

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA: INGENIERIA MECANICA AUTOMOTRIZ

Tesis previa a la obtención de título de:

Ingeniero Mecánico Automotriz

Tema:

“Implementación de un motor eléctrico sobre el chasis de una
motocicleta Yamaha TTR125”

AUTORES:

DIEGO ALEJANDRO JUMBO IÑIGUEZ

PABLO LEONEL REYES ABARCA

DIRECTOR:

Msc. Efrén Fernández

CUENCA SEPTIEMBRE 2012

DECLARATORIA

Los conceptos, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Los autores ceden los derechos de ésta tesis a la Universidad Politécnica Salesiana con fines académicos.

Cuenca, 26 de septiembre del 2012

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Diego A. Jumbo I.', with a horizontal line drawn across the bottom of the signature.

Diego A. Jumbo I.

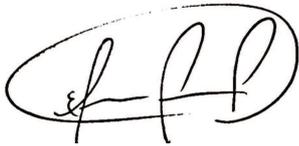
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Pablo L. Reyes A.', with a horizontal line drawn across the bottom of the signature.

Pablo L. Reyes A.

CERTIFICACION

Que el siguiente trabajo de tesis. **“Implementación de un motor eléctrico sobre el chasis de una motocicleta Yamaha TTR125”**. Para la carrera de ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, realizado por los estudiantes Diego Alejandro Jumbo Iñiguez y Pablo Leonel Reyes Abarca, fue dirigido por mi persona.

Cuenca, Septiembre del 2012

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized letters 'ef' followed by 'FP', all enclosed within a large, hand-drawn oval.

Msc. Efrén Fernández

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios, por regalarme la sabiduría y permitirme culminar en mi vida con mi carrera universitaria.

A mis padres que siempre supieron brindarme su apoyo incondicional durante todo el tiempo que duró mi carrera universitaria y el desarrollo de mi tesis.

A mis hermanos que fueron los que siempre me ayudaron a continuar con una de las etapas de mi vida.

A mi tía Susana y a mis primos que me brindaron cariño y me apoyaron en todo momento.

Y a todas las personas que siempre estuvieron para ayudarme y apoyarme en todo momento.

Diego Jumbo Iñiguez

AGRADECIMIENTO

A Dios, a Digma, y a Pedro Fernando.

Pablo Reyes A.

DEDICATORIA

A mis padres, Alejandro y Soraya, quienes con sacrificio que realizaron y apoyo incondicional siempre me guiaron por el camino correcto.

A mis hermanos, Andrés y Cristhian, que en todo momento supieron brindarme su gran amistad y apoyo, en especial a mi hermano Cristhian para que le sirva de ejemplo de superación y así él logré conseguir grandes éxitos en su vida.

Diego Jumbo Iñiguez

RESUMEN

El producto de grado que presentamos a continuación se trata de la descripción y elaboración de los procesos tanto mecánicos y eléctricos que debieron realizarse sobre el chasis de una motocicleta que originalmente era de marca Yamaha, modelo TTR125, con la finalidad de convertir el cuadro de ésta motocicleta convencional en una moto completamente eléctrica con prestaciones de una urbana. Logrando así poder hacer uso de un vehículo sin emisiones contaminantes con las ventajas que esto trae tanto para el medioambiente como para la economía de quien la use.

Para lograr el objetivo se partió desde un chasis sin elemento original alguno, nuestra intervención en la parte mecánica se basó en la construcción de los soportes en acero para el motor eléctrico y la batería de alta tensión con su respectiva instalación sobre el cuadro, además de: la instalación de piñones previamente calculados y modificaciones con fines estético-funcionales en todos los elementos. En cuanto a la parte eléctrica, se construyeron los circuitos necesarios para la circulación en ciudad, esto es: alumbrado y aviso, de igual manera los conexiones entre motor-batería-controlador, quienes en conjunto harán que la motocicleta funcione adecuadamente.

A manera resumida podemos describir el proceso de funcionamiento de la motocicleta en lo siguiente: al acelerar, mediante señales electrónicas, un controlador comanda el motor bajo una lógica determinada y logra hacerlo girar con mayor o menor velocidad dependiendo del deseo del conductor. Como sistema de recuperación de energía, un controlador aprovecha el giro del motor para transformarlo en energía eléctrica para cargar la batería, mediante interruptores se informa del deseo del conductor de disminuir la velocidad.

ÍNDICE GENERAL

Declaratoria.....	II
Certificación.....	III
Agradecimiento.....	IV
Dedicatoria.....	VI
Resumen.....	VII
Índice.....	VIII
Índice de Figuras.....	XV
Índice de Tablas.....	XIX
1. Análisis del sistema electrónico a ser implementado	
1.1. Introducción.....	2
1.2. Componentes electrónicos dedicados.....	2
1.2.1. Diodos.....	2
1.2.1.1. Polarización.....	2
1.2.1.2. Diodo Zener.....	3
1.2.2. Transistores.....	4
1.2.2.1. Aplicaciones de los transistores.....	4
1.2.2.2. Transistores de Potencia.....	4
1.2.2.2.1. Transistores BJT.....	4
1.2.2.2.1.1. Regiones de operación del BJT.....	5
1.2.2.2.2. Transistores MOSFET.....	6
1.2.2.2.2.1. Modos de operación del MOSFET.....	7
1.2.2.2.2.2. Ventajas.....	7
1.2.2.2.3. Transistores IGBT.....	7

1.2.2.2.3.1. Ventajas.....	8
1.2.3. