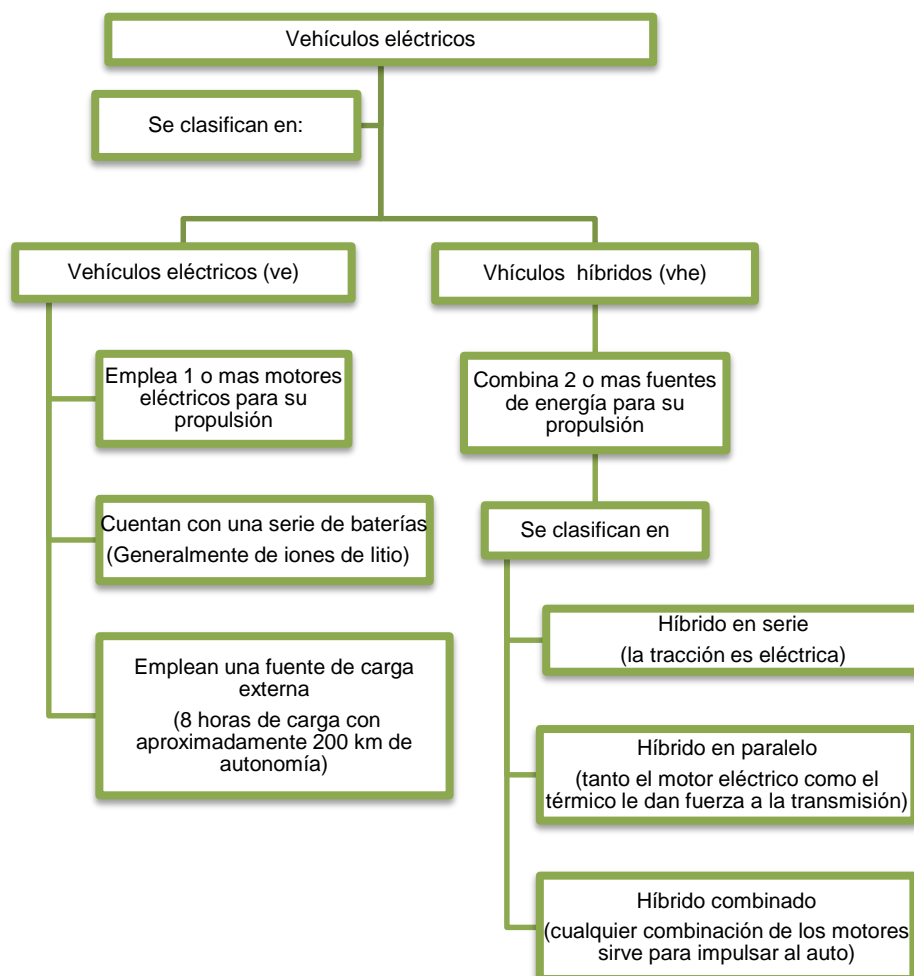
Cada año en Quito se consumen 6´000000 de barriles de combustible, lo cual significa una contaminación de 150000 toneladas de desechos, mientras que en Guayaquil se arrojan 104000 toneladas de desechos tóxicos por año.

Según el diario El Telégrafo, la tasa de crecimiento del parque automotor en el Ecuador es del 11% al año. En el 2014 se calculó en Quito una circulación de 445000 vehículos.

Por estas razones, la industria automotriz principalmente en países más desarrollados diseña vehículos con nuevas tecnologías, menos contaminantes como los autos híbridos, eléctricos, nuevos combustibles, prototipos, etc. de tal manera de contribuir a la reducción de emisiones de gases que destruyan el medio ambiente.

### **1.2.2 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

Los tipos de vehículos eléctricos que existen actualmente, y que utilizan energía eléctrica se explican en la figura 1.2.



**Figura 1. 2: Clasificación de los vehículos eléctricos**  
**Fuente: Emilio Larrodé Pellicer, 1997**

### 1.2.3 BREVE HISTORIA DEL MONOCICLO

El monociclo nace en Europa en el siglo XIX, nace a raíz de que un malabarista decide quitarle una de sus 2 ruedas a una bicicleta y dar un espectáculo manteniendo el equilibrio, ese fue el primer monociclo de la historia.

La figura 1.3 muestra distintos tipos de monociclos, donde el conductor tiene que mantener el equilibrio para no caerse.

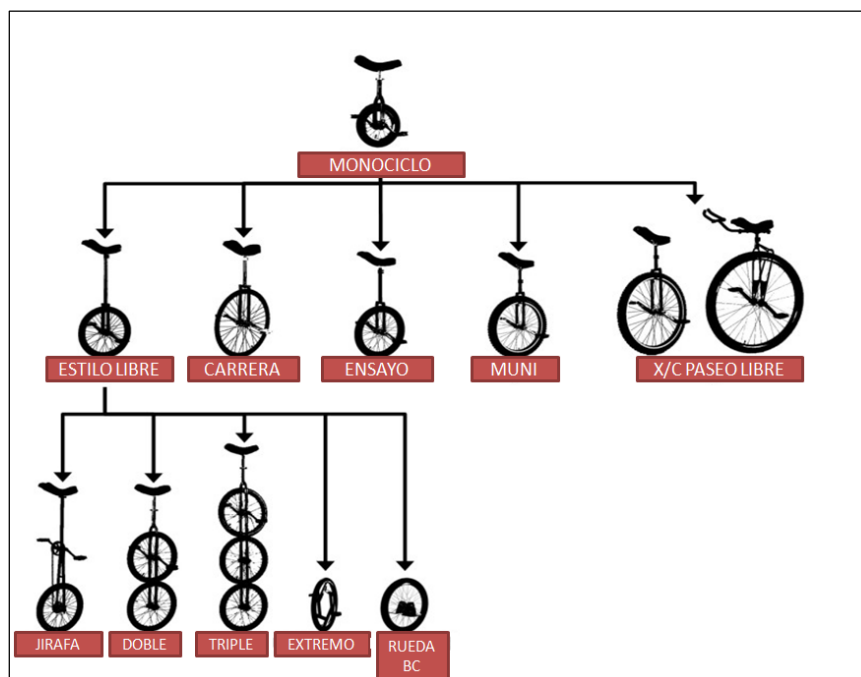


Figura 1. 3: Formas de monociclos

Fuente: <http://www.unicyclist.com/forums/attachment.php?attachmentid=51080&d=1319728240>, 2011

#### 1.2.4 EL MONOCICLO ELÉCTRICO Y SUS COMPONENTES

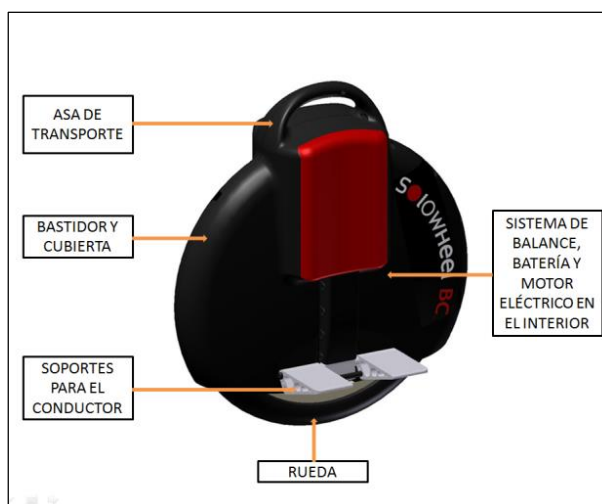
En la actualidad la amplia gama de materiales livianos y resistentes ha posibilitado que el monociclismo se convierta en un deporte muy versátil, con muchas modalidades y apto para todo público. Además los avances tecnológicos han permitido la aparición varios prototipos de monociclos como un medio de transporte personal, compacto, ecológico, accesible e innovador con la implementación de sistemas eléctricos y electrónicos que permiten reducir la contaminación ambiental.

Existen distintos prototipos de monociclos eléctricos entre los más conocidos se pueden señalar el BMW Halbo con una rueda motriz delantera y otra de soporte para asegurar la estabilidad, el Honda UX3 con una rueda omnidireccional y el Monowheel que constituye una rueda con un diámetro amplio para que el conductor pueda alojarse dentro de la misma. En la figura 1.4 se visualizan de izquierda a derecha.



**Figura 1. 4: Diseños de monociclos eléctricos**  
**Fuente: Ortiz Francisco-Ávila Balam, 2014**

Uno de los monociclos eléctricos que ha salido al mercado en Europa y Estados Unidos es el Solowheel, se trata de una rueda auto balanceada parcialmente ya que el conductor debe controlar únicamente lo que es el movimiento hacia la derecha e izquierda.



**Figura 1. 5: Componentes principales del monociclo eléctrico Solowheel**  
**Fuente: Solowheel Europa, 2013**

Uno de los inconvenientes que se presentan en el Solowheel es su complicada maniobrabilidad debido a que el conductor debe controlarlo de pie, además no tiene un sistema de dirección y es necesario inclinarse para curvar así que es necesario adquirir mucha práctica para poder conducirlo.

### 1.2.5 NEUMÁTICO Y RUEDA DE APOYO

Empresas como Honda han venido desarrollando una serie de prototipos para el transporte personal, el UNI CUB es un ejemplo claro, con 2 ruedas

para su mayor estabilidad y un bajo centro de gravedad, constituye un novedoso monociclo eléctrico. La figura 1.6 nos permite visualizar el Honda UNI CUB.



**Figura 1. 6: Monociclo eléctrico Honda UNI-CUB**  
Fuente: Honda Worldwide, 2014

En los últimos años, han aparecido una serie de diseños de vehículos concebidos para la movilidad personal como es el caso del Honda UNI-CUB, considerado como un monociclo eléctrico debido a sus dimensiones compactas con 2 ruedas, la motriz de mayor diámetro y la de apoyo posterior para una mayor estabilidad, confort, control del vehículo, maniobrabilidad y sobre todo seguridad del pasajero que lo conduzca. Por las cualidades mencionadas del monociclo eléctrico Honda UNI-CUB, se decidió a emplear una rueda posterior en el diseño del presente proyecto.

### 1.2.6 CHASÍS

El chasis es una estructura interna que soporta los componentes y la carrocería de un vehículo. El material más usado por sus propiedades es el acero, que constituye una aleación de hierro, carbono, magnesio y uno o

más elementos importantes. Los demás elementos contenidos en los diversos aceros son el azufre, fósforo, níquel, molibdeno, cromo y vanadio. El carbón le proporciona resistencia, dureza y ductilidad a cualquier aleación de acero.

Los aceros estructurales, en su mayoría tienen la designación ASTM A36 con un punto de fluencia mínimo de 36000 psi (248 MPa) siendo muy dúctil con bajo contenido de carbono y laminado en caliente. En el mercado se lo puede encontrar en perfiles estructurales, láminas y placas.

Los tubos estructurales redondos y cuadrados son fabricados con acero ASTM A500 en frío.

Entre las principales características mecánicas del acero se pueden mencionar las siguientes:

**Resistencia al desgaste:** Se trata de la resistencia que posee un material para dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.

**Tenacidad:** Es la capacidad de un material para absorber energía sin producir fisuras.

**Maquinabilidad:** Es la facilidad que brinda un material para permitir su mecanizado por arranque de viruta.

**Dureza:** Resistencia que ofrece un material para dejarse penetrar.

### 1.2.7 CARROCERÍA

Es el componente apoyado en el chasis de un vehículo que cubre al resto de sus elementos y a los pasajeros.

La fibra de vidrio se emplea en la fabricación de carrocerías de vehículos debido a sus propiedades mecánicas.

**Rigidez Dieléctrica:** Constituye un aislante estructural, debido a que la fibra de vidrio no es un conductor eléctrico.

**Flexibilidad de Diseño:** Se pueden realizar diseños complejos mediante el moldeo de la fibra de vidrio, permitiendo un gran valor estético y funcional de las piezas construidas.

**Aislante Térmico:** Puede utilizarse como aislante para las elevadas temperaturas, impidiendo la transferencia de calor.

**Estabilidad:** Poseen un bajo coeficiente de dilatación térmica y a la reducida absorción de agua, por esto los productos en fibra de vidrio no varían su dimensión y forma..

**Resistencia a la corrosión:** No se oxida, además muestra una excepcional resistencia a los ambientes agresivos.

### 1.2.8 MOTOR ELÉCTRICO DC

Los motores eléctricos de corriente directa transforman la energía eléctrica en mecánica por medio de electromagnetismo.

Se emplean mucho en ascensores, trenes, robots y motocicletas debido al torque de arranque que poseen para romper la inercia.

Existen varios tipos de motores de corriente directa, que se pueden visualizar en la siguiente figura 1.7

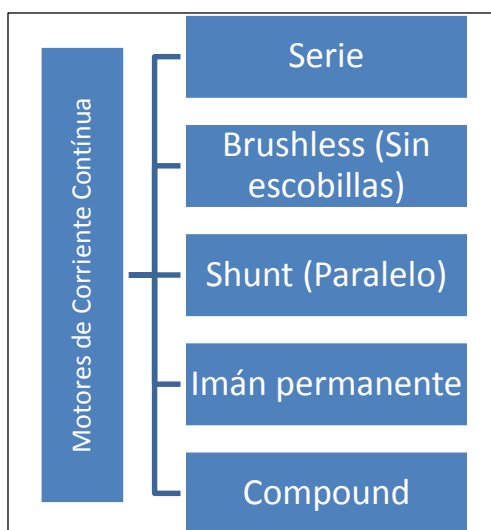


Figura 1. 7: Clasificación de los motores de corriente continua  
Fuente: Robert Mott, 2006

- **Motor eléctrico tipo serie**

La armadura giratoria se conecta en serie con el campo electromagnético. La pendiente formada por la relación entre la velocidad y el par torsional es una pendiente, a mayor torque o par torsional, menor velocidad. El porcentaje del torque de arranque puede llegar hasta un 800% del par torsional nominal de carga total como se muestra en la figura 1.8

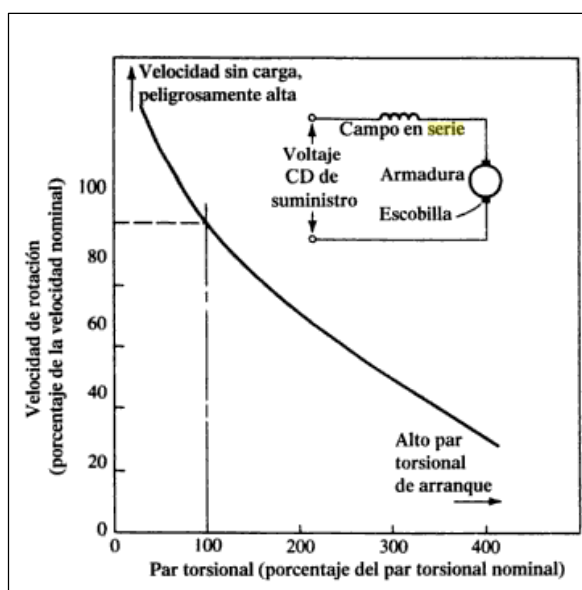
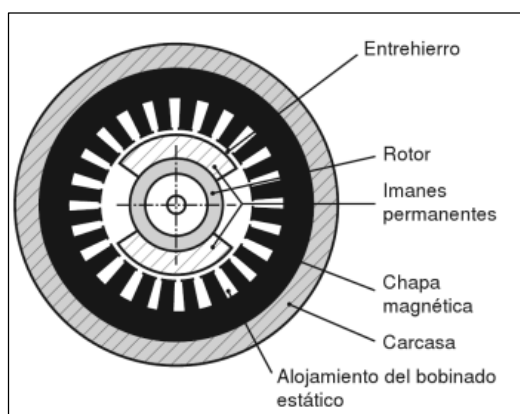


Figura 1. 8: Curva de velocidad/par torsional de un motor DC tipo serie  
Fuente: Robert Mott, 2006



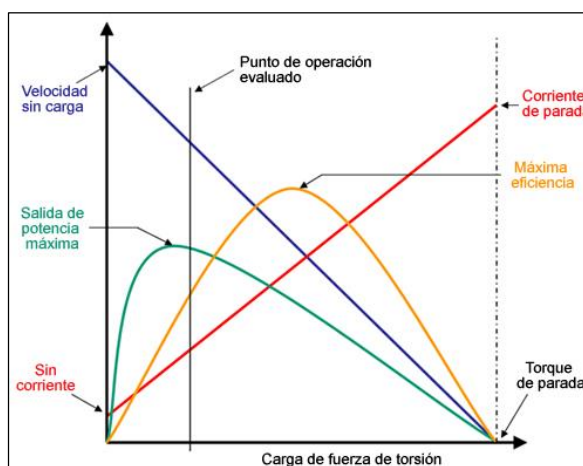
- **Motor eléctrico brushless (sin escobillas)**

Un motor brushless tiene un rotor con imanes permanentes y un estator con bobinado, las escobillas y el colector no forman parte de este motor, los devanados se encuentran conectados al control electrónico que reemplaza la función de energizar el devanado adecuado como se muestra en la figura 1.9.



**Figura 1. 9: Curva de velocidad/par torsional de un motor DC tipo serie.**  
Fuente: Robert Mott, 2006

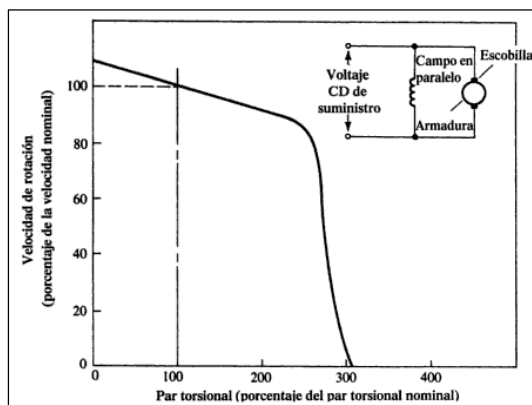
Los motores brushless son más eficientes que los motores DC con escobillas ya que no producen ruido, fricción ni calor que ocasionan pérdidas de potencia por esta razón son adecuados para emplearlos en motocicletas y bicicletas, en la figura 1.10 se representan las curvas de velocidad de color azul, eficiencia de anaranjado, corriente de rojo y potencia de verde.



**Figura 1. 10: Curvas de funcionamiento de un motor sin escobillas**  
Fuente: Johnson Electric, 2012

- **Motor tipo shunt (paralelo)**

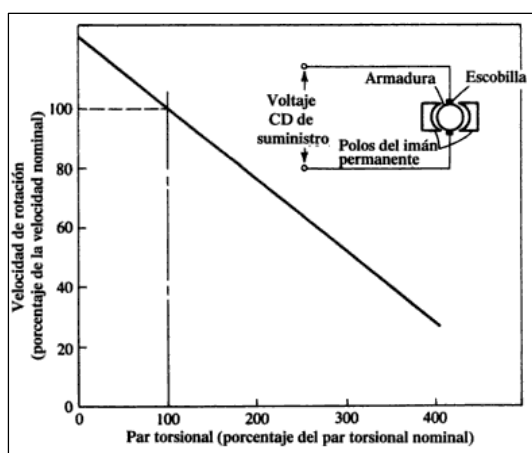
En los motores shunt, el campo electromagnético y la armadura giratoria van conectados en paralelo. En la figura 1.11 se muestra que la velocidad del motor desciende bruscamente al pasar el doble del porcentaje del par torsional nominal.



**Figura 1. 11: Curva de velocidad/par torsional de un motor DC tipo shunt**  
Fuente: Robert Mott, 2006

- **Motor de imán permanente**

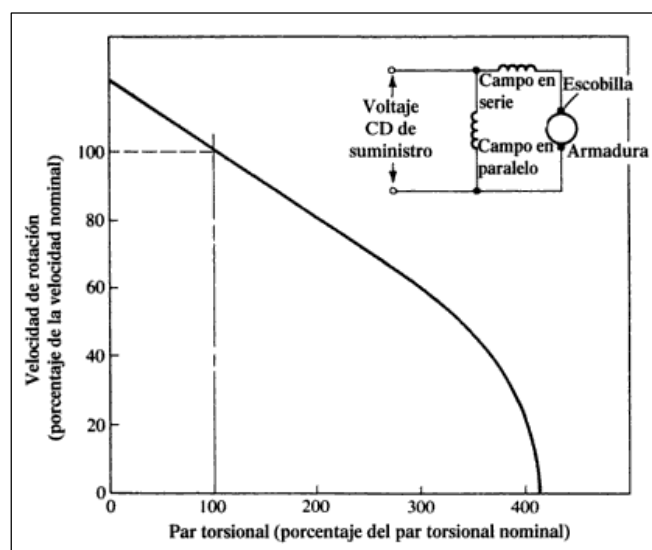
Los motores de imán permanente usan imanes que producen el campo eléctrico para la armadura que permanece casi constante y por tal razón la curva del par torsional versus la velocidad del motor varía linealmente, la cual podemos apreciar en la figura 1.12.



**Figura 1. 12: Velocidad/par torsional de un motor DC de imán permanente**  
Fuente: Robert Mott, 2006

- **Motor compound (compuesto)**

Los motores compuestos emplean un campo en serie y uno en paralelo. Tienen un par torsional de arranque muy elevado y rapidez suave. En la figura 1.13 a través de la curva par torsional versus velocidad de rotación se puede concluir que el torque inicial es elevado al inicio superando el 400% y desciende lentamente hasta cuando la velocidad de rotación alcanza el 40% y disminuye constantemente a medida que las revoluciones del motor aumentan.

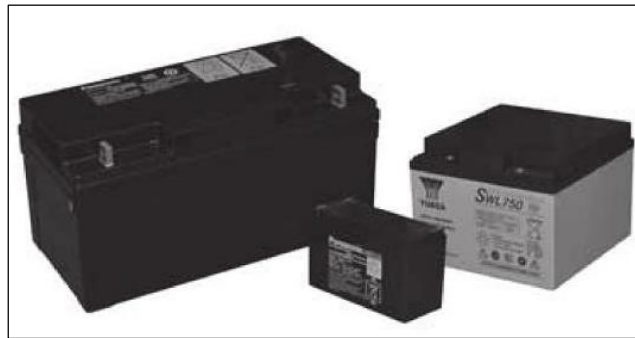


**Figura 1. 13: Curva de velocidad/par torsional de un motor DC tipo compuesto**  
Fuente: Robert Mott, 2006

### 1.2.9 BATERÍAS

Las baterías son acumuladores de tensión de corriente continua y cumplen con la misión de proveer de energía eléctrica al sistema de potencia y electrónico del monociclo.

El tamaño de las baterías recargables varía como se muestra en la figura 1.14 así como las combinaciones de productos químicos. Se emplea con más frecuencia las de plomo-ácido, níquel-cadmio, níquel-metal hidruro, de iones de litio, y la de polímero de iones de litio.



**Figura 1. 14: Distintos tamaños y bornes de baterías**  
Fuente: Villa, 2014

Las baterías poseen algunas características de su funcionamiento, entre las principales tenemos:

- Tensión nominal: voltaje entregado por la batería cargada (V)
- Capacidad: es la cantidad de energía que puede almacenar una batería y se mide en Amperios-hora (Ah)
- Ciclos: el período en que se carga y descarga una batería se conoce como ciclo.
- Carga: es la relación que hay entre el tiempo, el voltaje y la temperatura de carga en una batería.
- Tipo de batería: si son selladas o abiertas y los elementos químicos que emplea.
- Dimensiones y peso: medidas de largo x ancho x altura y el peso (cm y lb).

### **1.2.10 MICROCONTROLADOR**

El microcontrolador ATMEGA 328 sigue la arquitectura AVR. Los AVR son una familia de microcontroladores RISC de Atmel.

De acuerdo a Torrente O. (2013), el AVR es una CPU de arquitectura Harvard. Tiene 32 registros de 8 bits. Algunas instrucciones solo operan en un subconjunto de estos registros. La concatenación de los 32 registros de entrada/salida y la memoria de datos conforman un espacio de direcciones unificado, al cual se accede a través de operaciones de carga/almacenamiento.

A diferencia de los microcontroladores PIC, en stack se ubica en este espacio de memoria unificado, y no está limitado a un tamaño fijo.

El ATMEGA 328 cuenta con 32 KB de memoria flash, 2KB de memoria RAM y 1 KB de memoria EEPROM

La disposición concreta de los pines de entrada y salida del microcontrolador sirve para comunicar el microcontrolador con el mundo exterior, es cierto que cada pin suele tener una determinada función específica.

Como cada modelo de microcontrolador tiene un número y ubicación de pines diferentes, en concreto se debe tener a mano la disposición de pines del ATMEGA 328, como se muestra la figura 1.15

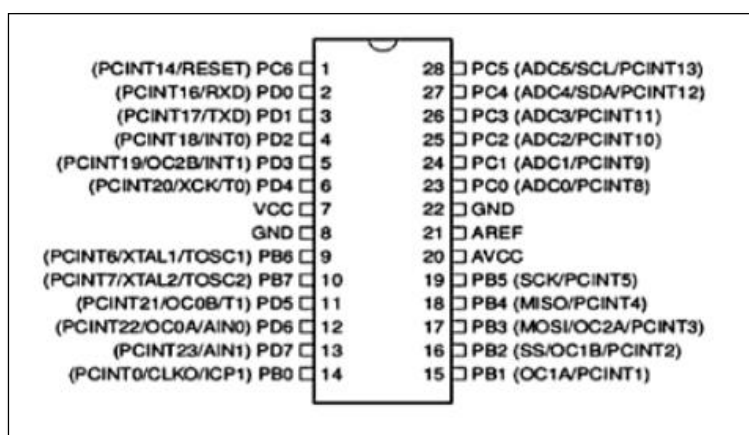


Figura 1. 15: Disposición de pines microcontrolador Atmega 328  
Fuente: Oscar, 2013

### 1.2.11 GIROSCOPIO Y ACELERÓMETRO

Para activar el motor se usa el sensor inercial MPU-6050 unidad de procesamiento de movimiento.

La elección de este sensor es que; en un solo chip se integra un giroscopio y un acelerómetro que presenta una sobresaliente linealidad, reduciendo de esta manera significativamente el error de desalineamiento que se presenta cuando se fusionan los sensores dentro de una MPU, como se muestra la figura 1.16

La MPU es un pequeño sensor de procesamiento del movimiento, mediante la combinación de un giroscopio de 3 ejes ITG-3200 y un acelerómetro de 3 ejes ADXL345 en la misma matriz de silicio junto con un procesador de movimiento digital (DMP), contiene 6 grados de libertad.

El DMP es un sistema basado en un microprocesador que posee un conjunto de instrucciones para el proceso de aplicaciones en tiempo real que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad, es utilizado para la salida de los ángulos de Euler y cuaterniones.

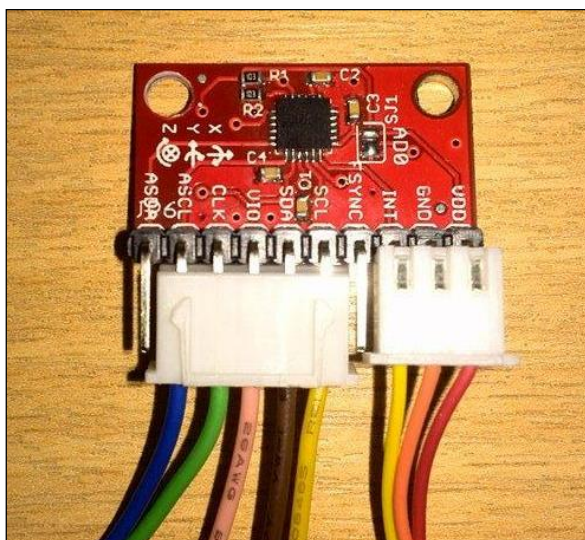


Figura 1. 16: MPU-6050

- **Características Generales:**

- a) Dimensiones de encapsulado 4x4x0.9mm
- b) Salida digital de 6 ejes
- c) 16 bits de salida para los dos sensores
- d) Selección del rango de medición por el usuario de 2g a 16g
- e) Comunicación I2C con todos los registros hasta 400kHz en modo rápido
- f) Filtros digitales para el acelerómetro, giroscopio y sensor de temperatura

- **Características del giroscopio del MPU-6050:**

- a) Salida digital de rango de velocidad de  $\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$  °/s
- b) Pin FSYNC para sincronización externa, se usa para la estabilización de imágenes en video y GPS.
- c) Reduce la necesidad de la calibración por parte del usuario.
- d) Filtro digital paso bajo programable.
- e) Factor de escala predefinido por el fabricante.

- **Características del acelerómetro del MPU-6050**

- a) Salida digital de tres ejes con rango de  $\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g$
- b) Salida de 16 bits.
- c) Funciona normalmente a 500 uA.
- d) A bajo voltaje funciona del siguiente modo:

*10  $\mu A$  a 1.25 Hz*

*20  $\mu A$  a 5 Hz*

*110  $\mu A$  a 40 Hz*

- e) Interrupciones programables por el usuario.

### 1.2.12 CONTROL ELECTRÓNICO

El control electrónico es la parte sensible y compleja, se encuentra un conjunto de sensores, actuadores, circuitería de procesamientos y control, como se muestra en la figura 1.17, los cuales deben estar calibrados mediante una programación libre diseñada para expresar instrucciones que pueden ser llevadas a cabo por el monociclo eléctrico.



**Figura 1. 17: Placa arduino uno con programación libre**

Los sensores adquieren la información necesaria del exterior y la convierten en señales eléctricas que son manipuladas por la circuitería interna de control.

Los circuitos internos de un sistema electrónico procesan la señal eléctrica convenientemente, la función de dicha señal dependerá tanto del diseño de los diferentes componentes, como de la programación del hardware.

Los actuadores transforman la señal eléctrica acabada de procesar por la circuitería interna en energía que actúa directamente sobre el mundo físico externo.



### 1.2.13 PROGRAMACIÓN

El programa cargado en la memoria Flash del microcontrolador se denomina el código ejecutable y está compuesto por una serie de ceros y unos. El código binario está compuesto por palabras de 12, 14 o 16 bits de anchura dependiendo de la arquitectura del microcontrolador. En la figura 1.18 se aprecia como la CPU interpreta las palabras como una instrucción a ser ejecutada cuando el microcontrolador funcione. Todas las instrucciones que el microcontrolador puede reconocer y ejecutar se les denominan colectivamente conjunto de instrucciones.

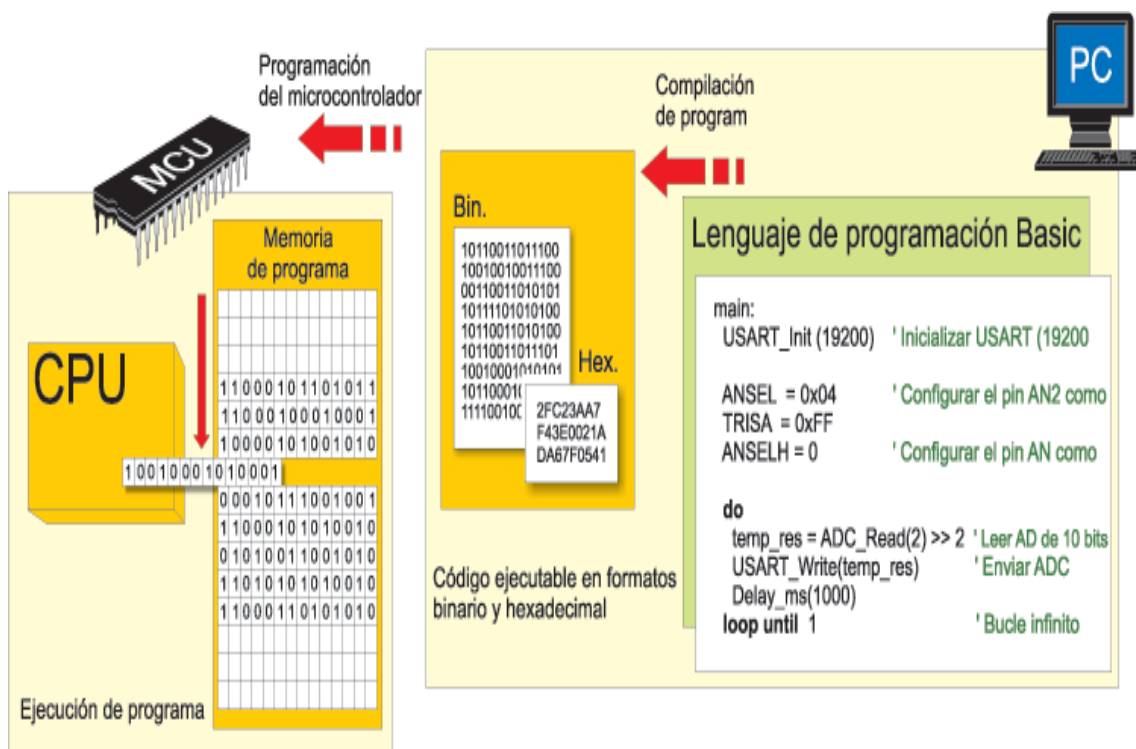


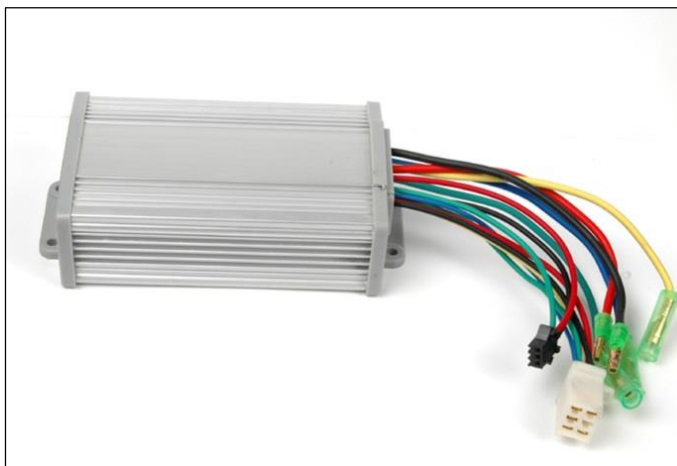
Figura 1. 18: Programación de un microcontrolador  
Fuente: Mikroe, 2010

### 1.2.14 CONTROL DEL MOTOR

El controlador regula la velocidad, el torque y el suministro de potencia de los motores de corriente continua enviando señales al motor en varios voltajes.

Estas señales detectan la dirección de un rotor en relación a la bobina de arranque. La función propia de un control de velocidad depende del empleo de diversos mecanismos.

Algunos controladores también sirven como un freno dinámico por ejemplo para los motores de bicicleta. Esta unidad de control utiliza la energía de la batería y la conduce al motor. Se utilizan diferentes tipos de controladores para motores con y sin escobillas. En la figura 1.19 se aprecia un controlador o driver de un motor sin escobillas.



**Figura 1. 19: Controlador de un motor sin escobillas**  
**Fuente: Electricbyce C.O., 2013**

## CAPÍTULO II

### 2. DISEÑO MECÁNICO

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

Diseñar es desarrollar un sistema o una estructura que posea características y funciones deseadas con el fin de satisfacer demandas o necesidades.

En el proceso de diseño están presentes 3 fases básicas aceptadas por gran parte de investigadores, dichas fases se representan en la figura 2.1.

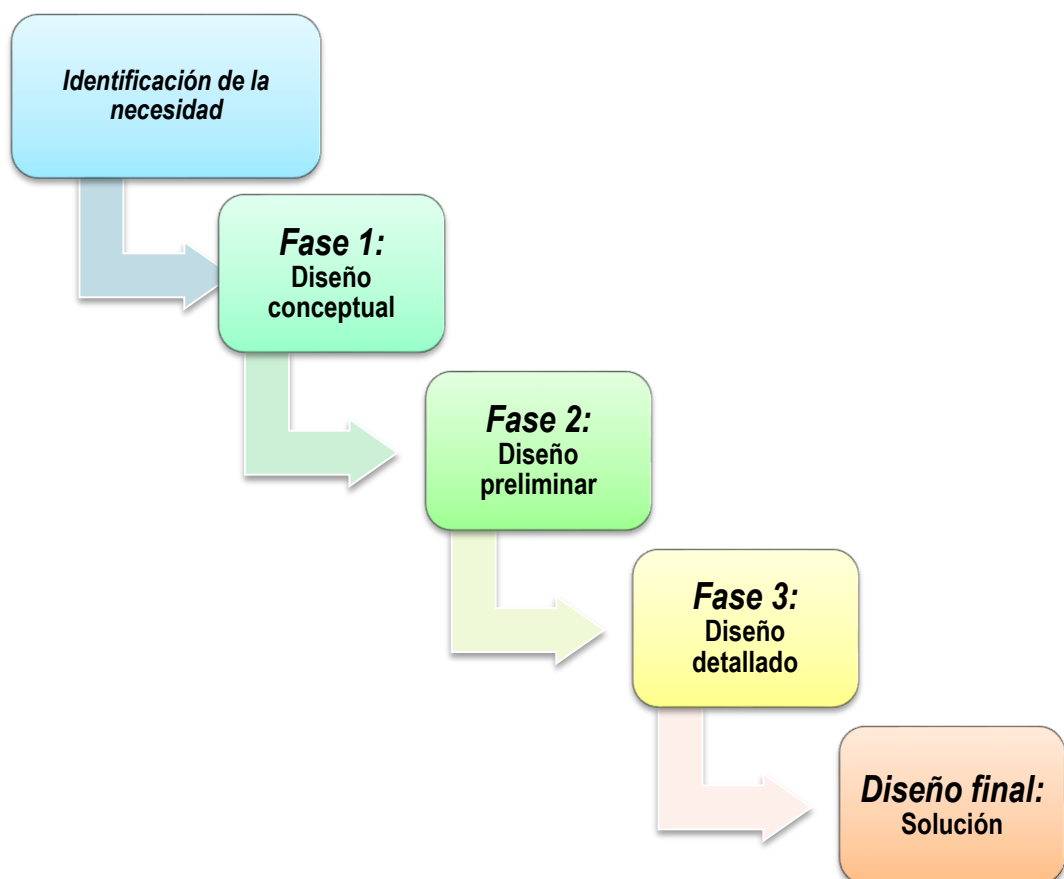


Figura 2. 1: Fases de diseño  
Fuente: Joaquín Medin Molina, 2010

En la primera fase, se analiza el problema identificado, se plantean una o varias soluciones y posteriormente se evalúan respecto a parámetros impuestos.

En la segunda fase, se evalúa objetivamente las soluciones, se proponen los materiales, planos, es decir, se va haciendo más concreto el diseño.

En la tercera fase, de diseño de detallado, la solución está determinada y se generan todas las especificaciones que se necesitan para su producción, se elaboran los planos detalladamente, se identifica donde adquirir la materia prima y se orienta a materializar el diseño final.

Previo al diseño final del prototipo, se atravesó por las 3 etapas anteriormente descritas y en el presente capítulo mostramos la etapa de diseño detallado del monociclo eléctrico empezando por el método de la casa de la calidad donde relacionamos las necesidades del cliente con los atributos de diseño.

## **2.2 LA CASA DE LA CALIDAD**

Es una matriz conformada de seis partes que se emplea para determinar el nivel de importancia que tienen cada una de las características de diseño y al mismo tiempo conocer en qué aspectos se debe mejorar un servicio o un producto relacionando las necesidades del cliente (QUE'S) y la manera de implantar dichas necesidades (CÓMO'S) mediante símbolos que tienen diferentes ponderaciones.

El nivel de importancia se analiza realizando una serie de operaciones matemáticas elementales para obtener valores absolutos y relativos de cada una de las necesidades del cliente y de la manera de cubrir esas necesidades.

En la figura 2.2 se aprecia el esquema de la casa de la calidad con la ubicación de cada una de las partes que la constituyen y a continuación se detallan.

### **2.2.1 NECESIDADES DEL CLIENTE**

El cliente tiene una serie de necesidades y expectativas, en este caso se trata de las necesidades de las personas para transportarse en un prototipo de energía alternativa, por ejemplo si es cómodo, si es fácil de conducir, si consume combustible etc. A las necesidades del cliente se los conoce como los QUÉ'S y su ubicación se observa en la figura 2.2 sección a.

Junto a cada necesidad se ubica un símbolo que representa una cantidad que determina su grado de importancia.

### **2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO**

Explica cómo se va a responder a las expectativas que tienen las personas con el monociclo eléctrico expresadas por los diseñadores del proyecto. En la casa de la calidad se denominan los CÓMOS ubicados en la figura 2.2 sección b.

### **2.2.3 RELACIÓN ENTRE NECESIDADES CLIENTE Y CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO**

Indica mediante símbolos qué tipo de relación existe entre ambos requerimientos, ya sea muy fuerte, fuerte o débil a través de símbolos para conocer si las necesidades del cliente serán satisfechas. La ubicación de esta relación se muestra en la figura 2.2 sección c.

#### **2.2.4 RELACIÓN ENTRE LOS CÓMO'S**

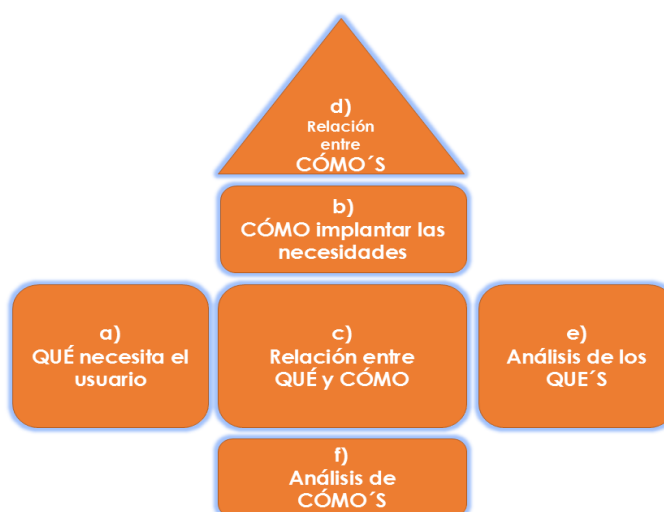
En la figura 2.2 sección d se aprecia en la parte superior de la casa de la calidad, una malla de forma triangular donde se ubican en cada espacio y mediante simbología la relación que existe entre las características de diseño. Una vez colocados los símbolos se realiza la sumatoria de las ponderaciones de cada CÓMO con los demás y se divide para el menor valor. Se relaciona al cociente con un símbolo de la tabla de ponderaciones de acuerdo a su proximidad y se coloca sobre cada CÓMO en la casa de la calidad.

#### **2.2.5 ANÁLISIS DE LOS QUÉ'S**

El análisis de las necesidades del cliente se efectúa también con simbología y relacionándolas con la competencia que existe en el mercado con la finalidad de conocer en qué aspectos se debe mejorar. La ubicación de esta sección en la casa de la calidad es en la parte derecha como se muestra en la figura 2.2 sección e.

#### **2.2.6 ANÁLISIS DE LOS CÓMO'S**

En esta sección se colocan los valores obtenidos de la multiplicación entre las ponderaciones de los QUE'S con las ponderaciones de los CÓMO'S y cada valor existente entre sus relaciones. El resultado nos indica el nivel de jerarquía que tiene cada requerimiento del diseñador, el mayor valor es más importante. Se ubica en el sector inferior de la casa de la calidad de acuerdo a la figura 2.2 sección f y con el análisis de los QUE'S constituyen los puntos más relevantes de la casa de la calidad porque con estos análisis se concluye en que detalles se debe fijar más la atención en el diseño y construcción del monociclo eléctrico.



**Figura 2. 2: Esquema de la Casa de la Calidad**  
**Fuente: Evans-Lindsay. 2008**

Para realizar la casa de la calidad del monociclo eléctrico, se realizó una encuesta a 134 personas, esto es la voz del cliente, y se calculó un valor relativo de 0 a 10 respecto al requerimiento de mayor preferencia y otorgar una ponderación a cada requerimiento como se observa en la tabla 2.1.

**Tabla 2. 1**

**Necesidades del cliente y ponderación**

REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	CANTIDAD DE PERSONAS	VALOR RELATIVO (DE 0-10) RESPECTO AL MAYOR (28)
Que no contamine	28	10,00
Barato	26	9,29
Compacto y liviano	14	5,00
Que no consuma combustible	13	4,64
Veloz	11	3,93
Estable	11	3,93
Fácil de maniobrar	9	3,21
Estético	7	2,50
Cómodo	7	2,50
Bajo costo de mantenimiento	4	1,43
Sin ruidos	2	0,71
Duración de las baterías	2	0,71
<b>TOTAL</b>	<b>134</b>	

Partiendo de la voz del cliente y tomando en cuenta lo descrito en los ítems 2.2.1 a 2.2.6, la casa de la calidad del monociclo eléctrico se muestra en la figura 2.3.

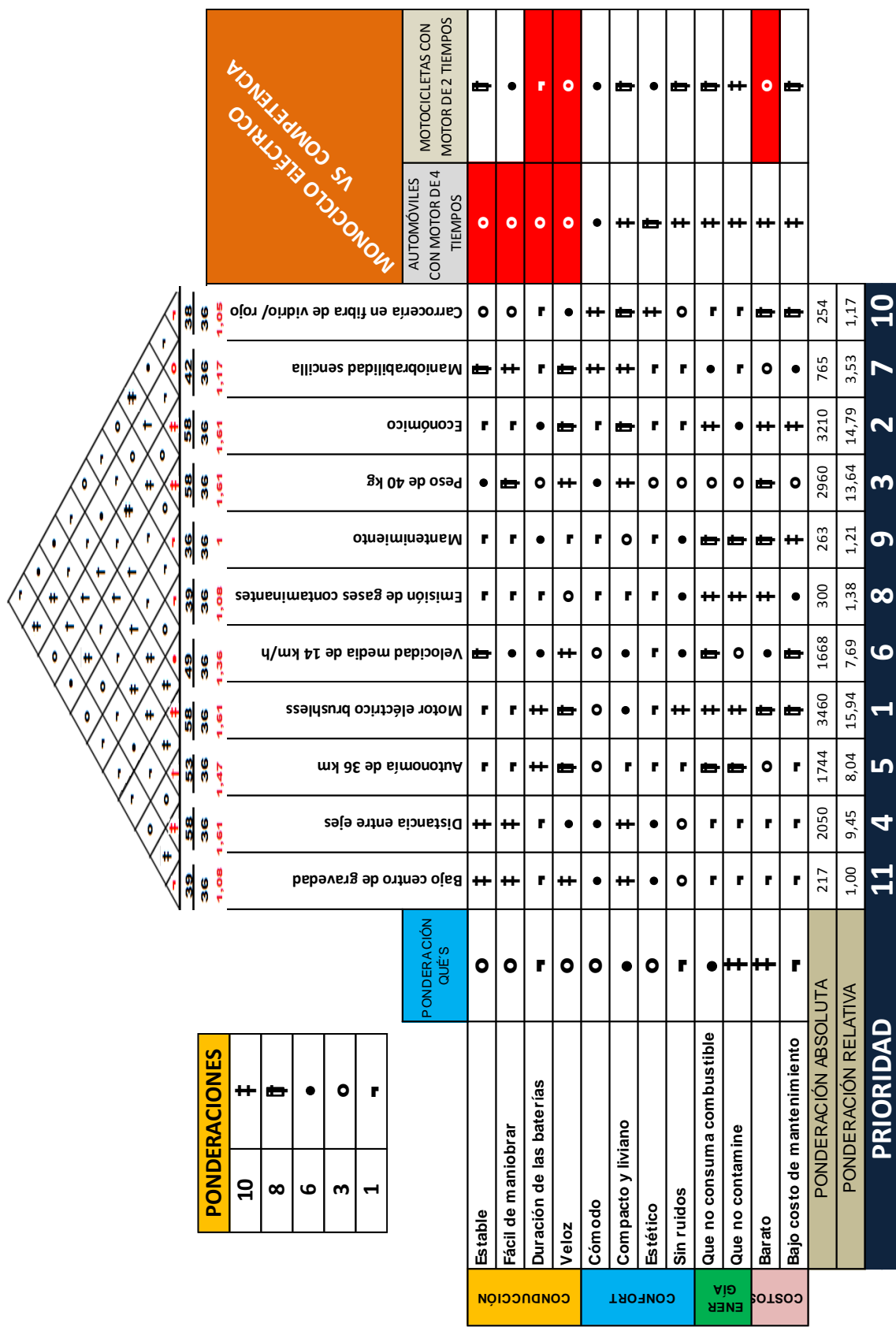


Figura 2. 3: La Casa de la Calidad del monociclo eléctrico



Las conclusiones acerca de la calidad del monociclo eléctrico son las siguientes:

- En relación a un vehículo de combustión con motor de 4 tiempos, es necesario realizar mejoras en el diseño en lo que se refiere a estabilidad, autonomía, maniobrabilidad y velocidad. Pero también existen ventajas en relación a dimensiones, ecología y precio.
- Al comparar al monociclo eléctrico con la motocicleta se determina que es necesario realizar mejoras con respecto a la autonomía, velocidad y precio.
- El diseño del monociclo eléctrico se basa en el motor brushless, es la prioridad para las necesidades del cliente por la fuerte relación que tiene con los aspectos de autonomía, velocidad, economía, tamaño, no produce ruido y es eficiente.
- El segundo aspecto más importante es la economía que presenta el prototipo porque no consume combustible, no necesita mantenimiento en el motor y debido a que es un medio de transporte compacto, no es necesario adquirir una gran cantidad de materiales estructurales y eléctricos.
- También la corta distancia entre ejes y el peso de 40 kg son puntos claves en el diseño del monociclo eléctrico porque es necesario recalcar que es un medio de transporte personal compacto y liviano.

Las conclusiones aclaran cuales son las prioridades del diseño y las mejoras que se deben analizar para una mayor satisfacción de las personas que conduzcan un monociclo eléctrico.

## **2.3 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA**

Para el diseño y simulación del comportamiento de los elementos de la estructura en los cuales se apliquen cargas emplearemos el programa SolidWorks.

Anteriormente no se tenía la facilidad de contar con las herramientas de software para los análisis de elementos mecánicos por medio de la ingeniería asistida por computadora y se realizaban cálculos para determinar si la estructura soporta o no los esfuerzos presentes. Actualmente contamos con herramientas de software de tipo CAD (Diseño Asistido por Computadora) como el SolidWorks donde dimensionamos la estructura a medidas reales para confirmar el correcto diseño de los diversos elementos.

### **2.3.1 CRITERIO DE MÁXIMA TENSIÓN DE VON MISES**

La teoría de máxima tensión de von Mises es fundamentada en el criterio de Von Mises-Hencky, llamada también como teoría de la energía de distorsión máxima o teoría de la energía de cortadura.

La teoría manifiesta que un material dúctil empieza a ceder en un punto cuando la tensión de Von Mises es igual al límite máximo de tensión. Generalmente, el límite elástico se emplea como el límite de tensión. Sin embargo, SolidWorks permite utilizar el límite de tensión de tracción/ruptura o establecer su propio límite de tensión.

### **2.3.2 FACTOR DE SEGURIDAD**

El factor de seguridad es la razón entre la carga de falla obtenida sometiendo al material a ensayos experimentales y el esfuerzo máximo al que está sometido el material en el diseño. Esta relación debe ser mayor que 1 para evitar fallas.

El valor del esfuerzo máximo al que está sometido el material podemos obtenerlo con la herramienta de simulación del software SolidWorks con el análisis de Von Mises.

## 2.4 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

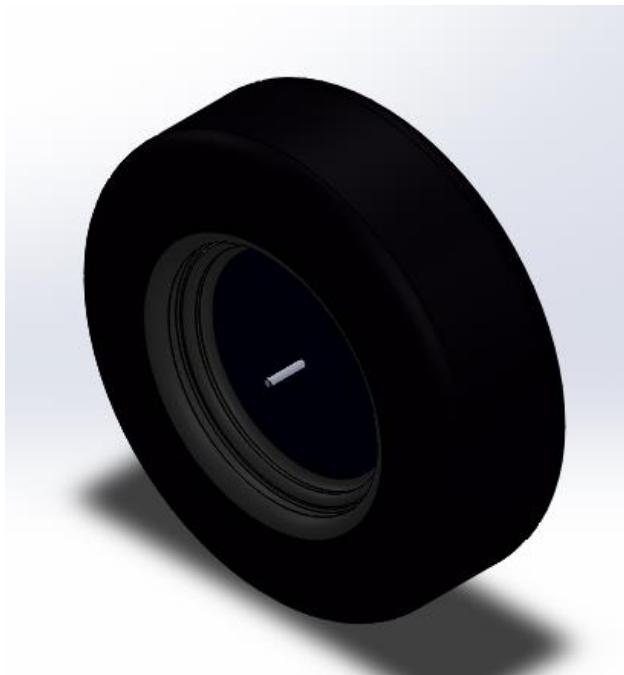
- **Dimensiones:** Se trata de un medio de transporte unipersonal, debe ser compacto entonces las medidas serán 1,10 m de altura, 0,6 m de longitud y 0,3 m de ancho.
- **Peso:** El peso del monociclo será de 40 kg distribuyéndose de la siguiente manera; el neumático 5 kg, el motor 5 kg, la estructura 8 kg, la carrocería 6 kg, la llanta de apoyo, el control del motor, componentes eléctricos y electrónicos 1 kg y las baterías 4 kg.
- **Distancia del conductor al piso:** Tomando en cuenta la estatura de 1,70 m de una persona promedio en Ecuador, el asiento estará a una altura de 0,8 m al suelo.
- **Altura del centro de gravedad:** La altura del centro de gravedad aproximada empleando SolidWorks es 0,4 m.
- **Alojamiento del motor:** El motor será compacto y liviano, se adaptará un motor brushless de tipo cilíndrico de un diámetro de 24 cm y un ancho de 6,2 cm a un neumático de automóvil rin 12.

## 2.5 ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA

Se ha modelado un monociclo en base al análisis de los requerimientos y parámetros de diseño, a continuación se describirán los elementos que lo conforman.

### 2.5.1 EL NEUMÁTICO

El elemento principal del monociclo es el motor eléctrico que será acoplado por medio de una base metálica al aro de un neumático que se visualiza en la figura 2.4. La rueda motriz debe tener un diámetro interior en el aro de 24 cm para que pueda ser acoplado el motor eléctrico y un diámetro exterior de 54 cm y 18 cm de ancho.



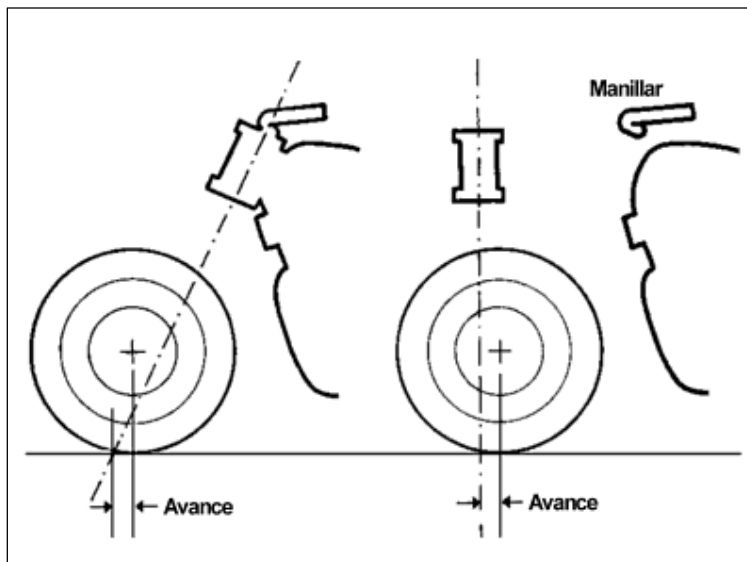
**Figura 2. 4: Modelado del motor acoplado en el neumático**

El motor tiene un eje diseñado para soportar 150 kg donde se juntan los soportes del chasis y la carrocería.

### 2.5.2 LA DIRECCIÓN

La pipa de dirección convencional de una motocicleta tiene un ángulo de inclinación por la facilidad en la construcción del chasis. Dicho ángulo de inclinación determina el avance de la rueda delantera. Sin embargo la inclinación de la pipa de dirección puede tener un ángulo de 90 grados

respecto al suelo pero debe tener un avance para facilitar la conducción y la estabilidad de la motocicleta como se observa en la figura 2.5.



**Figura 2. 5: Ángulo de inclinación y distancia de avance de la dirección**  
Fuente: Tony Foale, 2002

Las dimensiones del monociclo eléctrico deben ser pequeñas entonces el ángulo de inclinación de la pipa de dirección va a ser de 0 grados sin embargo las plaquetas tendrán  $60^\circ$  de inclinación respecto al suelo para compensar la longitud de avance que debe tener el neumático delantero.

### 2.5.3 EL CHASÍS

El chasis está diseñado de acuerdo a la geometría del motor, la altura del asiento y la distancia entre la rueda motriz y la rueda soporte. A demás debe mantener alojados a las baterías y los componentes electrónicos de control. Se ha seleccionado de un tubo de acero ASTM A-500 debido a que es un material resistente y durable.

En la figura 2.6 se muestran los elementos principales de la estructura.



Figura 2. 6: Modelado del chasis

La fuerza aplicada en el asiento del conductor se obtiene con la fórmula de la segunda ley de Newton.

$$F = m \times a$$

**Ec. 2-1**

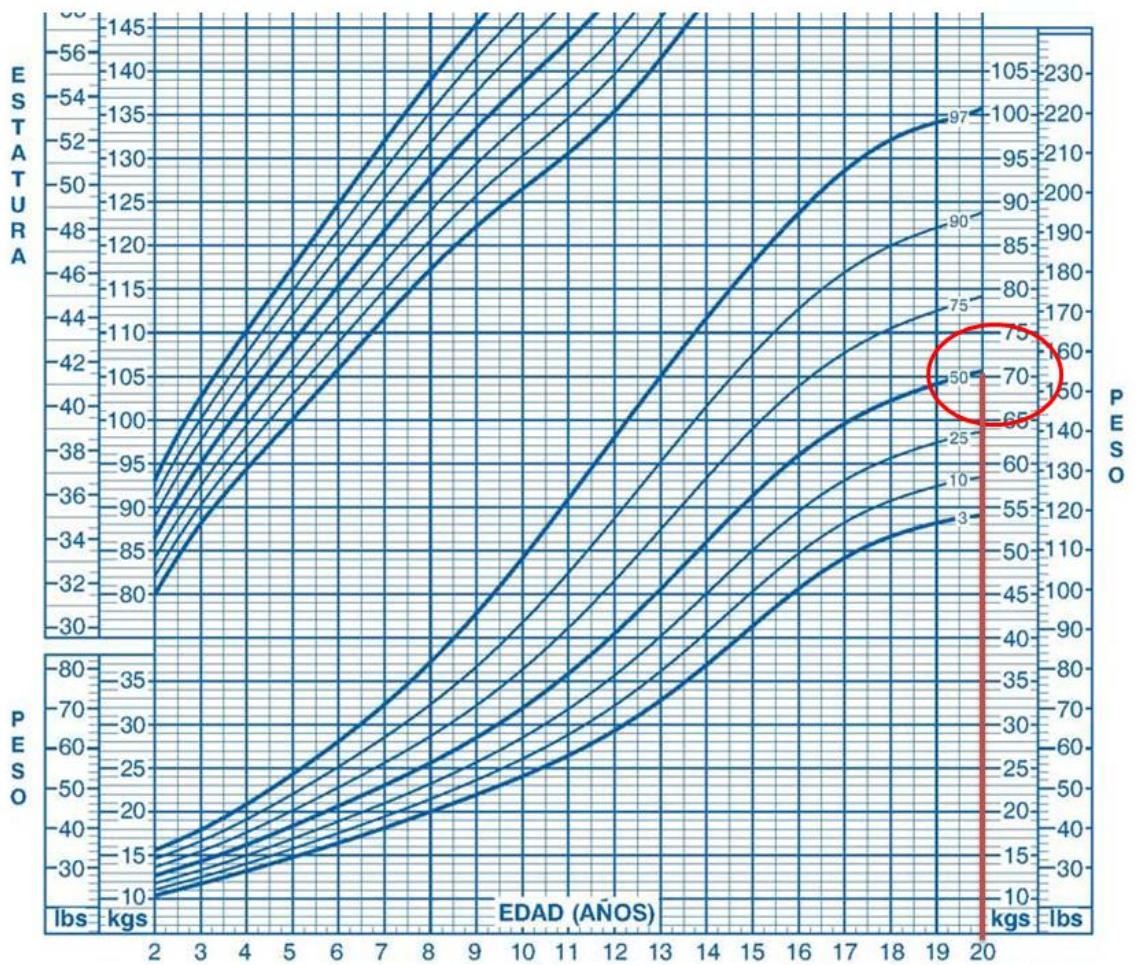
En este caso:

F= fuerza ejercida por el peso de una persona (N)

m= la masa corporal (kg)

a= aceleración de la gravedad (9,8m/s<sup>2</sup>)

De acuerdo a la gráfica de percentiles de masa corporal de la figura 2.7, ubicamos el valor central o la mediana, es decir el peso de un adulto de contextura normal en una edad de 20 años.



**Figura 2. 7: Percentiles de masa corporal**  
**Fuente: MEDSCAPE, 2013**

Entonces el dato de masa corporal de contextura normal es 70kg:

$$F = 70kg \times \frac{9,8 m}{s^2}$$

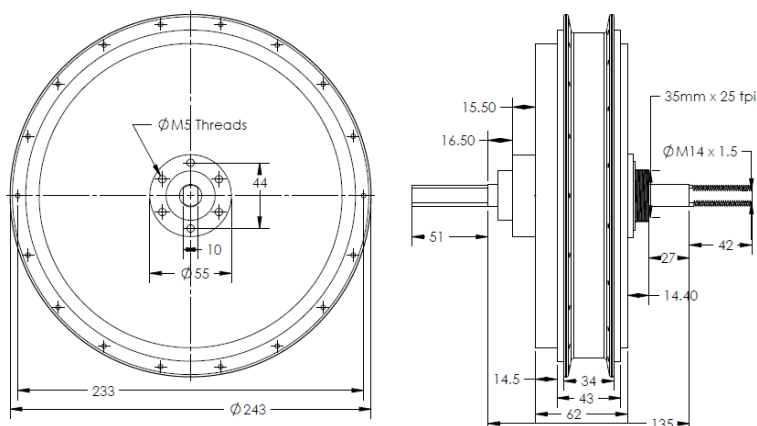
$$F = 686 N$$

La fuerza aplicada en el asiento del conductor será 686 N, la estructura deberá soportar este peso sin inconvenientes, es por esta razón que se han analizado los elementos que pueden fallar o deformarse.

## 2.6 ANÁLISIS DE ESFUERZOS

### 2.6.1 SOPORTE DEL MOTOR

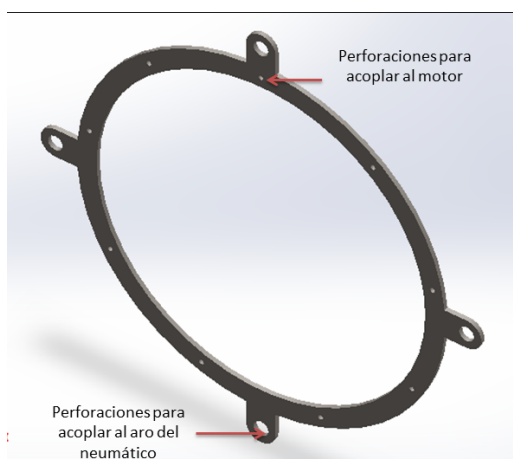
El motor eléctrico es el elemento principal del monociclo, está acoplado al aro del neumático y al motor, tiene perforaciones en las dos caras que se encuentran cercanas al diámetro exterior como se visualiza en la figura 2.8.



**Figura 2. 8: Dimensiones del motor eléctrico**  
Fuente: Ebikes, 2012

Diseñamos 2 soportes, uno para cada lado del motor con un acero laminado de calidad ASTM A36, de 3 mm de espesor con 18 perforaciones, 9 para la derecha y 9 para la izquierda respectivamente para ser sujetados con pernos al motor y además 4 apoyos para fijarlos en el aro del neumático.

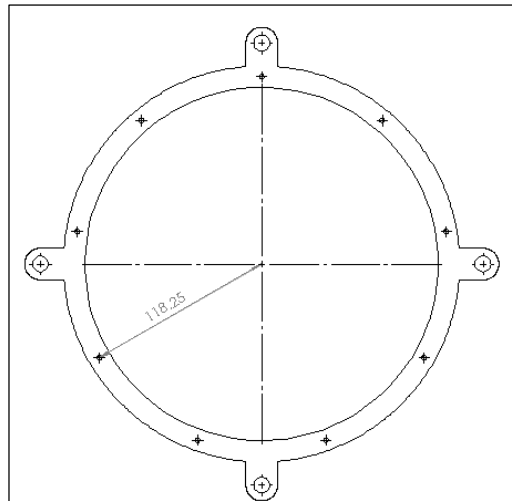
En la figura 2.9 se señalan las perforaciones de un soporte.



**Figura 2. 9: Soporte del motor**



Los alojamientos de los pernos al motor se encuentran a una distancia de 0,11825 m del eje del motor como se indica en la figura 2.10, y el torque nominal de arranque es 60 Nm.



**Figura 2. 10: Distancia del eje del motor a las perforaciones**

Es necesario conocer el dato de la fuerza para la simulación y hallar posteriormente el factor de seguridad.

$$\tau = Fxr \quad \text{Ec. 2-2}$$

De donde:

$\tau$  = Torque (Nm)

F= Fuerza (N)

r= Distancia (m)

Reemplazando los valores con los datos de torque nominal y la distancia desde el eje del motor hacia uno de los alojamientos para los pernos que sostienen al motor tenemos:

$$60 = F \times 0,11825$$

$$F = 507,4 \text{ N}$$

Son dos los soportes para el motor, derecho e izquierdo, en la simulación se coloca el dato de la fuerza como 253,6 N es decir la mitad de la fuerza total porque el análisis es individual para cada lado como se muestra en la figura 2.11.

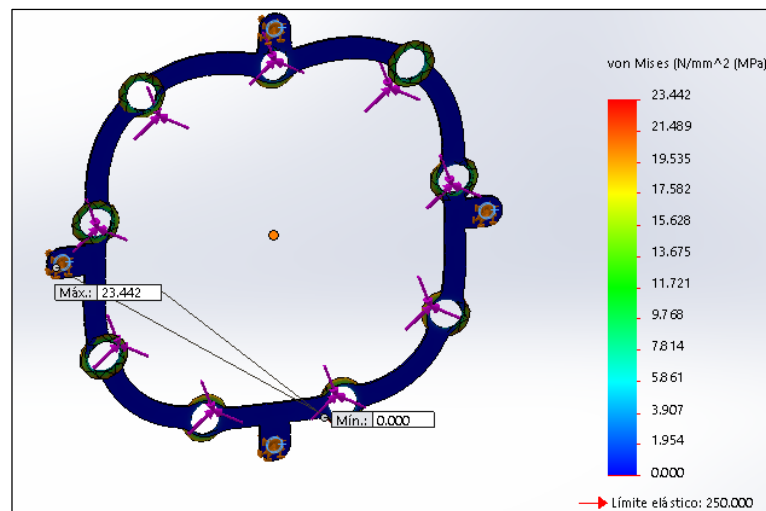


Figura 2. 11: Análisis de Von Mises del soporte del motor

Con la fórmula para determinar el factor de seguridad se verifica si el soporte del motor soportará o no los esfuerzos.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{perm}} \quad \text{Ec. 2-3}$$

De donde:

$F_s$ = factor de seguridad

$S_y$ = resistencia a la cedencia (Mpa)

$\sigma_{perm}$ = esfuerzo de trabajo (Mpa)

Reemplazando los valores:

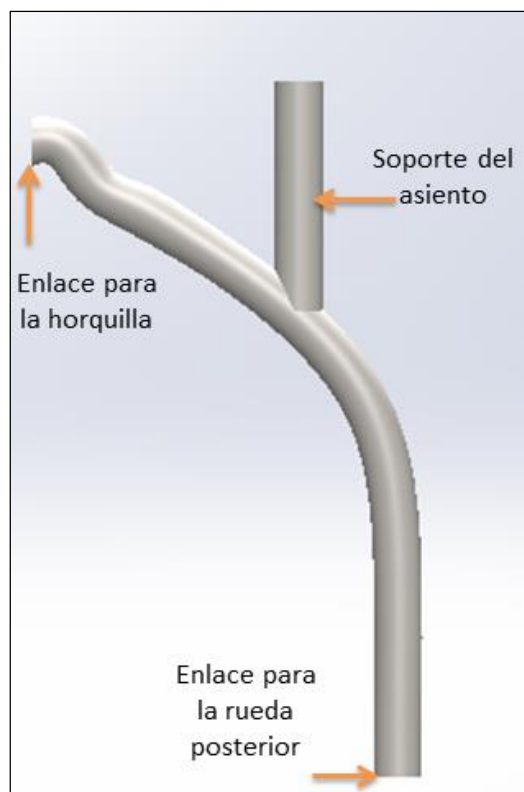
$$F_s = \frac{250}{23,442}$$

$$F_s = 10,6$$

El factor de seguridad es 10,6, los soportes resisten los esfuerzos del motor.

## 2.6.2 SOPORTE DEL ASIENTO Y COLUMNA DE ENLACE

La base del asiento es de forma tubular, en la parte inferior está unido a la columna principal que constituye una barra de acero de calidad ASTM A500 con 44,5 mm de diámetro y 2 mm de espesor con curvaturas con el fin de ocupar menos espacio. El soporte del asiento también debe resistir a las baterías por lo que es uno de los elementos que está sometido a esfuerzos considerables. La figura 2.12 presenta sus partes.



**Figura 2. 12: Modelado del soporte del asiento y la barra de enlace**

En el diseño se basa en la rigidez que debe tener la columna de enlace y el soporte del asiento, también interesa saber en qué puntos se puede deformar, la fuerza ejercida por el peso de una persona de 70 kg, las baterías 5 kg sin embargo por cuestión de seguridad se aplicó un peso de 82

kg para la simulación del peso de la persona y 10 kg para las baterías, en la figura 2.13 se muestran los resultados.

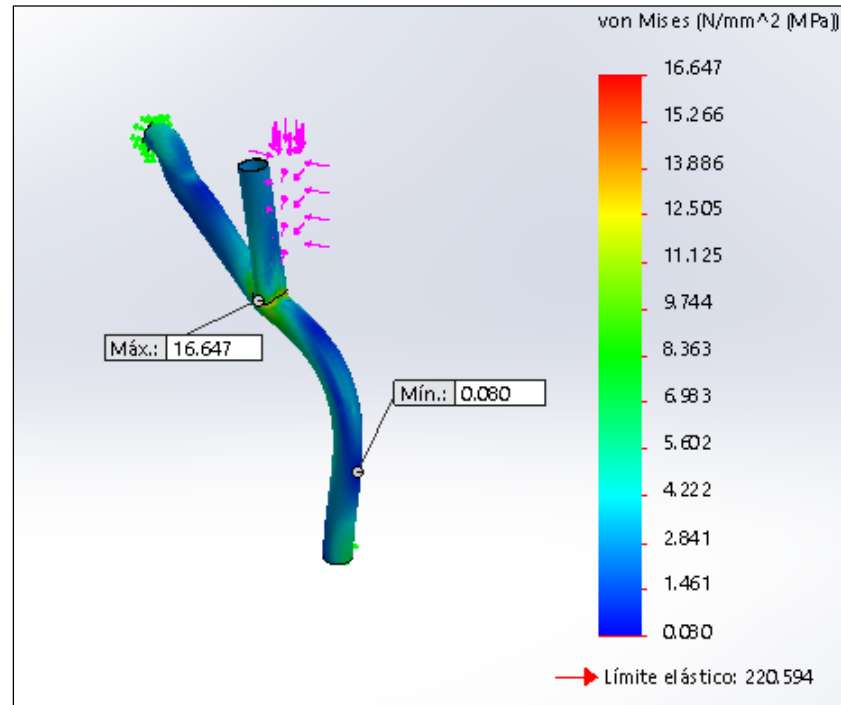


Figura 2. 13: Análisis FEM Von Mises en la barra de enlace y el asiento

Los esfuerzos máximos se encuentran presentes en las zonas de color rojo, según el análisis de Von Mises, el esfuerzo máximo es 16,647 MPa, a continuación se determina el factor de seguridad del elemento, deberá ser mayor a uno para que no sufra fallas.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{perm}}$$

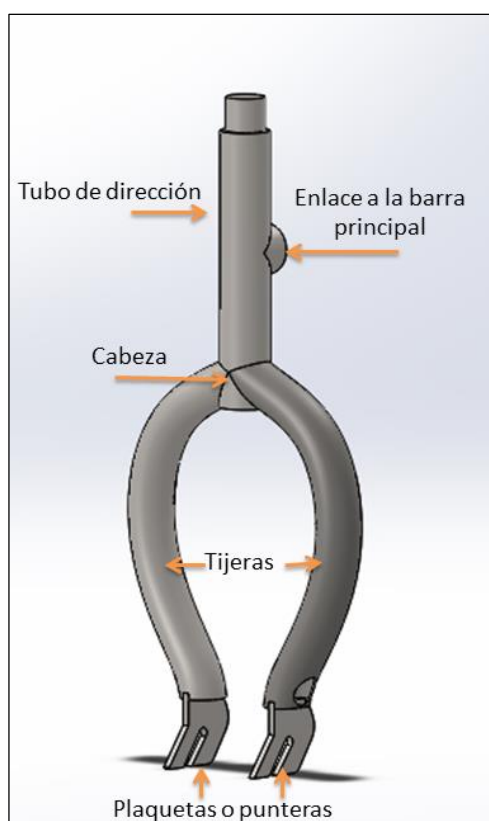
Reemplazando los valores:

$$F_s = \frac{220,594}{16,647}$$

$$F_s = 13,2$$

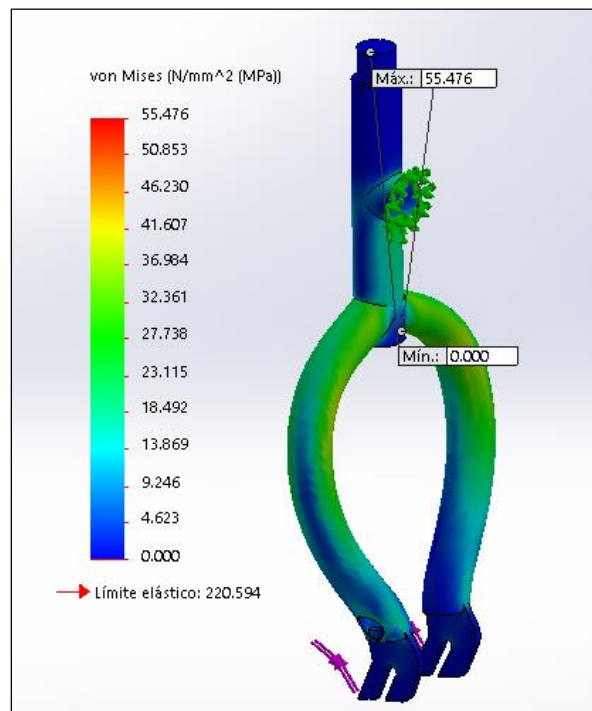
### 2.6.3 HORQUILLA Y PLAQUETAS

En las plaquetas se apoyará el eje del motor, serán construidas de un acero ASTM A36, debe tener un canal para que pueda acoplarse sin holguras y evitar que el cableado sufra daños o se rompa. El material empleado para la horquilla es un acero de calidad ASTM A500 de 38,1 mm de diámetro y 2 mm de espesor. La figura 2.14 indica los componentes de la cremallera y las plaquetas.



**Figura 2. 14: Componentes de la horquilla**

Lo importante es conocer en qué puntos se encuentran los esfuerzos mayores y si el elemento soportará las cargas, el material del elemento soportará hasta 220,594 MPa, se va a calcular el factor de seguridad y en la figura 2.15 se nota la coloración de los puntos sometidos a flexión de la cremallera y las plaquetas.



**Figura 2. 15: Análisis FEM Von Mises en la horquilla y plaquetas**

$$Fs = \frac{S_y}{\sigma_{perm}}$$

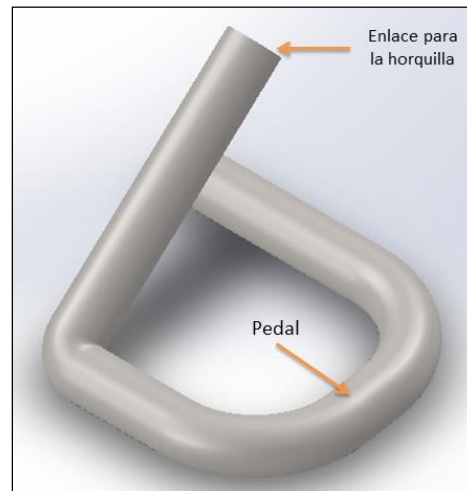
$$Fs = \frac{220,594}{55,48}$$

$$Fs = 3,9$$

El factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es 3,9, las plaquetas y la cremallera soportarán sin problemas los esfuerzos.

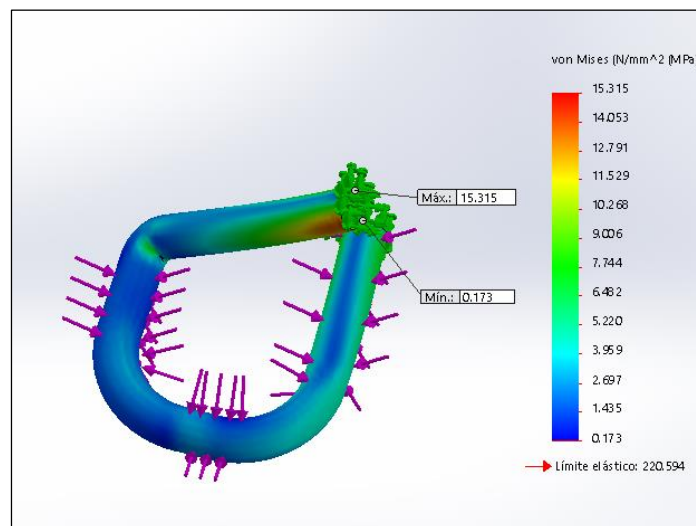
#### 2.6.4 PEDALES

Este soporte estará fijado en los extremos de la horquilla y deben soportar el peso de una persona es decir 70 kg. Es un tubo estructural de acero ASTM A 500 doblado con un diámetro de 25,4 mm como se observa en la figura 2.16.



**Figura 2. 16: Pedal**

Al analizar los esfuerzos máximos en el software, el esfuerzo que soportará el elemento es 220,594 Mpa, y en la simulación se aplica una fuerza de 800 N como se observa en la figura 2.17. A continuación se determina el factor de seguridad.



**Figura 2. 17: Análisis FEM Von Mises en el pedal**

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{perm}}$$

$$F_s = \frac{220,594}{15,315} = 14,44$$

El valor del factor de seguridad para el pedal es 14,44. Resiste sin problemas los esfuerzos del peso de una persona.

### 2.6.5 RUEDA DE SOPORTE

La estabilidad del prototipo es fundamental por esta razón se ha adecuado una rueda de soporte, resiste 80 kg, tomando en cuenta que la masa que soporta el eje posterior es 65,4 kg de acuerdo con los cálculos que se realizan a continuación en el análisis de cargas vivas y muertas que intervienen en el funcionamiento del monociclo.

## 2.7 CARGAS

En el peso total de un vehículo se consideran todas las cargas que lo conforman es decir las cargas vivas y cargas muertas.

### 2.7.1 CARGAS MUERTAS

Las cargas muertas la conforman los elementos que se describen en la tabla 2.2.

Tabla 2. 2

#### Cargas muertas del monociclo

DESCRIPCIÓN	MASA (kg)
Chasis	10
Baterías	5
Neumático y aro	12
Asiento	2
Carrocería	8
Accesorios	1
<b>Total:</b>	<b>38 kg</b>



### a. FUERZA GENERADA POR LAS CARGAS MUERTAS

$$F_{cm} = m_{cm} \cdot a \quad \text{Ec. 2-4}$$

Dónde:

$F_{cm}$  = Fuerza generada por la carga muerta

$a$  = Aceleración de la gravedad

$m_{cm}$  = Carga muerta del monociclo

$$F_{cm} = (38 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2)$$

$$F_{cm} = 372,4 \text{ N}$$

### b. FUERZA GENERADA POR LA CARGA MUERTA CONSIDERANDO UN FACTOR CRÍTICO

$$F_{cm(20\%)} = F_{cm} + (0,2) F_{cm} \quad \text{Ec. 2-5}$$

$$F_{cm(20\%)} = 372,4 \text{ N} + (0,2) (372,4 \text{ N})$$

$$F_{cm(20\%)} = 446,88 \text{ N}$$

## 2.7.2 CARGAS VIVAS

Las cargas vivas son aquellas producidas por el tipo de uso u ocupación de la estructura. En la tabla 2.2 se encuentran las cargas vivas del monociclo.

**Tabla 2. 3**  
**Cargas vivas del monociclo**

DESCRIPCIÓN	MASA(kg)
Conductor	70
Motor	7
Total	77 kg

### a. FUERZA GENERADA POR LAS CARGAS VIVAS

$$F_{cv} = m_{cv} \cdot a \quad \text{Ec. 2-6}$$

Dónde:

$F_{cv}$  = Fuerzas generadas por cargas vivas

$a$  = Aceleración de la gravedad

$m_{cv}$  = Cargas vivas del monociclo

$$F_{cv} = (77 \text{ kg}) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2)$$

$$F_{cv} = 754,6 \text{ N}$$

### b. FUERZA GENERADA POR LAS CARGAS CONSIDERANDO UN FACTOR CRÍTICO

$$F_{cv(20\%)} = F_{cv} + (0,2) \quad \text{Ec. 2-7}$$

$$F_{cv(20\%)} = 754,6 \text{ N} + (0,2)(754,6 \text{ N})$$

$$F_{cv(20\%)} = 905,52 \text{ N}$$

### 2.7.3 FUERZA TOTAL GENERADA POR LAS CARGAS EN EL PROTOTIPO CONSIDERANDO UN FACTOR CRÍTICO

$$F_{ct(20\%)} = F_{cm(20\%)} + F_{cv(20\%)} \quad \text{Ec. 2-8}$$

Dónde:

$F_{ct}$  = Fuerza total generada por las cargas

$$F_{ct(20\%)} = 446,88 \text{ N} + 905,52 \text{ N}$$

$$F_{ct(20\%)} = 1354,2 \text{ N}$$

### 2.7.3 FUERZAS EJE DELANTERO Y EJE POSTERIOR

Para calcular las fuerzas sobre los ejes delantero y posterior debemos conocer las distancias al centro de masa como se observa en la figura 2.18.

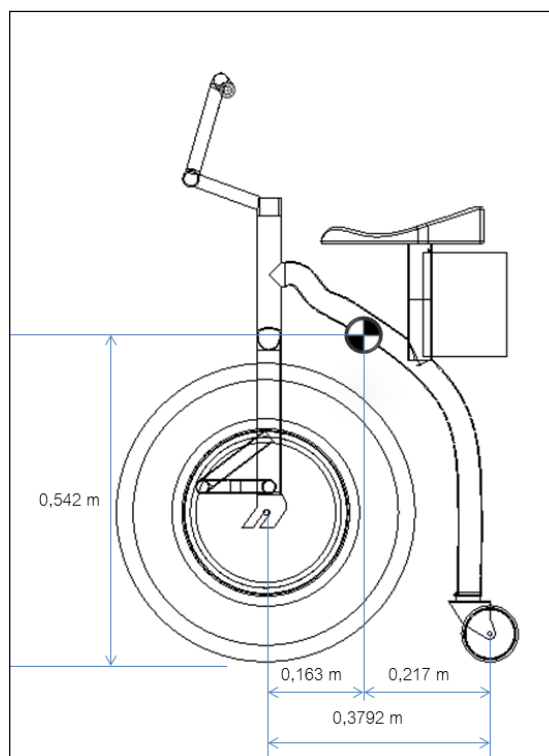


Figura 2. 18: Distancia de los ejes al centro de masa

#### a. CÁLCULO DE LA FUERZA SOBRE EL EJE DELANTERO CONSIDERANDO UN FACTOR CRÍTICO

$$F_d = F_{ct} (20\%) \cdot d/B$$

Ec. 2-9

Dónde:

$F_d$  = Fuerza sobre el eje delantero

$d$  = Distancia desde el centro de gravedad hasta el eje delantero

$B$  = Distancia entre ejes

$$F_d = 1354,2 \text{ N} \cdot (0,163 \text{ m}) / (0,3792 \text{ m})$$

$$F_d = 582,11 \text{ N}$$

## b. CÁLCULO DE LA FUERZA SOBRE EL EJE POSTERIOR CONSIDERANDO UN FACTOR CRÍTICO

$$F_p = F_{ct} (20\%) \cdot (B-d)/B \quad \text{Ec. 2-10}$$

Dónde:

$F_p$  = Fuerza sobre el eje posterior

$d$  = Distancia desde el centro de gravedad hasta el eje delantero

$B$  = Distancia entre ejes

$$F_d = 1354,2 \text{ N} \cdot (0,3792 - 0,163) \text{ m} / (0,3792) \text{ m}$$

$$F_d = 774,09 \text{ N}$$

### 2.7.4 CONFIGURACIÓN DEL MONOCICLO

Para seleccionar adecuadamente los elementos como la rueda posterior vamos a conocer las fuerzas ejercidas en los ejes y sus correspondientes porcentajes.

La tabla 2.4 muestra los porcentajes para el eje delantero y posterior.

**Tabla 2. 4**

**Distribución de fuerzas**

DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS		
	Fuerza (N)	Porcentaje (%)
<b>Eje delantero</b>	582,11	42,93 %
<b>Eje posterior</b>	774,09	57,07 %
<b>TOTAL</b>	1356,02	100 %

## 2.7.5 DISTRIBUCIÓN DE MASAS

La distribución de las masas del monociclo están en función de las distancias de los ejes al centro de gravedad.

### a) MASA TOTAL EJE DELANTERO

$$m_{ed} = \frac{m \cdot d}{B} \quad \text{Ec. 2-11}$$

Dónde:

$m_{ed}$  = Masa total eje delantero

$m$  = Masa total (cargas vivas mas cargas muertas)

$d$  = Distancia al centro de gravedad desde el eje delantero

$B$  = Distancia entre ejes

$$m_{ed} = \frac{(77 + 38) \text{ kg} \cdot 0,163 \text{ m}}{0,3792 \text{ m}}$$

$$m_{ed} = 49,43 \text{ kg}$$

### b) MASA TOTAL EJE POSTERIOR

$$m_{ep} = \frac{m \cdot (B-d)}{B} \quad \text{Ec. 2-12}$$

Dónde:

$m_{ep}$  = Masa total eje posterior

$d$  = Distancia al centro de gravedad desde el eje delantero

$B$  = Distancia entre ejes

$$m_{ep} = \frac{(77 + 38) \text{ kg} \cdot (0,217) \text{ m}}{0,3792 \text{ m}}$$

$$m_{ep} = 65,8 \text{ kg}$$

## 2.8 ERGONOMÍA

La ergonomía es la adaptación de los objetos, medios y entorno a la persona con el propósito de lograr una eficacia funcional y bienestar humano. Para comprender con más claridad acerca de la ergonomía, se debe tener en cuenta lo siguiente:

a) Como máquina se entiende un elemento al servicio de la persona, con las opciones de ser modificada y también perfeccionada. La máquina en este caso es el monociclo.

b) En función de la persona, la máquina deberá ser diseñada con el propósito de permitirle realizar una actividad libre de cualquier fatiga física, sensorial o psicológica.

El sistema persona –máquina se describe en la figura 2.19.

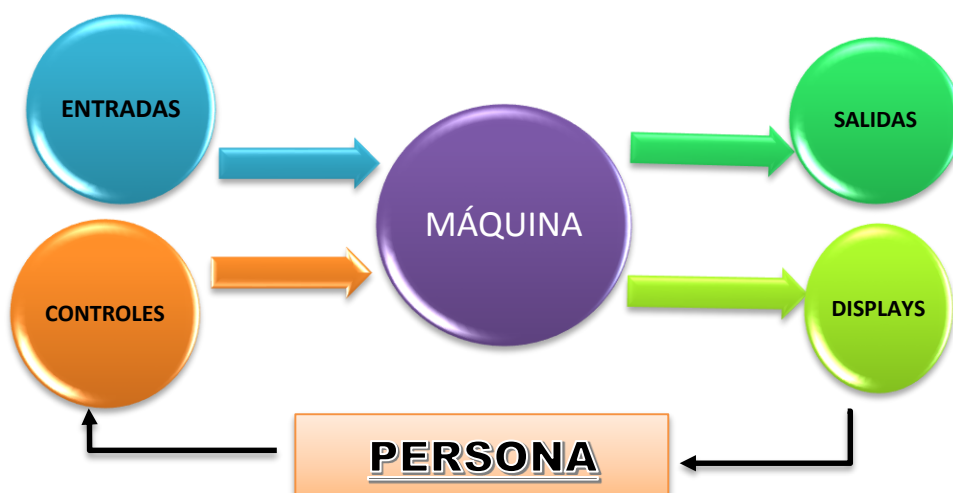
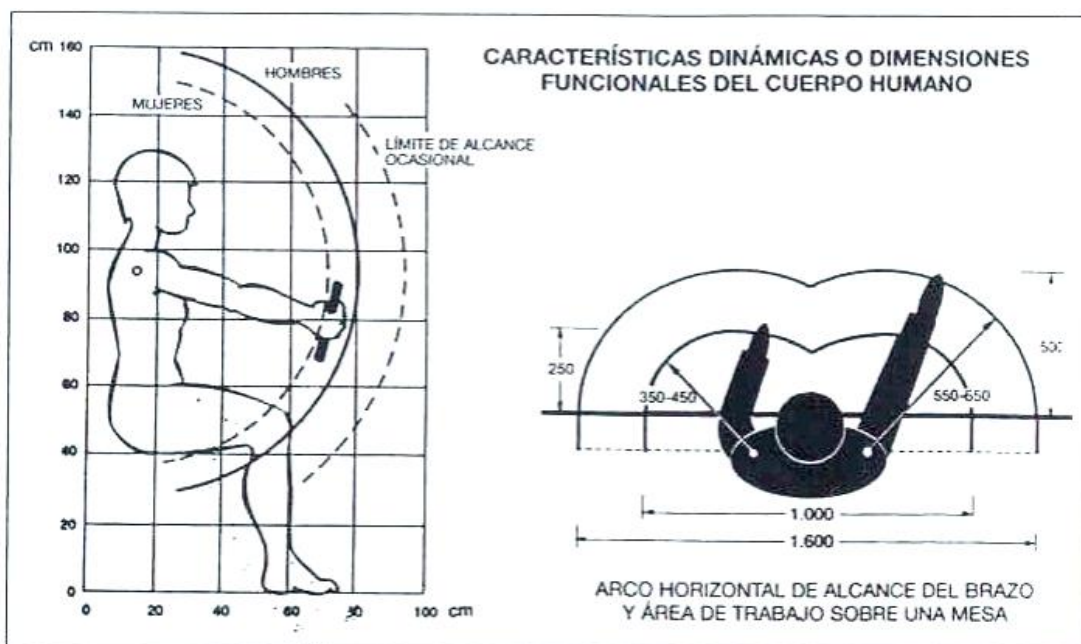


Figura 2. 19: Sistema máquina persona  
Fuente: <http://europa.eu.int/eur-lex/es/index.html>

De acuerdo a las dimensiones del cuerpo humano, se debe tomar en cuenta a la ergonomía geométrica para analizar las posturas del piloto sobre el monociclo y dimensionarlo adecuadamente para una conducción cómoda y segura.

### 2.8.1 ERGONOMÍA GEOMÉTRICA

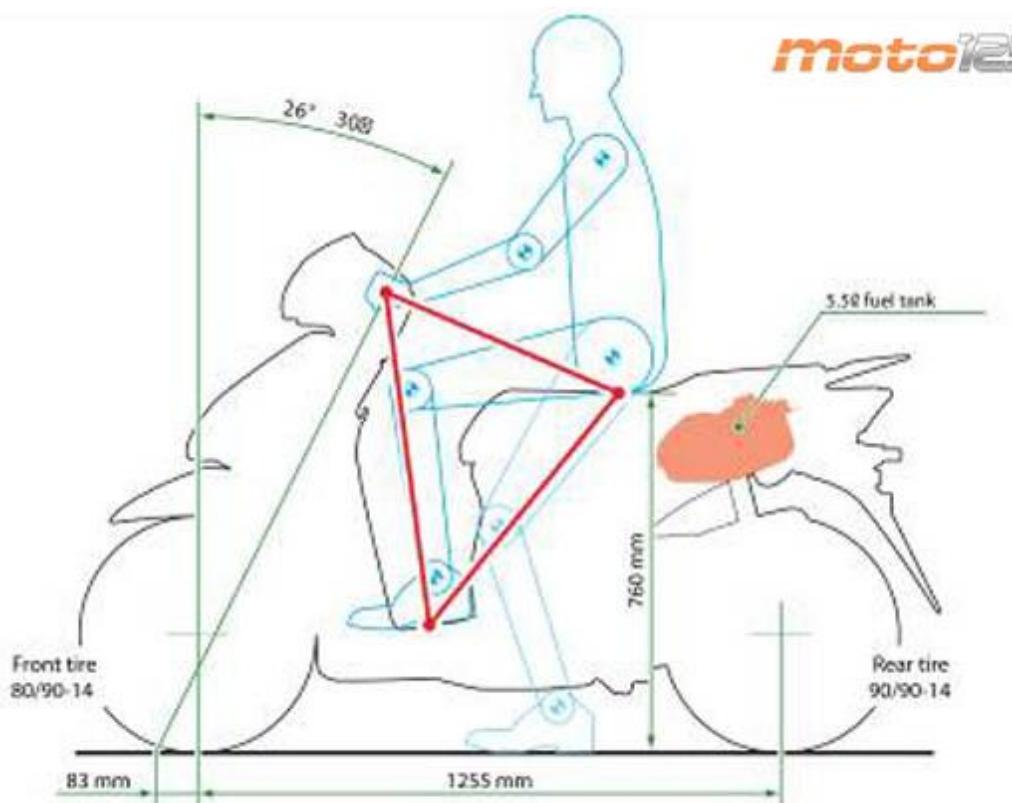
Esta parte de ergonomía estudia la relación de la persona y las relaciones geométricas con la máquina, en este caso sería la posición que tiene la persona el momento de conducir el monociclo. La figura 2.20 muestra los alcances que tienen los brazos de una persona en posición sentada donde el alcance de las manos desde el hombro tiene una longitud de entre 550 a 650 mm.



**Figura 2. 20: Características dimensionales del cuerpo humano**  
Fuente: <http://europa.eu.int/eur-lex/es/index.html>

La posición de pilotaje de una moto convencional debe formar un triángulo entre el manillar, la base del asiento y el pedal como se puede notar en la figura 2.21. El asiento tiene una altura de 75 cm desde el piso. Se puede observar también el ángulo inclinación de avance de la dirección y la

longitud entre los ejes pero es necesario señalar que el prototipo no tiene las mismas dimensiones en sus componentes, lo importante en esta parte es tener en cuenta la postura ergonómica del piloto y la altura del asiento con la finalidad de que el monociclo tenga ergonomía geométrica.



**Figura 2. 21: Posición de pilotaje en una moto**  
Fuente: Moto 125cc, 2012

El monociclo es un medio de transporte personal, es compacto y a pesar de sus dimensiones relativamente cortas en relación a una motocicleta común, posee varias características que permiten su ergonomía en el momento de conducirlo. En la figura 2.22 se observa cómo es la posición del conductor notando la distancia de 550 mm desde el hombro al manillar, el triángulo conformado entre el manillar, el pedal y el asiento y su altura de 750mm. También se debe tomar en cuenta varias condiciones de posicionamiento de la cabeza, brazos, puños, pies y codos.



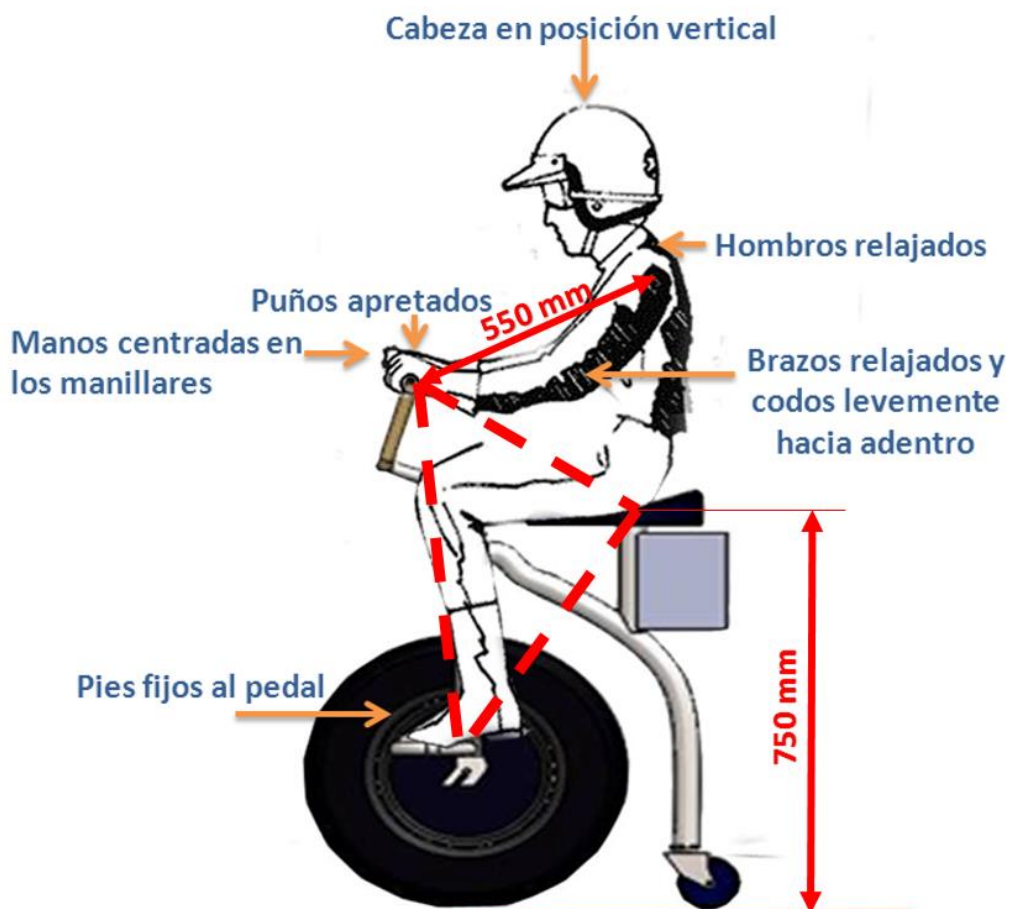


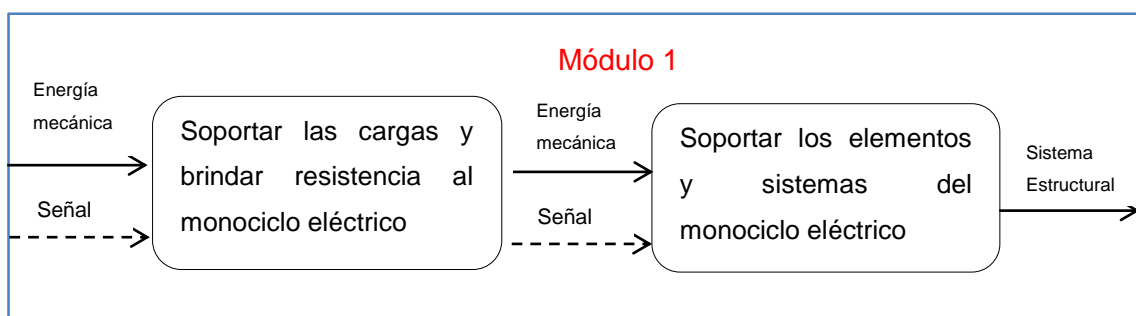
Figura 2. 22: Posición de conducción  
Fuente: Ghiggeri, 2008

## 2.9 ANÁLISIS FUNCIONAL

Es el proceso de dividir en módulos o bloques funcionales y constructivos los diferentes elementos y sistemas que conforman el monociclo eléctrico.

### 2.9.1 MÓDULO 1. SISTEMA ESTRUCTURAL

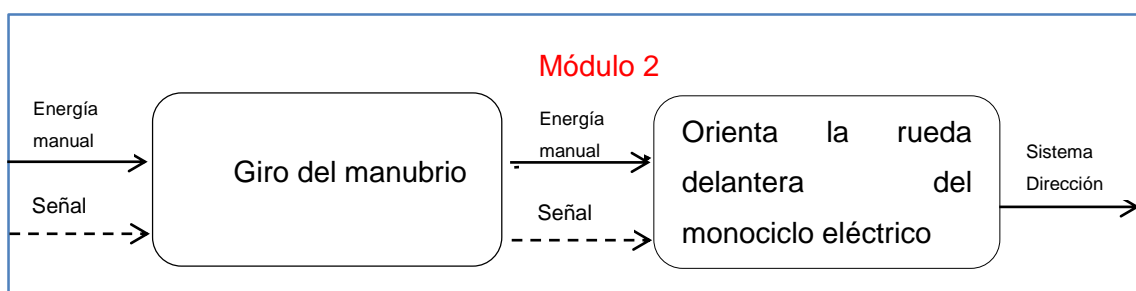
Soportas las cargas vivas y cargas muertas del monociclo eléctrico, además de sujetar los elementos y sistemas del mismo, ver módulo figura 2.23.



**Figura 2. 23: Módulo sistema estructural**

### 2.9.2 MÓDULO 2. SISTEMA DE DIRECCIÓN

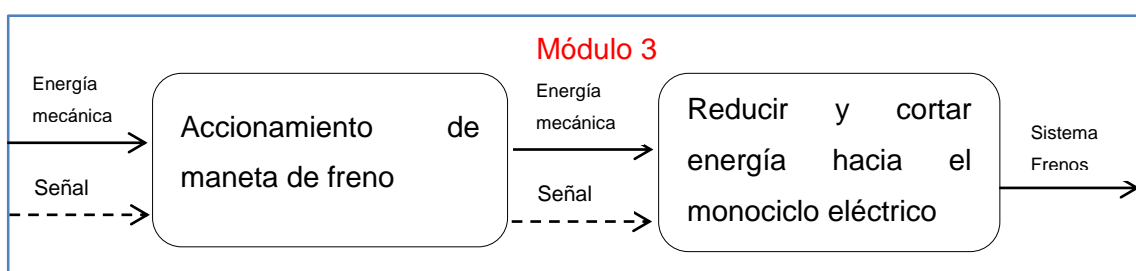
Orientar la rueda delantera del monociclo eléctrico, ver módulo figura 2.24.



**Figura 2. 24: Módulo del sistema de dirección**

### 2.9.3 MÓDULO 3. SISTEMA DE FRENOS

Reducir la velocidad y cortar la señal por completo del monociclo eléctrico dependiendo de las necesidades del conductor, ver módulo figura 2.25.



**Figura 2. 25: Módulo sistema de frenos**

## 2.9.4 MÓDULO 4. SISTEMA DE ACCIONAMIENTO

Producida por la energía que suministran las baterías por medio del accionamiento del switch ver módulo figura 2.26.

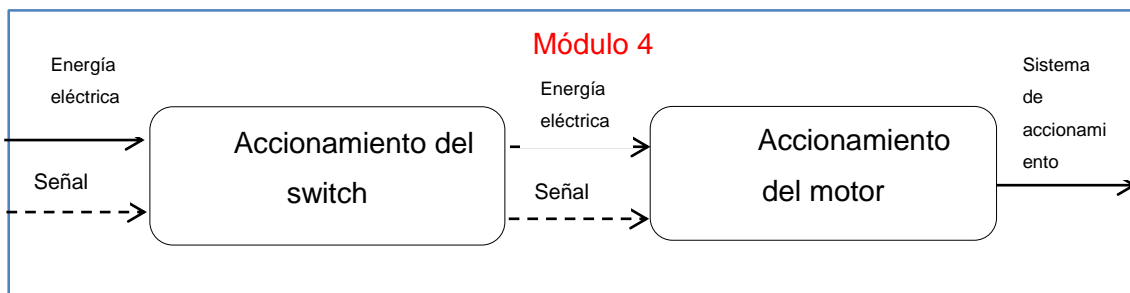


Figura 2. 26: Módulo sistema de accionamiento

## 2.9.5 MÓDULO 5. SISTEMA ELÉCTRICO

Dar a conocer a conductores y peatones de las maniobras que se pretende realizar durante la conducción o en climas adversos, ver módulo figura 2.27.

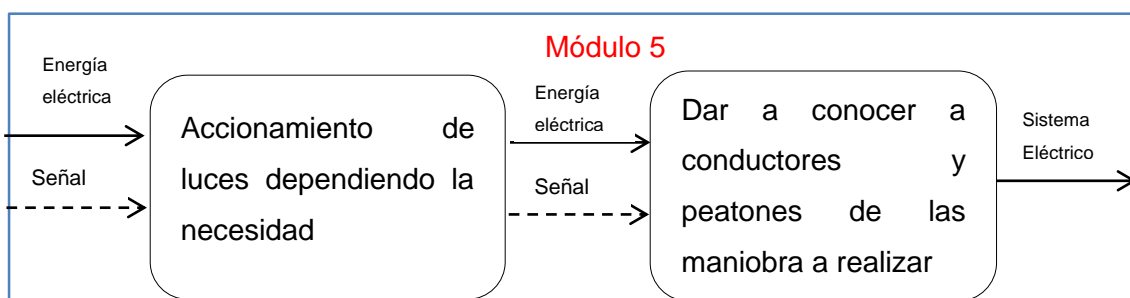


Figura 2. 27: Módulo sistema eléctrico

## 2.10 DIAGRAMA DE SUB – SISTEMAS

La figura 2.28 muestra el diagrama de los sub-sistemas que empleara el monociclo eléctrico.

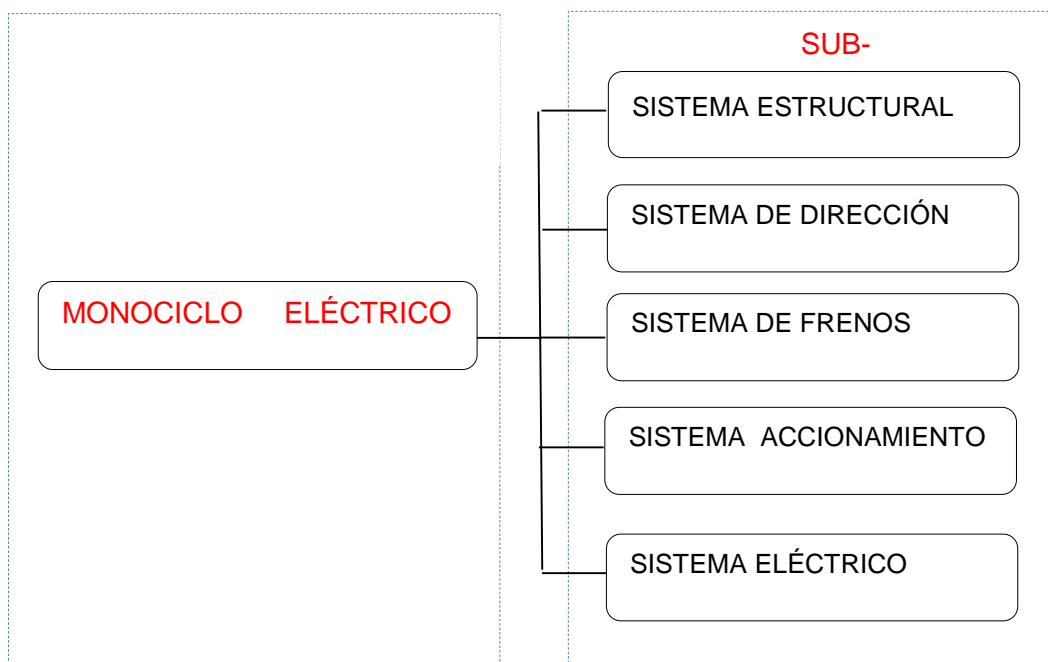


Figura 2. 28: Subsistemas

## CAPÍTULO III

### 3 CIRCUITO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

#### 3.1 DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO

Para determinar qué tipo de componentes eléctrico se realizó una selección de acuerdo al tipo de exigencias a la que se encuentra expuesta el monociclo eléctrico y características de funcionamiento de cada elemento.

El circuito eléctrico es el encargado de suministrar, transportar, dirigir la corriente necesaria para propulsar al monociclo, se tomó en cuenta los aspectos de carga, autonomía de baterías, potencia del motor.

##### 3.1.1 CÁLCULOS DEL MOTOR

En el capítulo 1 se describen las características de los motores DC, se analiza cada tipo, tomando en cuenta dicho análisis y en función del tamaño de la estructura, es decir, la facilidad para acoplarlo se ha seleccionado el motor brushless, a continuación se describen algunos puntos importantes tomados también en cuenta:

- Menos mantenimiento por no poseer escobillas
- Mayor eficiencia debido a menos pérdidas de calor
- Menor peso
- La autonomía es mayor
- Menos ruidoso
- Menos interferencias
- Son los más utilizados en motos y bicicletas eléctricas

Adicional a esto la selección se tomó en cuenta la potencia del motor que es uno de los aspectos más importantes, el peso del chasis, peso promedio de una persona entre 70 Kg a 90 Kg tomando como referencia a percentil de

masa corporal, peso de las baterías, y accesorios. La tabla 3.1 se detalla pesos estimados del monociclo eléctrico.

**Tabla 3. 1**  
**Peso estipulado del monociclo eléctrico**

Descripción	Peso (kg)
Motor	7
Chasis	10
Persona	70
Baterías	5
Neumático y aro	12
Asiento	2
Carrocería	8
Llanta de apoyo	0,5
Accesorios	1
<b>TOTAL</b>	<b>115,5 kg</b>

Partiendo de la siguiente ecuación: (Becerril Sandoval, 2014)

$$F = C_{rr} \times Nf \quad \text{Ec.3-1}$$

$$Nf = m \times g \quad \text{Ec.3-2}$$

Dónde:

F: Fuerza para mover el monociclo eléctrico.

$C_{rr}$ : Coeficiente de resistencia a la rodadura. (0,03 para llanta asfalto)  
(William R, 2014)

Nf : Fuerza normal.

m: masa.

g: gravedad. (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$$F = (0,03)(115,5 \text{ kg})(9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$F = 33,991 \text{ N}$$

El torque requerido depende del radio de la rueda y la fuerza de empuje:  
(Becerril Sandoval, 2014)

$$Tn = R \times F \quad \text{Ec.3-3}$$

Dónde:

Tn: Torque necesario.

R: Radio de la llanta.

F: Fuerza de empuje.

Se utiliza una llanta de Rin 12 in con un diámetro exterior de 54 cm es decir, R = 0,27 m.

$$Tn = (0,27 \text{ m})(33,991 \text{ N})$$

$$Tn = 9,117 \text{ Nm}$$

Para llegar a la velocidad, máxima deseada se calcula el valor de la potencia requerida; tomando en cuenta la velocidad máxima del monociclo es de 25 km/h, es decir 6.94 m/s: (Becerril Sandoval, 2014)

$$P_{Vmax} = F \times Vmax \quad \text{Ec.3-4}$$

Dónde:

P<sub>Vmax</sub>: Potencia máxima.

F: Fuerza de empuje.

V<sub>max</sub>: Velocidad máxima.

$$P_{Vmax} = (33,991 \text{ N}) (6,94 \text{ m/s})$$

$$P_{Vmax} = 235,89 \text{ W}$$

Para calcular la velocidad angular a velocidad máxima se utiliza la siguiente expresión: Becerril Sandoval, 2014)

$$\omega = \frac{Vmax}{R} \quad \text{Ec.3-5}$$

Dónde:

$\omega$ : velocidad angular.

R: radio

$$\omega = \frac{6,94 \text{ m/s}}{0,27 \text{ m}}$$

$$\omega = 25,703 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Debido a que la velocidad angular está dada en RPM, en las especificaciones de los motores, es conveniente realizar la siguiente conversión: (Becerril Sandoval, 2014)

$$\omega_{RPM} = \frac{\omega(60)}{2\pi} \quad \text{Ec.3-6}$$

$$\omega_{RPM} = \frac{25,703 \text{ rad/s} (60)}{2\pi}$$

$$\omega_{RPM} = 245,45 \text{ RPM}$$

Para la selección del motor fueron determinados los parámetros calculados de torque y potencia por lo tanto se seleccionó un motor eléctrico de 500 W con las siguientes especificaciones mostradas en la tabla 3.2:

**Tabla 3. 2**  
**Especificaciones técnicas del motor**

PARÁMETROS	ESPECIFICACIÓN
Tipo de motor	Brushless CC
Velocidad sugerida (km/h)	$\leq 20$
Velocidad máxima (km/h)	37
Voltaje estipulado (V)	36
Salida estipulada (W)	500



### 3.1.2 SELECCIÓN DEL MOTOR

Existen varios tipos de motor brushless con diferentes características como potencia, voltaje, costo, disponibilidad, dimensiones, peso, velocidad, procedencia entre otras, por esta razón se realizó una comparación mostrada en la tabla 3.3 entre los motores que mejor se adaptan a las necesidades del proyecto.

**Tabla 3. 3**  
**Características de los motores**

No	Características	Ebike 1000	9continent	Ebike 250
1	Pot. nominal	1000 W	500 W	200 W
2	Voltaje	48 V	36 V	36 V
3	Torque	13,7 Nm	25 Nm @25 km/h	7,8 Nm
4	Dimensiones	30X5 cm	24x5 cm	20x7cm
5	Velocidad	0-32 Km/h	0-40 Km/h	0-28 Km/h
6	Peso	12 lb	9 lb	9 lb
7	Precio (S.I)	\$ 300	\$ 250	\$ 219
8	Procedencia	Inglaterra	EEUU	Inglaterra
9	Imagen			

**Fuente:** Electricbike, 2015

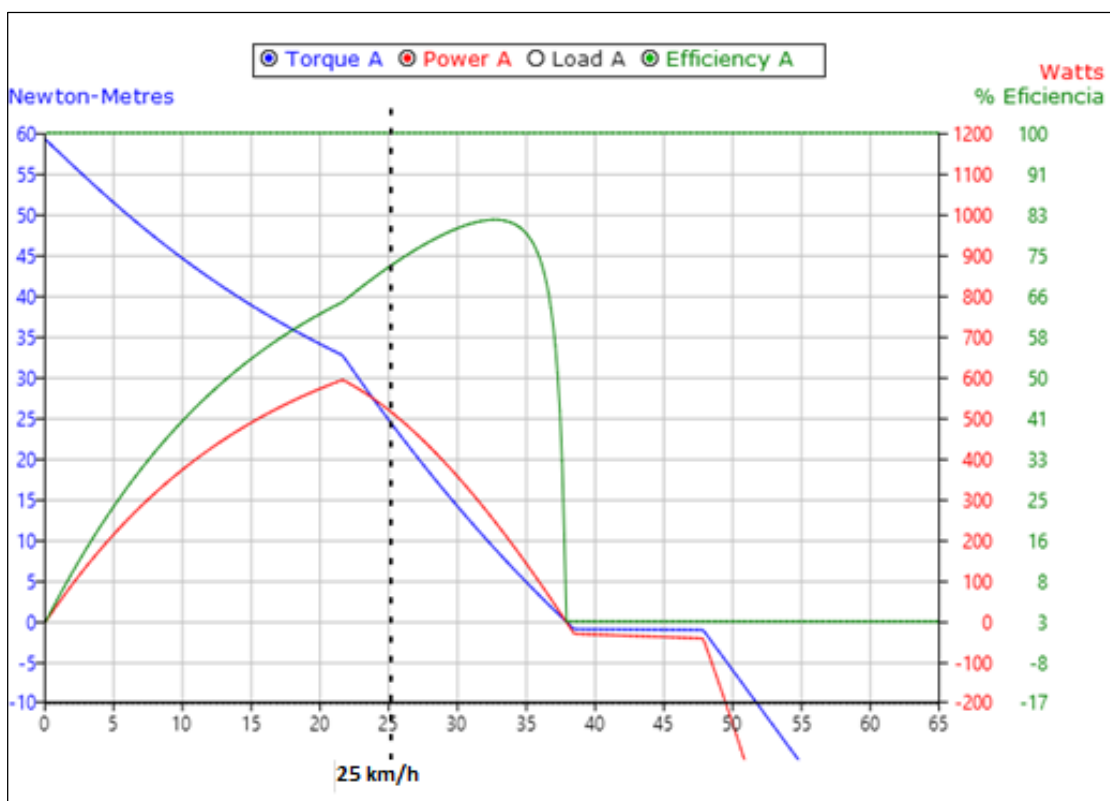
Para la selección del motor más apropiado en la tabla 3.4 se muestra una matriz en la cual se ponderan los 3 motores de acuerdo a las características.

**Tabla 3. 4**  
**Matriz de selección del motor**

No	Características	Puntuación	Ebike 1000	9continent	Ebike 250
1	Potencia	0,25	8	10	7
2	Torque	0,2	9	9	7,5
3	Velocidad	0,1	8,5	9	8
4	Peso	0,1	8	8,5	8,5
5	Tamaño	0,2	10	10	10
6	Precio	0,15	8	9	9,5
7	Total	1	8,65	9,4	8,32

### 3.1.3 CURVAS DEL MOTOR SELECCIONADO

El motor seleccionado es el 9contient brushless de 500 W y 36 V, a continuación en la figura 3.1 observamos las curvas características.



**Figura 3. 1:Curvas características de motor 9continent**  
**Fuente: Ebikes, 2015**

En la figura 3.1 se puede observar que a 25 km/h, está la velocidad que necesita el monociclo eléctrico alcanzar por seguridad para el conductor de posibles accidentes ya que al ser manejado en tramos cortos no se necesita alcanzar grandes velocidades y al tener 3 baterías de 12 V conectadas en serie la máxima potencia que nos genera este motor aplicando 36 V es de 500 W a 25 km/h.

A medida que aumenta la velocidad el torque que genera el motor 9continent disminuye como se aprecia en la figura 3.1.

La eficiencia que tiene el motor 9continent a 25 km/h es del aproximadamente del 73 % como se muestra en la figura 3.1, es por estas razones y las antes mencionadas en la tabla 3.4 que se optó por dicho motor.

#### **3.1.4. SELECCIÓN DE BATERÍA**

La selección de la batería se la realizo bajo las siguientes consideraciones:

- El tamaño de la batería es proporcional al tamaño del prototipo.
- El voltaje que se necesita para energizar el monociclo es de 36 V por esta razón conectamos 3 baterías en serie de 12 V / 7 Ah

Se analizó una a una las diferentes tecnologías en baterías y se llegó a la conclusión que la mejor opción era equipar el sistema con baterías de ácido plomo en gel debido a su capacidad de almacenamiento de carga y a la densidad específica de energía vs. Masa y volumen. En la figura 3.2 se puede apreciar el tipo de batería seleccionada por sus características y peso.



**Figura 3. 2: Batería marca ViperTek**

La batería es uno de los componentes fundamentales del monociclo eléctrico, pues suministra la energía necesaria para que el motor desarrolle su potencia. Se escogerá baterías 3 baterías de 12 V – 7 Ah.

Datos:

Baterías: 12 V / 7 Ah

Potencia del motor: 500 w

Velocidad del motor: 37,01 km /h

Autonomía=  $((36 \times 7 \times 37,01))/500$

Autonomía= 18,65 km

Las baterías proporcionan el voltaje y la intensidad necesaria para energizar al monociclo eléctrico y son tres las cuales tienen las siguientes características detalladas en la tabla 3.5.

**Tabla 3. 5**  
**Características de la batería ViperTek 12 V/ 7 Ah**

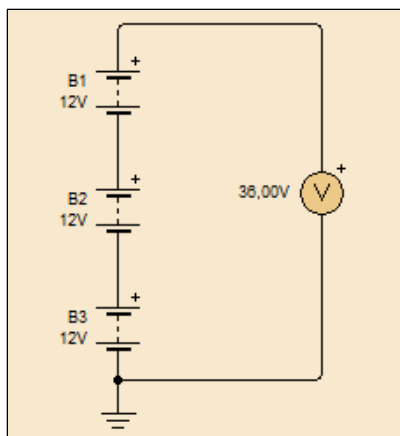
No.	CARACTERÍSTICAS	VALORES	UNIDADES
1	Batería	ViperTek	N/A
2	Voltaje	12	Voltios
3	Amperaje	7	Amperios
4	Peso c/u	3	Kilogramos
5	Altura	9.5	cm
6	Espesor	6	cm
7	Ancho	15	cm

### 3.1.5 CONEXIÓN EN SERIE DE BATERÍAS

Para energizar el monociclo eléctrico conectamos las baterías en serie, el borne positivo o negativo de la batería, se conecta al borne opuesto de la otra de idéntica característica y de igual manera se conecta la tercera batería, la suma resultante tendrá el triple de tensión que cada batería en forma individual, esto lo realizamos para aumentar el voltaje que necesita para poder activar el motor que se encuentra en el centro de la rueda.

El resultado de esta conexión en serie es de 36 V/ 7 Ah resultado de la conexión en serie de 3 baterías individuales de 12 V/ 7 Ah.

La figura 3.3 muestra la simulación en el software live wire de las conexiones en serie de las baterías.



**Figura 3. 3: Conexión de baterías en software live wire**

Es importante tener en cuenta que las baterías que se asociarán en serie deben ser de la misma capacidad y de preferencia de la misma marca y modelo como la que se aprecia en la figura 3.4, tanto en la carga como en su funcionamiento de lo contrario habrá un comportamiento disparejo y esto afectará al desempeño como a la vida útil del conjunto de baterías.



**Figura 3. 4: Conexión en serie de baterías de la misma marca y modelo**

### **3.1.6 SELECCIÓN DEL CARGADOR DE BATERÍAS**

La selección del cargador depende del tipo de baterías a utilizar, y depende del tipo de voltaje que va hacer necesario que este entregue para cargar las baterías, la figura 3.5 muestra el tipo de cargado seleccionado con las siguientes características mostradas en la tabla 3.6.



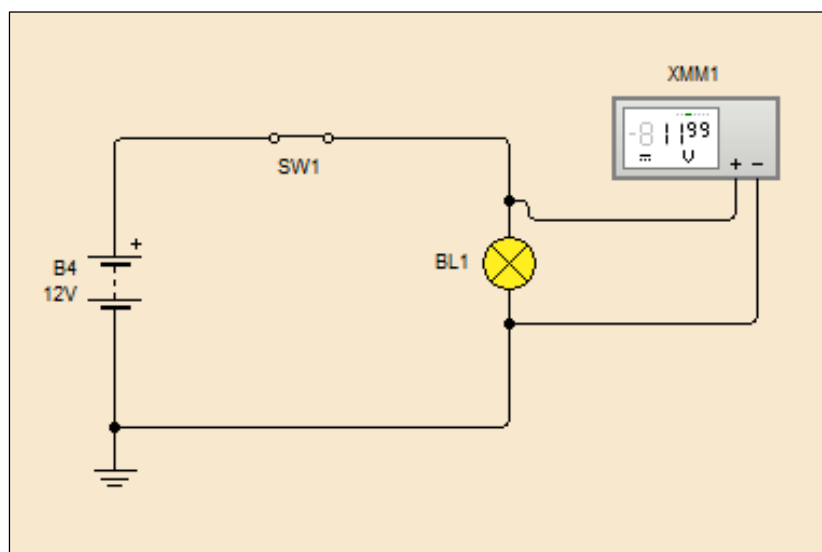
**Figura 3. 5: Cargador de baterías**

**Tabla 3. 6**  
**Especificaciones técnicas cargador de batería**

No.	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
1	Voltaje AC	110 V / 60 Hz
2	Out put voltage DC	360 V
3	Out put power	1.8°

### 3.1.7 DISEÑO DE LUZ PRINCIPAL

La figura 3.6 muestra el accionamiento de la luz principal y su respectivo interruptor con su simulación en el software live wire. Esta luz se ubica en la parte frontal del monociclo eléctrico.



**Figura 3. 6: Circuito de luz principal**

### 3.2 DISEÑO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO

El circuito electrónico será el encargado de controlar, dirigir y de enviar las señales desde el sensor MPU-6050, hacia la placa Arduino UNO R3, para la puesta en marcha del monociclo eléctrico.

### 3.2.1 CONTROLADOR DEL MOTOR

La selección del controlador depende principalmente del tipo de modelo del motor brushless, ya que se pueden encontrar a la venta controladores desde 24 V, 36 V, 48 V, 60 V, adicional a esto la potencia del motor que de igual manera podemos encontrar gran variedad como son desde 250 W, 400 W, 500 W, adicional a esto depende del tipo de salidas (accesorios) que se vaya a utilizar, en la figura 3.7 se puede observar el controlador seleccionado para el motor y con sus diferentes salidas y sus características detalladas en la tabla 3.7.



Figura 3. 7: Controlador del motor Brushless

Tabla 3. 7

#### Especificaciones técnicas controlador del motor Brushless

No.	DESCRIPCION	ESPECIFICACIONES
1	Rate voltage DC	36 V
2	Rate power:	500 W
3	Rate current	30 A
4	Under-voltage protection	DC 42 V
5	Current limited:30A±0.5A	30 A ± 0.5 A
6	Efficiency	≥ 83 %
7	Consumption	< 1.5 W

Fuente: Aliexpress, 2015



### 3.2.2 SELECCIÓN DE PLACA ARDUINO UNO R3

Es un modelo estándar de arduino, es el más utilizado para realización de proyectos como es el monociclo eléctrico, este modelo ha cambiado por tres ocasiones por ello que se lo llama UNO, es el más actual y es fácil de encontrar en el mercado, se optó por realiza la programación en este modelo.

Una vez seleccionada la plataforma de programación, es necesario elegir la placa y se tuvieron en cuenta requisitos como:

- Tamaño reducido.
- Diez entradas/salidas para control del driver y alguna función extra.
- Posibilidad de comunicación I2C, para comunicar con el sensor MPU.
- Mínimo de 2 puertos PWM, para controlar la velocidad del motor.

La arquitectura de la placa como se puede observar en la figura 3.8.

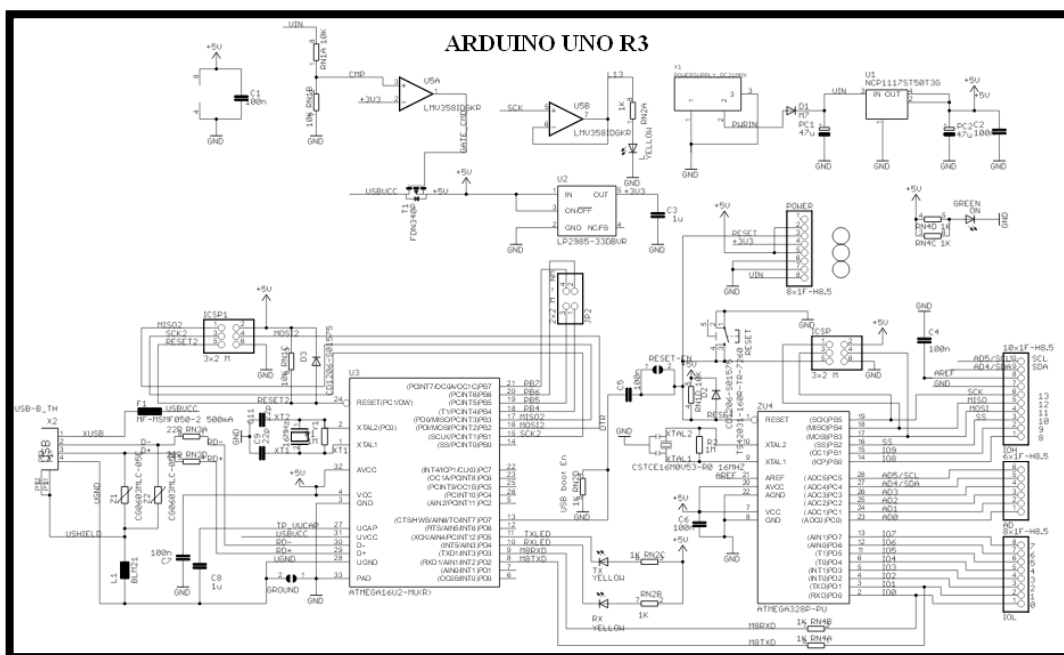


Figura 3. 8: Diagrama eléctrico de la placa arduino uno  
Fuente: <http://arduino/schematic2015>

El arduino uno R3 es una placa electrónica basada en el microprocesador Atmega 328. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida 6 entradas analógicas, una conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB, o alimentarla con un adaptador o la batería para empezar de CA a CC.

La tabla 3.8 detalla especificaciones técnicas del arduino las cuales son fundamentales para su conexión.

**Tabla 3. 8**  
**Especificaciones técnicas placa arduino uno R3**

No.	Microcontroller	ATMEGA 328
1	Operating Voltage	5 V
2	InputVoltage	7-12 V
3	Input Voltage (limits)	6-20 V
4	Digital I/O Pins	14
5	Analog Input Pins	6
6	DC Current per I/O Pin	40 mA
7	DC Current for 3.3V Pin	50 mA
8	Flash Memory	32 KB
9	SRAM	2 KB (ATMEGA 328)
10	EEPROM	1 KB (ATMEGA 328)
11	Clock Speed	16 MHz

**Fuente:** García, 2014

En la figura 3.9 se muestra las partes más principales que tiene la tarjeta Arduino uno R3.



Figura 3. 9: Componentes principales del Arduino uno R3

### 3.2.3 GIROSCOPIO/ACELERÓMETRO

Para la selección del giroscopio se tomó como base la placa arduino uno R3 por motivos de una excelente adaptación entre ambos componentes al ser capaz de medir fuerza y aceleración, generalmente consta de un acelerómetro y un giroscopio por lo que tienen 6 grados de libertad. En la figura 3.10 se muestra el giroscopio y acelerómetro unidos en la MPU-6050.



Figura 3. 10: Giroscopio/Acelerómetro MPU-6050

Este componente es muy sensible al movimiento, se seleccionó un giroscopio MPU-6050, y se tomaron en cuenta otros aspectos como:

Al igual que con cualquier sensor, los valores que son medidos contendrán cierta cantidad de error o corrimiento. Aunque se podría pensar que se vería 0°/s, siempre se verá un ligero error distinto de cero en la salida. La temperatura del sensor afecta en gran medida el error. Por lo tanto, el sensor MPU-6050 es capaz de leer la temperatura del sensor y corregir cualquier temperatura o cambios dependientes.

La tabla 3.9 se puede analizar las especificaciones técnicas para el sensor MPU-6050.

**Tabla 3. 9**  
**Especificaciones técnicas MPU-6050**

No.	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
1	Sensor	MPU-6050
2	Voltaje de operación	3 V / 3.3 V~5 V
3	Rango acelerómetro	2 g/ 4 g/ 8 g/ 16 g
4	Rango Giroscopio	250 °/S / 500 °/S / 1000 °/S / 2000 °/S
5	Sensibilidad Giroscopio	131 LSBs/dps
6	Grados de libertad	6
7	Tamaño	2.0 cm x 1.6 cm x 0.3 cm

### 3.3 DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL MONOCICLO ELÉCTRICO

#### 3.3.1 DIAGRAMA DE CONEXIÓN CON SENSOR GIROSCÓPICO

En la figura 3.11 se muestra el diagrama con los componentes eléctricos y electrónicos para el funcionamiento del monociclo eléctrico mediante el sensor giroscópico.

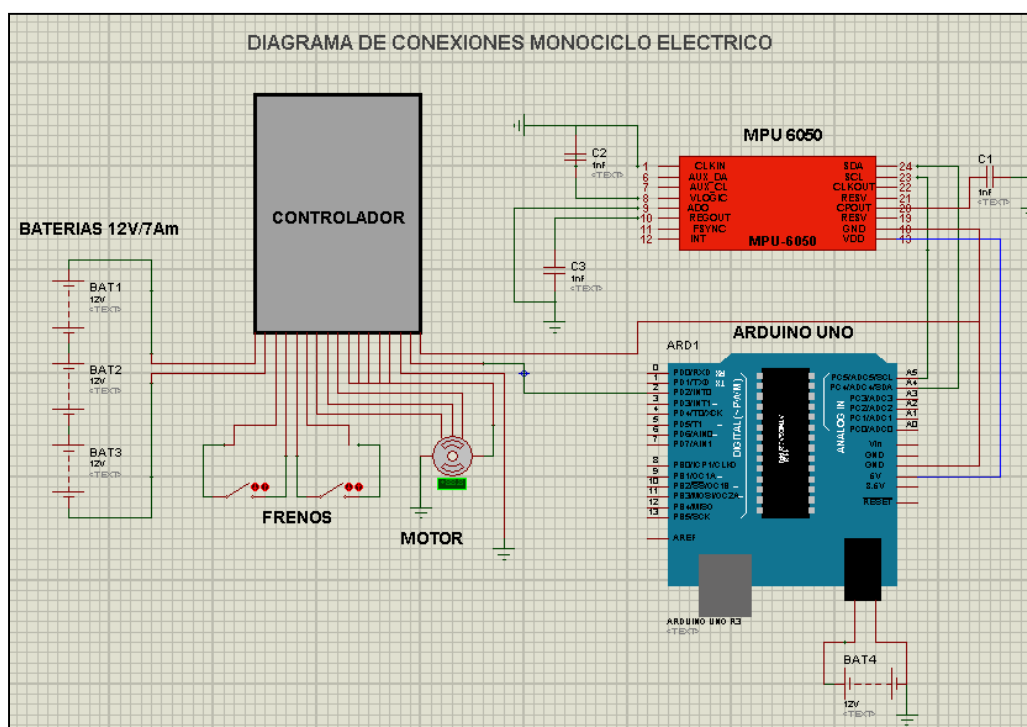


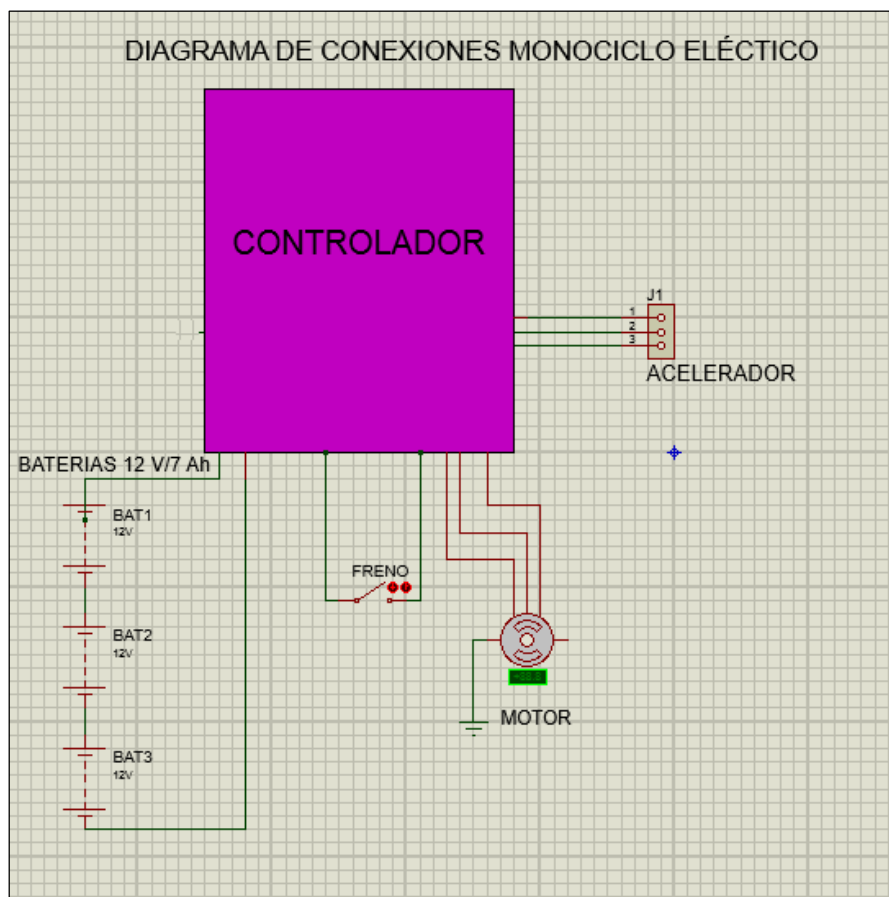
Figura 3. 11: Diagrama de conexiones del monociclo eléctrico

Los cuales están detallado a continuación:

- 3 baterías 12 V/7 Ah (accionamiento del motor).
- 1 Freno.
- 1 Motor.
- 1 Acelerómetro/Giroscopio MPU-6050.
- 1 Placa Arduino Uno R3.
- 1 batería 12 V/7 Ah (accionamiento del circuito electrónico).

### 3.3.2 DIAGRAMA DE CONEXIÓN CON ACELERADOR ELECTRÓNICO.

En la figura 3.12 se muestra el diagrama con los componentes eléctricos y electrónicos para el funcionamiento del monociclo eléctrico mediante el acelerador electrónico.



**Figura 3. 12: Diagrama de conexiones del monociclo eléctrico**

Los cuales están detallado a continuación:

- 3 baterías 12 V/7 Ah (accionamiento del motor).
- 1 Freno.
- 1 Motor.
- 1 Acelerador electrónico.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONSTRUCCIÓN Y EMSAMBLAJE

En el presente capítulo, se describe el procedimiento de selección y construcción de los elementos de la estructura metálica, la carrocería de fibra de vidrio, el ensamble y el montaje de los componentes eléctricos y electrónicos.

#### 4.1 CONSTRUCCIÓN DE LOS SOPORTES DEL MOTOR

Los soportes del motor son 2, un derecho y un izquierdo, están contruidos de una plancha de acero de calidad ASTM A36 con un espesor de 3 mm como se muestra en la tabla 4.1.

**Tabla 4. 1**  
**Tabla de planchas de acero**


**Especificaciones:**  
 Recubrimiento:  
 Norma de Fabricación:

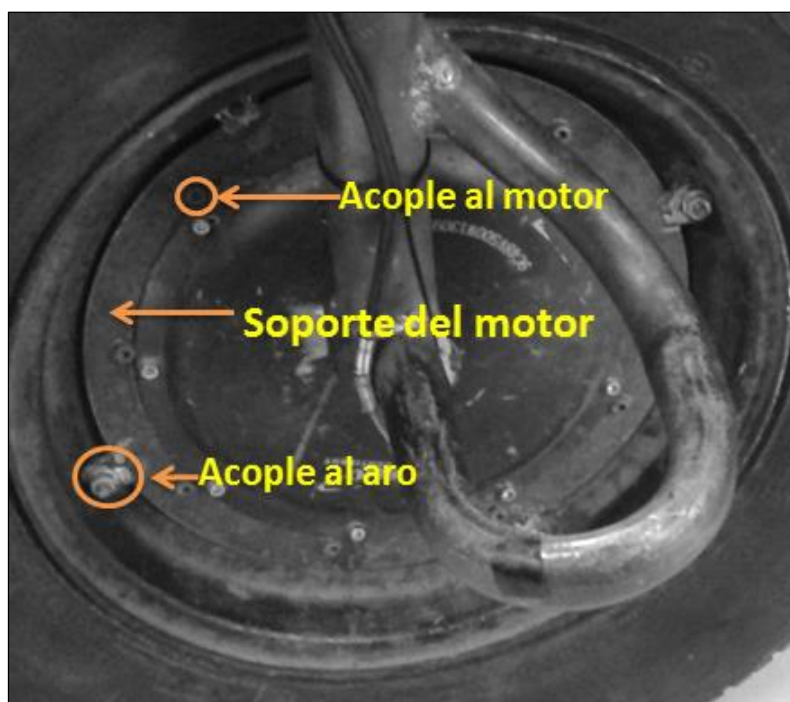
  
 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIONES  
 ASTM A 36 / ASTM A 588 G

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg.
1.220	2.440	1,50	35,05
1.220	2.440	2,00	46,74
1.220	2.440	3,00	70,10
1.220	2.440	4,00	93,47
1.220	2.440	5,00	116,84
1.220	2.440	6,00	140,21
1.220	2.440	8,00	186,94

Fuente: IPAC, 2014

En la plancha de acero se miden y se trazan dos cuadrados de 27 cm de longitud de cada lado para recortarlos y trabajar en el torno con la finalidad de obtener un aro de 26 cm de diámetro exterior y 23 cm de diámetro interior. Cada aro se une a 4 soportes del rin del neumático que tienen una medida de 2 cm x 1,5 cm. El proceso de soldadura para el soporte del motor y para el resto de la estructura del monociclo es MIG con alambre ER 70 S-6 de 0,9 mm de diámetro debido a que se emplea para unir estructuras de acero dulce en general, maquinarias, bastidores de autos, puentes, muelles y torres.

La base del motor tiene nueve perforaciones en cada lado para ser apretado con pernos y que el motor se mantenga firme en la llanta del neumático. La misma se observa en la figura 4.1



**Figura 4. 1: Soporte del motor**














































A continuación en la tabla 4.2 se detalla el tiempo empleado en cada paso de la construcción del soporte del motor.



Tabla 4. 2

## Diagrama de procesos del soporte del motor

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONOCICLO ELÉCTRICO

		<input type="checkbox"/> MÉTODO ACTUAL	<input type="checkbox"/> MÉTODO PROPUESTO	FECHA:						
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:		SOPORTE DEL MOTOR								
DESCRIPCIÓN OPERACIÓN :		CONSTRUCCIÓN								
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS		
		TIEMPO	NÚM	TIEMPO	NÚM	TIEMPO	NÚM			
	<b>OPERACIONES</b>	18,00	66,00							
	<b>TRANSPORTE</b>	190,00	2,00							
	<b>INSPECCIONES</b>	14,00	64,00							
	<b>RETRAZOS</b>	0,00	00,00	ESTUDIADO POR: CHUQUIMARCA M. PERALTA D.						
	<b>ALMACENAMIENTO</b>	0,00	00,00							
<b>DIST. RECORRIDA (KM)</b>		6,027								
PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRASO	ALMACENAMIENTO	DIST. (m)	CANTIDAD	TIEMPO (HORAS)
1	ADQUISIÓN DE MATERIALES	VEHÍCULO						6000	2	4
2	MEDICIÓN DE PLANCHA DE ACERO	FLEXÓMETRO						1	4	0.5
3	MAQUINADO DE PLANCHA DE ACERO	TORNO						3	2	5
4	MEDICION PARA ORIFICIOS	FLEXÓMETRO						2	18	0.5
5	PERFORACION DE PLANCHA	TALADRO						2	18	1
6	SOLDADURA EN LA BASE DEL ARO	SMAW						3	10	2
7	PULIDO	AMOLADORA						1	10	1
8	PINTURA DEL SOPORTE DEL MOTOR	SOPLETE						15	2	4

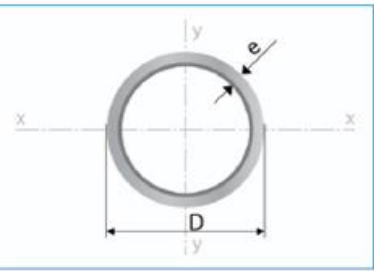
## 4.2 CONSTRUCCIÓN DEL CONJUNTO DE LA HORQUILLA

### 4.2.1 HORQUILLA Y PEDALES

Previo a la construcción de la horquilla, pedales y las plaquetas donde se aloja el eje del motor realizamos la simulación en SolidWorks, obteniendo un resultado favorable para que resista las cargas aplicadas.

El material empleado para la horquilla y los pedales es un tubo de acero estructural ASTM A 500 de diámetro de 38,1 mm para la horquilla y 25,4 mm para los pedales, ambos con un espesor de 2 mm debido a que cumple con las necesidades de rigidez, resistencia y se puede adquirir en el mercado. La tabla 4.3 muestra distintos diámetros de acero estructural.

**Tabla 4. 3**  
**Características del tubo estructural ATM A500**



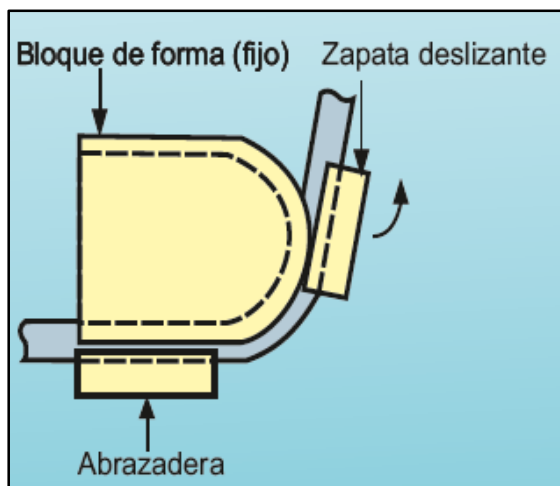
Largo Normal:  
6 metros  
Recubrimiento:  
Negro o Galvanizado  
Norma de Calidad:  
ASTM A 500 Gr. A, B ó C  
Norma de Fabricación:  
NTE INEN 2415  
Espesores:  
Desde 1,50 a 6,00 mm  
Observaciones:  
Otras dimensiones, espesores y largos previa consulta

► Aplicaciones  
- Estructuras: portantes, galpones y naves industriales.  
- Construcción: rejas, portones, columnas.  
- Automotriz y de autopartes: carrocería, remolques y rodados.

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas			
Diámetro Exterior	Espesor			Flexión			
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	
D	e	A	P	I	W	i	
pulg.	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
3/4	19,10	1,50	0,83	0,65	0,32	0,34	0,62
		2,00	1,07	0,84	0,39	0,41	0,60
7/8	22,20	1,50	0,98	0,77	0,53	0,47	0,74
		2,00	1,27	1,00	0,66	0,59	0,72
1	25,40	1,50	1,13	0,88	0,81	0,64	0,85
		2,00	1,47	1,15	1,01	0,80	0,83
1 1/4	31,80	1,50	1,43	1,12	1,64	1,03	1,07
		2,00	1,87	1,47	2,08	1,31	1,05
1 1/2	38,10	1,50	1,72	1,35	2,89	1,52	1,30
		2,00	2,27	1,78	3,71	1,95	1,28
1 3/4	44,50	1,50	2,02	1,59	4,67	2,10	1,52
		2,00	2,67	2,09	6,02	2,71	1,50
1 7/8	47,60	1,50	2,17	1,71	5,78	2,43	1,63
		2,00	2,87	2,25	7,48	3,14	1,61
2	50,80	1,50	2,32	1,82	7,06	2,78	1,74
		2,00	3,07	2,41	9,14	3,60	1,73
		3,00	4,51	3,54	12,92	5,09	1,69
2 3/8	60,30	1,50	2,77	2,18	12,00	3,98	2,08
		2,00	3,66	2,88	15,66	5,17	2,07

Fuente: IPAC, 2014

El diseño de la horquilla presenta curvaturas para que su ensamblaje sea óptimo y el neumático rote con total libertad. También los pedales presentan curvas. Las curvas de los tubos se realizan a través del proceso de doblado por compresión como se muestra en la figura 4.2.



**Figura 4. 2: Doblado por compresión**  
Fuente: Metalactual, 2012

En el procedimiento de doblado por compresión el tubo se le sujeta con una abrazadera y mediante una zapata deslizante se lo presiona para que vaya tomando la forma de un bloque de forma que es fijo. El resultado de este trabajo se puede observar en la figura 4.3.

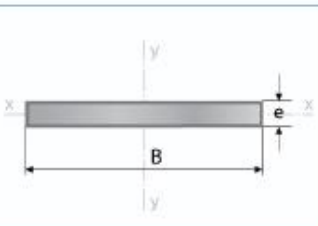


**Figura 4. 3: Horquilla y pedales**

## 4.2.2 CONSTRUCCIÓN DE LAS PLAQUETAS

En la parte inferior de la horquilla se colocarán fijas las plaquetas que constituyen los alojamientos del eje del motor, estarán construidos de una lámina de acero ASTM A-36 de 50 mm y 3 mm de espesor. La tabla 4.4 muestra sus características.

**Tabla 4. 4**  
**Características de acero laminado ATM A 36**

	Dimensiones	Espesor	Peso
	B	e	P
	mm	mm	kg/6m
12	3,00	1,70	
12	4,00	2,26	
12	6,00	3,39	
20	3,00	2,83	
20	4,00	5,00	
20	6,00	5,37	
25	3,00	3,53	
25	4,00	4,71	
25	6,00	7,07	
25	8,00	9,42	
25	9,50	10,59	
25	12,00	14,13	
30	3,00	4,24	
30	4,00	7,07	
30	6,00	8,47	
30	8,00	11,30	
30	9,50	12,71	
30	12,00	16,96	
40	3,00	5,37	
40	4,00	7,16	
40	6,00	10,74	
40	8,00	16,11	
40	9,50	17,90	
40	12,00	21,48	
50	3,00	7,07	
50	4,00	9,50	
50	6,00	14,13	
50	8,00	18,84	
50	9,50	21,20	

Largo normal:  
6 metros  
 Recubrimiento:  
Negro  
 Espesores:  
Desde 3,00 a 12,00 mm  
 Calidad de acero:  
DIN 17100 / ST 37-2 / ASTM A-36  
 Norma de fabricación:  
INEN 2222 / ISO 1035  
 Observaciones:  
Otras dimensiones y largos previa consulta.

Aplicaciones  
 - Somier camas.  
 - Cerrajería en general (puertas, ventanas, rejas).  
 - Estructuras en general.  
 - Muebles metálicos.  
 - Paquete de resortes (Sistemas de suspensión).

Fuente: IPAC, 2014

Una vez adquirida la lámina de acero, se procede a taladrar y darle la forma adecuada para que pueda alojarse el eje del motor. La figura 4.4 muestra una perforación en el acero laminado.



**Figura 4. 4: Maquinado de las plaquetas**

Se verifica que las plaquetas encajen sin problemas con el eje del motor para que no haya un juego excesivo evitando su desgaste como se muestra en la figura 4.5.



**Figura 4. 5: Plaqueta derecha**

En la tabla 4.5 se detallan los tiempos y los pasos realizados en la construcción de la horquilla, pedales y plaquetas.

**Tabla 4. 5**  
**Diagrama de procesos de horquilla y pedales**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIN DE UN MONOCICLO ELÉCTRICO**

<input type="checkbox"/>	MÉTODO ACTUAL	<input type="checkbox"/>	MÉTODO PROPUESTO	FECHA:	
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:		<b>HORQUILLA, PEDALES Y PLAQUETAS</b>			
DESCRIPCIÓN OPERACIÓN :		<b>CONSTRUCCIÓN</b>			
		<b>ACTUAL</b>	<b>PROPUESTO</b>	<b>DIFERENCIA</b>	<b>ANÁLISIS</b>
		TIEMPO	NÚM	TIEMPO	NÚM
○	<b>OPERACIONES</b>	13,50	56,00		
➡	<b>TRANSPORTE</b>	6,00	1,00		
□	<b>INSPECCIONES</b>	7,50	55,00		
D	<b>RETRAZOS</b>	6,00	1,00		ESTUDIADO POR: CHUQUIMARCA M. PERALTA D.
▽	<b>ALMACENAMIENTO</b>	0,00	00,00		
<b>DIST. RECORRIDA (KM)</b>		9,03			

PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	MÉTODOS					DIST. (m)	CANTIDAD	TIEMPO (HORAS)
			OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRASO	ALMACENAMIENTO			
1	ADQUISIÓN DE MATERIALES	VEHÍCULO	●	➡	□	D	▽	9000	1	6
2	MEDICIÓN DE TUBOS	FLEXÓMETRO	●	➡	■	D	▽	1	8	1
3	CORTE DE TUBOS	SIERRA	●	➡	■	D	▽	1	8	1.5
4	DOBLADO DE TUBOS	DOBLADORA	●	➡	■	D	▽	5	12	1
5	MEDICIÓN DE ACOPLÉ DE DIRECCIÓN	FLEXÓMETRO	●	➡	■	D	▽	1	1	0.5
6	CORTE DE LÁMINAS	SIERRA	●	➡	■	D	▽	1	2	0,15
7	MAQUINADO DE LÁMINAS	TALADRO	●	➡	■	D	▽	2	2	1
8	SOLDADURA DE COMPONENTES	MIG/MAG	●	➡	■	D	▽	3	10	1.5
9	PULIDO	AMOLADORA	●	➡	■	D	▽	1	10	0.5
	PINTURA DEL CONJUNTO DE LA HORQUILLA	SOPLETE	●	➡	■	D	▽	15	2	1.5

#### 4.4 CONSTRUCCIÓN DE LA COLUMNA DE ENLACE Y EL SOPORTE DEL ASIENTO

La columna que acopla la rueda posterior con la barra de dirección fue doblada a compresión al igual que la horquilla, con un acero de calidad ASTM A500 de 4,445 cm de diámetro y espesor de 0,2 cm para que pueda soportar las cargas ejercidas cuando el monociclo funcione.

El soporte o la base donde se coloca el asiento está a 90° del suelo y 75 cm de altura para que una persona de 1,70 m de estatura pueda acomodarse sin inconvenientes sobre el asiento. El material de la base del asiento es de un acero de calidad ASTM A500 con un diámetro de 2,54 cm y 0,2 cm de espesor como se puede observar en la figura 4.6.



Figura 4. 6: Base del asiento y columna de enlace

**Tabla 4. 6**  
**Diagrama de procesos de la columna de enlace y el soporte del asiento**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONOCICLO ELÉCTRICO**

<input type="checkbox"/> MÉTODO ACTUAL	<input type="checkbox"/> MÉTODO PROPUESTO	FECHA:		
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:	<b>COLUMNA DE ENLACE Y EL SOPORTE DEL ASIENTO</b>			
DESCRIPCIÓN OPERACIÓN :	<b>CONSTRUCCIÓN</b>			
	<b>ACTUAL</b>	<b>PROPUESTO</b>	<b>DIFERENCIA</b>	<b>ANÁLISIS</b>
	TIEMPO	NÚM	TIEMPO	NÚM
<b>OPERACIONES</b>	13,00	25,00		
<b>TRANSPORTE</b>	6,00	1,00		
<input type="checkbox"/> <b>INSPECCIONES</b>	7,00	24,00		
<b>RETRAZOS</b>	1,00	2,00		
<b>ALMACENAMIENTO</b>	0,00	00,00		
<b>DIST. RECORRIDA (KM)</b>	9,027			

ESTUDIADO POR:  
CHUQUIMARCA  
M. PERALTA D.

PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRASO	ALMACENAMIENTO	DIST. (m)	CANTIDAD	TIEMPO (HORAS)
1	ADQUISIÓN DE MATERIALES	VEHÍCULO			<input type="checkbox"/>			9000	1	6
2	MEDICIÓN DE TUBOS	FLEXÓMETRO						1	1	0.5
3	CORTE DE TUBOS	SIERRA						1	1	1
4	DOBLADO DE TUBOS	DOBLADORA						5	2	1
5	MEDICIÓN ACOPLE DEL SOPORTE PARA EL ASIENTO	FLEXÓMETRO						1	2	0.5
6	SOLDADURA DE COMPONENTES	MIG/MAG						3	8	1.5
7	PULIDO	AMOLADORA						1	8	0.5
8	PINTURA DE LOS COMONENTES	SOPLETE						15	2	2



## 4.5 CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA

### 4.5.1 COMPONENTES EN FIBRA DE VIDRIO

La carrocería es el elemento que cumple con la misión principal de proteger a los componentes eléctricos de agentes externos como agua, polvo o impurezas que pueden deteriorarlos. Debe ser agradable a la vista de las personas y darle confort al piloto del monociclo.

La fibra de vidrio es un material empleado en el campo automotriz en carrocerías por su bajo peso, resistencia y facilidad para darle distintas formas por esas razones la carrocería del monociclo será de este material.

Previamente se escoge un área libre para la ventilación y es muy importante contar con el equipo de seguridad como guantes y mascarilla porque los materiales que se emplean en este proceso pueden causar daños como irritación a la piel.

En primer lugar se prepara un molde de cartón dándole la forma deseada para la carrocería como se muestra en la figura 4.7.



**Figura 4. 7: Molde de cartón para los pedales**

Una vez que el molde se encuentre listo, se aplica cera desmoldante como se muestra en la figura 4.8 para que la fibra de vidrio no se pegue al cartón y se pueda separar con facilidad.



**Figura 4. 8: Aplicación de la cera desmoldante en el cartón**

Se mezcla el endurecedor con la resina, y se espera a que se seque tomando en cuenta las especificaciones del fabricante.

Se prepara la fibra de vidrio cortándola con una tijera en pedazos para cubrir el molde como se muestra en la figura 4.9.



**Figura 4. 9: Aplicación de la fibra de vidrio al molde**

La fibra de vidrio será humedecida para que su moldeado sea sencillo.

Para esto se emplea una brocha y de la mezcla de resina con endurecedor como de observa en la figura 4.10.



**Figura 4. 10: Fibra de vidrio humedecida**

Se cortan los bordes sobrantes de fibra de vidrio y se añaden 2 capas más para que la carrocería sea resistente siguiendo el mismo procedimiento.

Luego se separa a la fibra de vidrio de su molde y se aplica masilla para cubrir las imperfecciones; se lija para dejar totalmente lisa a la pieza trabajada. El masillado y lijado de las piezas se indican en la figura 4.11.



**Figura 4. 11: Masillado y lijado de las piezas**

## 4.5.2 PINTURA

La corrosión es un agente perjudicial para la estructura metálica por eso es necesario protegerla con una pintura anticorrosiva con la precaución de cubrir a los componentes eléctricos y electrónicos para evitar su deterioro.

La estructura metálica cubierta con pintura anticorrosiva de color negro se muestra en la figura 4.14.



**Figura 4. 12: Estructura con pintura anticorrosiva**

Para la carrocería empleamos una pintura de color rojo protegiendo al faro como se muestra en la figura 4.15.



**Figura 4. 13: Pintura en la carrocería**

Una vez culminado el proceso de construcción del monociclo, se ensambla la carrocería con pernos y tornillos, se realizan las conexiones eléctricas y al final el resultado se muestra en la figura 4.16.































































**Figura 4. 14: Monociclo eléctrico terminado.**

La tabla 4.7 especifica el tiempo y los pasos seguidos en la construcción de la carrocería, el asiento y la pintura.

**Tabla 4. 7**  
**Diagrama de procesos carrocería**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONOCICLO ELÉCTRICO**

		MÉTODO ACTUAL		MÉTODO PROPUESTO		FECHA:			
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE		CARROCERÍA							
DESCRIPCIÓN OPERACIÓN		CONSTRUCCIÓN							
		ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANÁLISIS	
		TIEMPO	NÚM	TIEMPO	NÚM	TIEMPO	NÚM		
	<b>OPERACIONES</b>	230,05	279,00						
	<b>TRANSPORTE</b>	40,00	25,00						
	<b>INSPECCIONES</b>	224,05	27.3,00						
	<b>RETRAZOS</b>	170,00	100,00					ESTUDIADO POR: CHUQUIMARCA M. PERALTA D.	
	<b>ALMACENAMIENTO</b>	128,00	110,00						
	<b>DIST. RECORRIDA (KM)</b>	8,031							

PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRAZO	ALMACENAMIENTO	DIST. (m)	CANTIDAD	TIEMPO (HORAS)
1	ADQUISIÓN DE MATERIALES	VEHÍCULO						5000	5	6
2	INSPECCIÓN DEL CHASIS	VISUAL						3	2	0,5
3	MEDICIÓN DE FIBRA	FLEXÓMETRO						3	100	5
4	CONSTRUCCIÓN DE MOLDES	CARTÓN						5	10	50
5	RECUBRIMIENTO DE FIBRA DE VIDRIO	FIBRA DE VIDRIO						3	40	60
6	ADAPTACIÓN DE SUJECIONES	MIG/MAG						3	4	2
7	ESMERILADO DE REBABAS	ESMERIL						5	40	5
8	RECUBRIMIENTO CON MASILLA	MASILLA						4	50	60
9	ACABADOS EXTERIORES	LIJAS						5	20	8
10	PREPARACIÓN DE ELEMENTOS PARA PINTURA	PISTOLAS						3000	10	10
11	PINTURA	PISTOLAS						1	10	24

### 4.5.3 CONSTRUCCIÓN DEL ASIENTO

El asiento del monociclo tendrá una estructura conformada con un marco de varilla y una plancha metálica. En este proceso se emplea la dobladora de rodillos como se puede observar en la figura 4.12.



**Figura 4. 15: Dobladora de rodillos**

Una vez doblada la plancha metálica, se procede a verificar si se ajusta perfectamente a la forma de la carrocería de fibra de vidrio y posteriormente la unimos mediante suelda como se observa en la figura 4.13.



**Figura 4. 16: Estructura del asiento acoplada a la carrocería**

Posteriormente se suelda al tubo que se alojará en la base del asiento que se encuentra en la estructura metálica y se tapiza.

**Tabla 4. 8**  
**Diagrama de procesos del asiento**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONOCICLO ELÉCTRICO**

<input type="checkbox"/>	MÉTODO ACTUAL	<input type="checkbox"/>	MÉTODO PROPUESTO	FECHA:		
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE:		<b>ASIENTO</b>				
DESCRIPCIÓN OPERACIÓN :		<b>CONSTRUCCIÓN</b>				
		<b>ACTUAL</b>	<b>PROPUESTO</b>	<b>DIFERENCIA</b>	<b>ANÁLISIS</b>	
		TIEMPO	NÚM	TIEMPO	NÚM	
○	<b>OPERACIONES</b>	11,50	38,00			
➡	<b>TRANSPORTE</b>	5,00	2,00			
□	<b>INSPECCIONES</b>	9,50	37,00			
D	<b>RETRAZOS</b>	3,00	1,00			ESTUDIADO POR: CHUQUIMARCA M. PERALTA D.
▽	<b>ALMACENAMIENTO</b>	0,00	00,00			
<b>DIST. RECORRIDA (KM)</b>		3,411				

PASO	DETALLES DEL PROCESO	MÉTODO	OPERACIÓN	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	RETRAZO	ALMACENAMIENTO	DIST. (m)	CANTIDAD	TIEMPO (HORAS)
1	ADQUISIÓN DE MATERIALES	VEHÍCULO	●	➡	□	D	▽	3000	1	2
2	MEDICIÓN DE PLANCHA DE ACERO	FLEXÓMETRO	●	➡	■	D	▽	1	4	0.5
3	CORTE DE PLANCHA DE ACERO	SIERRA	●	➡	■	D	▽	1	2	1
4	DOBLADO DE PLANCHA DE ACERO	DOBLADORA	●	➡	■	D	▽	2	2	0.5
5	MEDICIÓN DE TUBOS	FLEXÓMETRO	●	➡	■	D	▽	1	4	0.5
6	CORTE DE TUBOS	SIERRA	●	➡	■	D	▽	1	2	0.5
7	DOBLADO DE TUBOS	DOBLADORA	●	➡	■	D	▽	2	2	0.5
8	SOLDADURA DE COMPONENTES	MIG/MAG	●	➡	■	D	▽	2	10	2
9	PULIDO	AMOLADORA	●	➡	■	D	▽	1	10	1
10	TAPIZADO	MÁQUINA DE COSER	●	➡	■	D	▽	400	1	3



## CAPÍTULO V

### 5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

Finalizado el proceso de construcción y ensamblaje de cada componente del monociclo eléctrico se procedió a realizar las pruebas de campo correspondientes evaluando el desempeño en todos los sistemas mecánicos y eléctricos.

El protocolo de pruebas es el proceso mediante el cual se evalúa el desempeño del monociclo eléctrico con la finalidad de garantizar el óptimo funcionamiento durante la circulación por vías con distintos tipos de terreno, distancia e inclinación.

La aplicación del protocolo tiene como finalidad verificar el funcionamiento del monociclo eléctrico para aportar en la movilidad de las personas en sectores urbanos congestionados y reducidos.

A continuación se describen las distintas pruebas realizadas junto con los resultados obtenidos en cada una, mostrados en imágenes y tablas.

#### 5.1 PRUEBA DE ESTABILIDAD

En la figura 5.1 se aprecia el ángulo inicial de giro que el acelerador electrónico debe recorrer para determinar a qué velocidad el monociclo eléctrico llega a estabilizarse y conducir libremente sin perder el equilibrio, la tabla 5.1 muestra las pruebas realizadas con el acelerador electrónico y con el sensor giroscópico.

**Tabla 5. 1**  
**Pruebas de estabilidad**

<b>RESULTADOS CON ACELERADOR ELECTRÓNICO</b>				
	Ángulo de posición de arranque °	Velocidad (Km/h)	Tiempo de frenado(s)	Distancia(m)
<b>Prueba 1</b>	6	5	3.7	15
<b>Prueba 2</b>	5	3	3.0	15
<b>Prueba 3</b>	6	5	3.5	15
<b>Promedio</b>	5.6	4.33	3.4	15

<b>RESULTADOS CON SENSOR GIROSCÓPICO</b>				
	Ángulo de posición del conductor °	Velocidad (Km/h)	Tiempo de frenado(s)	Distancia(m)
<b>Prueba 1</b>	5	6	3.8	15
<b>Prueba 2</b>	5	5	3.3	15
<b>Prueba 3</b>	5	5	3.6	15
<b>Promedio</b>	5	5.33	3.56	15



**Figura 5. 1: Prueba de estabilidad**

## **5.2 PRUEBA DE VELOCIDAD MÁXIMA**

La velocidad máxima que alcanza el monociclo eléctrico la cual es de 25 Km/h, para alcanzar dicha velocidad se debe tomar en cuenta que el monociclo eléctrico aumenta su velocidad a razón de su distancia como se muestra la figura 5.2.

En la tabla 5.2 podemos apreciar las pruebas realizadas con el acelerador electrónico y con el sensor giroscópico.

**Tabla 5. 2**  
**Prueba de velocidad máxima**

<b>RESULTADOS CON ACCELERADOR ELECTRÓNICO</b>				
	Angulo de giro del acelerador °	Velocidad (Km/h)	Tiempo en desplazamiento (s)	Distancia (m)
<b>Prueba 1</b>	90	23	7.3	40
<b>Prueba 2</b>	90	25	6.8	40
<b>Prueba 3</b>	90	23	7.1	40
<b>Promedio</b>	90	23.66	7.06	40

<b>RESULTADOS CON SENSOR GIROSCÓPICO</b>				
	Angulo de inclinación del conductor	Velocidad (Km/h)	Tiempo de desplazamiento (s)	Distancia(m)
<b>Prueba 1</b>	20	22	7.5	40
<b>Prueba 2</b>	18	20	8.1	40
<b>Prueba 3</b>	20	24	7.0	40
<b>Promedio</b>	19.3	22	7.5	40



**Figura 5. 2: Prueba de velocidad máxima**

### 5.3 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO EN DIFERENTES TERRENOS

El monociclo eléctrico fue puesto en marcha en diferentes terrenos encontrados dentro del parque de la Carolina en Quito en un perímetro de 3,9 km como se observa en el mapa de la figura 5.3.



**Figura 5. 3: Escenario de pruebas**  
Fuente: Google maps

Los datos principales del escenario de pruebas se muestran en la tabla 5.3.

**Tabla 5. 3**  
**Datos de pruebas**

Escenario de pruebas			
<b>01 de abril 2015/ 13:00</b>			
<b>Conductor</b>	Marcos Daniel Peralta Arauz		
<b>Camarógrafo</b>	Xavier Omar Chuquimarca Mejía		
<b>Ubicación</b>	Pichincha, Quito		
<b>Material calzada</b>	Longitud	Curvas	Sector
<b>Pavimento/Asfalto/ Hierba/ Adoquín</b>	3.9 Km	7	Urbano

El monociclo eléctrico fue puesto a prueba en diferentes tipos de terreno a una inclinación de 0° como se observa en la figura 5.4 a una velocidad de equilibrio y en sus dos modos de funcionamiento como se puede notar en la tabla 5.4.

**Tabla 5. 4**  
**Prueba de funcionamiento en diferentes terrenos**

<b>RESULTADOS CON EL ACELERADOR ELECTRÓNICO</b>			
	Velocidad para equilibrio (km/h)	Maniobrabilidad	Observaciones
<b>Pavimento</b>	3	Estable	Terreno optimo
<b>Asfalto</b>	4	Estable	Terreno normal
<b>Hierba</b>	6	Inestable	Terreno inadecuado
<b>Adoquín</b>	5	Estable	Aumento de vibraciones

<b>RESULTADOS CON EL SENSOR GIROSCÓPICO</b>			
	Velocidad para equilibrio (km/h)	Maniobrabilidad	Observaciones
<b>Pavimento</b>	5	Estable	Terreno optimo
<b>Asfalto</b>	5	Estable	Terreno normal
<b>Hierba</b>	6	Muy inestable	Perdida de estabilidad
<b>Adoquín</b>	5	Estable	Aumento de vibraciones



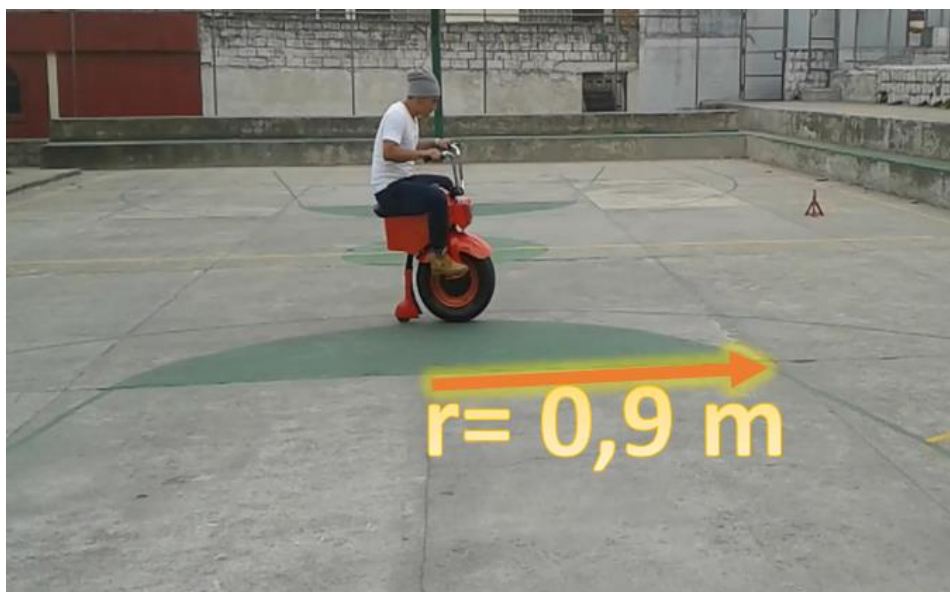
**Figura 5. 4: Inclinación en prueba de diferentes terrenos**

## 5.4 PRUEBA DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN

El sistema de dirección cumple satisfactoriamente con su función que es direccionar la rueda delantera del monociclo eléctrico siendo flexible para su conducción. En la figura 5.5 podemos apreciar la función de la dirección y su facilidad para maniobrarla, mientras en la tabla 5.5 podemos apreciar las pruebas realizadas con un ángulo mínimo de giro.

**Tabla 5. 5**  
**Prueba de dirección**

RESULTADOS			
	Radio de giro mínimo (m)	Velocidad (Km/h)	Tiempo de desplazamiento (s)
Prueba 1	0.9	5	10
Prueba 2	0.9	4	13
Prueba 3	0.9	5	11
Promedio	0.9	4.6	11.33



**Figura 5. 5: Sistema de dirección**

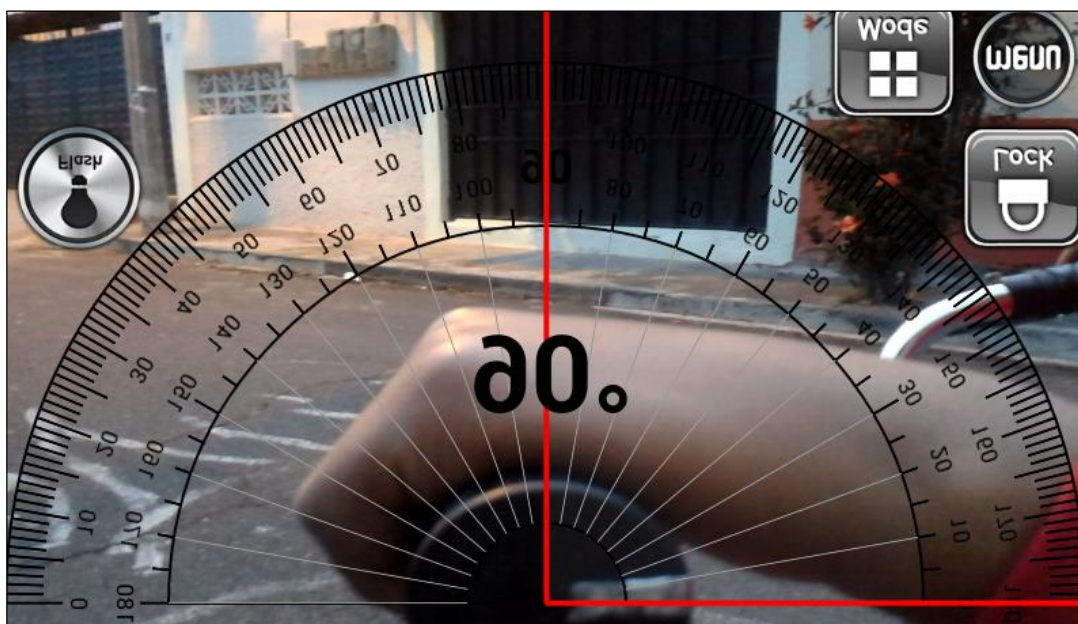
## 5.5 PRUEBA DEL ACELERADOR ELECTRÓNICO

Al contar con dos formas de accionamiento del motor una por acelerador electrónico como se muestra en la figura 5.6 y otra por sensores no se

necesita de palancas para activar el motor, el acelerador electrónico es el encargada de realizar dicha acción, en la tabla 5.6 se aprecia las pruebas a diferentes ángulos de giro del acelerador electrónico.

**Tabla 5. 6**  
**Prueba de acelerador electrónico**

RESULTADOS			
Angulo de giro de acelerador	Velocidad (km/h)	Tiempo (s)	Distancia(m)
15°	9	16	40
30°	15	9.3	40
60°	21	6.5	40
90°	25	5.76	40



**Figura 5. 6: Funcionamiento por acelerador electrónico.**

## 5.6 PRUEBA DE ACELERACIÓN POR SENSOR GIROSCÓPICO

La segunda forma de accionamiento es por el sensor giroscópico y no se necesita de palancas para activar el motor, el sensor giroscópico es la encargada de realizar dicha acción mediante la inclinación del conductor como se muestra en la figura 5.7 el sensor se encuentra dentro de su

estuche y su funcionamiento es el apropiado para la conducción del monociclo eléctrico.

La tabla 5.7 muestra las pruebas realizadas de acuerdo a los ángulos de inclinación del conductor.

**Tabla 5. 7**  
**Prueba de sensor giroscópico**

RESULTADOS			
Angulo de inclinación del conductor	Velocidad de equilibrio (km/h)	Tiempo (s)	Distancia(m)
5°	6	25.5	40
10°	13	11.07	40
15°	18	8.2	40
20°	23	6.2	40



**Figura 5. 7: Ángulo de inclinación del conductor**

## 5.7 PRUEBA SISTEMA ELÉCTRICO

La figura 5.8 muestra la comprobación de la luz principal verificando así su óptimo desempeño al ser activad por un interruptor.





**Figura 5. 8: Comprobación de luz principal**

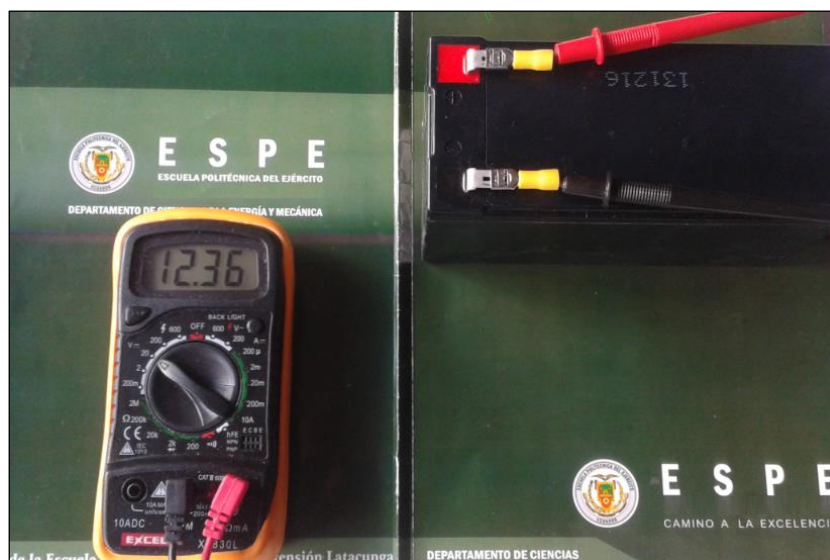
## 5.8 PRUEBA DE AUTONOMÍA DE BATERÍAS

La prueba de autonomía de baterías se mide de acuerdo a las exigencias, el tiempo que se mantenga en funcionamiento al monociclo eléctrico como se observa en la tabla 5.8.

La figura 5.9 podemos observar el voltaje inicial de la batería antes de ser utilizada en el monociclo eléctrico.

**Tabla 5. 8**  
**Prueba de baterías**

<b>RESULTADOS</b>				
Batería	Carga inicial (V)	Carga Final (V)	Tiempo de descarga (m)	Distancia recorrida (km)
1	12.5	10.2	40	18 km
2	12.7	10.3	40	18 km
3	12.3	10.1	40	18 km
4	12.5	11.5	40	18 km



**Figura 5. 9: Comprobación de baterías cargadas**

## 5.9 PRUEBA EN PENDIENTE

El monociclo eléctrico es un vehículo diseñado para circular en superficies planas pero es necesario someterlo a una prueba que determine su funcionamiento en pendientes. Se realizaron pruebas en 4 tipos de vías con distinta inclinación determinando en qué velocidad se estabiliza el monociclo. La tabla 5.9 muestra los resultados obtenidos en cada prueba en los dos modos de funcionamiento del monociclo eléctrico con las observaciones.

**Tabla 5. 9**  
**Prueba de inclinación del monociclo**

RESULTADOS CON EL ACELERADOR ELECTRÓNICO			
Inclinación de la vía	Velocidad para equilibrio (km/h)	Maniobrabilidad	Observaciones
0°	3	Estable	S/N
3,7°	3	Estable	S/N
9,3°	3	Estable	S/N
15,2°	5	Poco estable	Conducción dificultosa

CONTINÚA



### RESULTADOS CON EL SENSOR GIROSCÓPICO

Inclinación de la vía	Velocidad para equilibrio (km/h)	Maniobrabilidad	Observaciones
0°	3	Estable	S/N
3,7°	4	Estable	S/N
9,3°	5,5	Poco estable	Conducción dificultosa
15,2°	5,8	Inestable	Conducción peligrosa

En la figura 5.10 se visualiza la prueba de conducción efectuada en una pendiente de 9,3° de inclinación, obteniendo un óptimo resultado en maniobrabilidad como en velocidad.

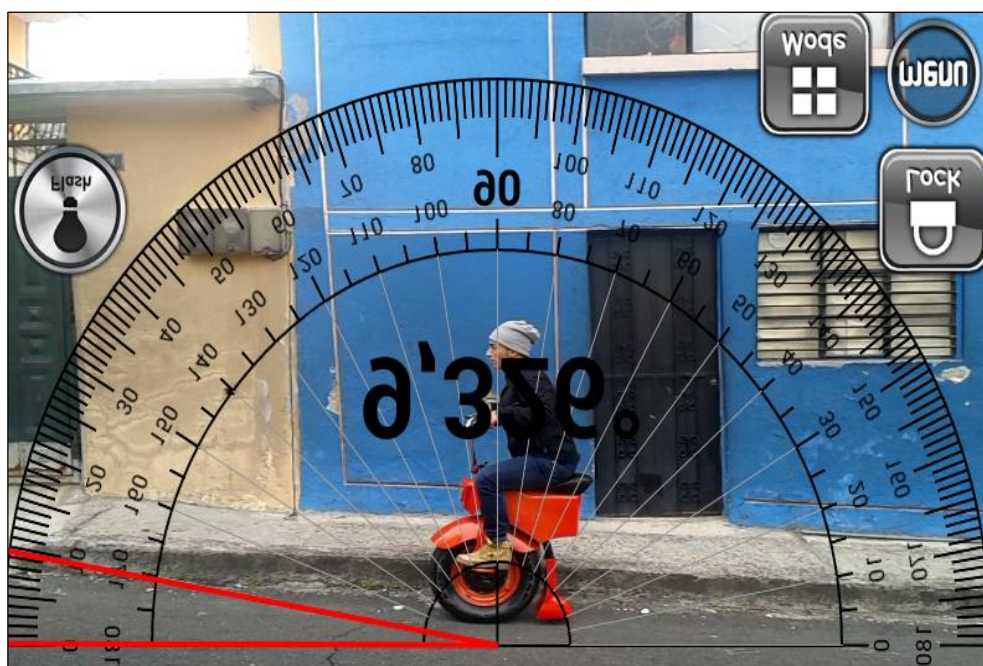


Figura 5. 10: Prueba en pendiente

Después de la construcción, pruebas y análisis de resultados se conocen las características del monociclo eléctrico presentadas en la tabla 5.10 como ficha técnica.

**Tabla 5. 10**  
**Ficha Técnica**

<b>MONOCICLO ELÉCTRICO</b>		
	<b>MOTOR</b>	
	Potencia nominal	500 W
	Voltaje	36 V
	Torque	25 Nm
	Dimensión	240 x 50 mm
	Velocidad	0-25 km/h
	Peso	4 kg
	Procedencia	E.E.U.U.
	<b>Tipo</b>	<b>Material</b>
	Tubular	Acero ASTM A-500
<b>DIRECCIÓN</b>	Mecánica tipo Threadless headset (sin rosca)	
<b>NEUMÁTICOS</b>	Diámetro delantero	540 mm
	Diámetro posterior	100 mm
	Voltaje	12 (48 V)
<b>BATERÍAS (4)</b>	Amperaje	7 Ah
	Peso	3 (12 kg)
	<b>Moldeado</b>	Fibra de vidrio
<b>CARROCERÍA</b>	Color	Rojo perlado
	Longitud total	800 mm
	Distancia entre ejes	350 mm
	Ancho total	430 mm
<b>DIMENSIONES CAPACIDAD PESO</b>	Altura total	1100 mm
	Peso	45.5 kg
	Capacidad de pasajeros	1
		

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- El funcionamiento más óptimo se alcanza en concreto y asfalto a una velocidad mínima de 4 km/h y máxima de 23 km/h por la regularidad del suelo. En el terreno de hierba se pierde la estabilidad por la escasa adherencia de las ruedas y en el terreno con adoquín las vibraciones son excesivas por el reducido diámetro de 10 cm de la rueda posterior.
- Conforme a las pruebas en el sistema eléctrico, el voltaje inicial de cada una de las cuatro baterías es 12,7 V al estar completamente cargadas.
- Se diseñó y construyó un medio de transporte a base de energía eléctrica sencillo de conducir en zonas urbanas para mejorar la viabilidad de las personas con unas dimensiones de 0,73 m de longitud; 0,3 m de ancho, 1 metro de altura, pesa 40 kg y alcanza una velocidad de 24 km/h.
- A través el software SolidWorks se diseñaron los elementos de la estructura metálica que fueron sometidos a análisis de cargas, con un factor de seguridad superior a 1 en todos los elementos, tomando en consideración los aceros ASTM A-36 y ASTM A-500 para maquiñarlos y unirlos con el proceso de soldadura MIG utilizando el alambre ER 70 S-6 de 0,9 mm de diámetro obteniendo una estructura fuerte y compacta verificada en las pruebas de funcionamiento.

- La energía es generada por tres o cuatro baterías de 12 V conectadas en serie según sea el modo de funcionamiento, con un sensor electrónico o giroscópico respectivamente que envían las señales a un motor eléctrico brushless de 500 W acoplado al neumático delantero de 54 cm de diámetro.
- La conducción es más sencilla en normal funcionamiento a velocidad mínima con el acelerador electrónico (3 km/h) debido al mayor control en el manubrio comparándola a la aceleración por inclinación corporal con el sensor giroscópico (5 km/h) que acelera bruscamente al motor.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Revisar el voltaje de cada batería antes de utilizar el monociclo eléctrico, deben mantener una tensión entre 11,7 y 12,8 V. Caso contrario recargar hasta que alcancen su voltaje óptimo para el funcionamiento.
- Es posible reducir el peso del monociclo eléctrico mediante un aro de otro material como puede ser de aleaciones de magnesio y metal o de fibra de carbono, logrando con esto menor peso y mejor manejo de la dirección.
- Para evitar posibles ruidos generados por los componentes electrónicos como es el controlador que se encuentran en la parte inferior del asiento, se ubica una jaula de Faraday y con esto se evita que las señales fallen en los sensores y la placa arduino.
- Mantenerse pendiente del estado de las ruedas, en el neumático delantero revisar el labrado y el aire mientras que en la rueda posterior el buen estado y que tenga un libre rodaje.
- Se recomienda dominar primero la conducción del monociclo eléctrico con el acelerador electrónico y después con el sensor giroscópico para evitar posibles lesiones o caídas ocasionadas por las aceleraciones bruscas.
- Se puede adaptar motores con mejores prestaciones como son de doble sentido de giro es decir que brinden mayor facilidad de desplazamiento del monociclo eléctrico hacia adelante y de reversa según sea el caso.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Ceña, A. S. (2009). *El coche eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente*. Madrid: Worldwatch.
- Crouse, W. H., & Anglin, D. L. (1999). *Mecánica de la motocicleta*. Barcelona: S.A. Marcombo.
- Dias, O. S. (2012). *Selección y aplicación de motores eléctricos*. Barcelona: S.A Marcombo.
- Evans, J. & Lindsay W. (2008). *Administración y Control de la Calidad*. México D.F.: Cengage Learning.
- Foale, T. (2003). *Motocicletas; comportamiento dinámico y diseño de chasis. El arte y la ciencia*. Madrid.
- Laboratoire de Génie Electrique. (2009). *Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems*. París: LGEP.
- Kindler, H & Kynast, M. (2005). *Cálculos técnicos para el automóvil*. México D.F.: Reverte.
- Cascajosa, M. (2005). *Ingeniería de vehículos, Sistemas y Cálculos*. (2da Edición). Mexico D.F.: Editorial Alfaomega Grupo editor S.A.
- Mott, R. L. (2007). *Diseño de elementos de máquinas*. Bogotá: Prentice Hall.
- Mott, R. L. (2006). *Resistencia de Materiales*. Madrid: Pearson Education
- Torrente Artero, O. (2013). *Arduino Cursos prácticos de formación (Vol. 1)*. Madrid: Rc Libros.



## NETGRAFÍA

ACM Global LLC. (15 de Enero de 2014). *ACM Global LLC*. Obtenido de ACM Global LLC Web site: <http://www.makzilla.com/ebike.pdf>

AliExpress Corporation. (20 de Junio de 2014). *AliExpress Corporation*. Obtenido de AliExpress Corporation Web Site: [http://es.aliexpress.com/store/product/Free-Shipping-Universal-48V-500W-E-bike-Brushless-SpeedController/313864\\_468348339.html?isOrig=true#extend](http://es.aliexpress.com/store/product/Free-Shipping-Universal-48V-500W-E-bike-Brushless-SpeedController/313864_468348339.html?isOrig=true#extend)

Banzi, M. (10 de Mayo de 2015). *Arduino Genuino*. Obtenido de MPU6050: <http://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050>

CONEA. (20 de Diciembre del 2013). *Informe del CONEA sobre cálculos de motores eléctricos*. [Recuperado el 03 de Junio del 2014] [www.conea.gob.mx](http://www.conea.gob.mx).

Ebikes C.A. (15 de Noviembre del 2014). *Motor Simulator*. Obtenido de Ebikes tolos: <http://www.ebikes.ca/tools/simulator.html>

IPAC Acero. (12 de Junio del 2014). *Catálogo IPAC, Productos y servicios*. Obtenido de IPAC revista digital: [http://www.ipac-acero.com/revista-digital/IPAC\\_catalogo.html](http://www.ipac-acero.com/revista-digital/IPAC_catalogo.html)

MikroElektronika. (20 de Mayo de 2014). *MikroElektronika Copyright © 1998 - 2015*. Recuperado el 20 de Mayo de 2014, de <http://www.mikroe.com/chapters/view/80/capitulo-2-programacion-de-los-microcontroladores/>

Sandoval, B. (25 de Abril de 2015). *Diseño de etapas de potencia y control para un motorbrushless*. Recuperado el 25 de Abril de 2014, de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/349>

# ANEXOS

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue realizado por los Sres. Xavier Omar Chuquimarca Mejía y Marcos Daniel Peralta Aráuz, bajo nuestra supervisión.

---

**ING. GUIDO TORRES  
DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**ING. HÉCTOR TERÁN  
CODIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**ING. JUAN CASTRO  
DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**DR. FREDDY JARAMILLO CHECA  
SECRETARIO ACADÉMICO**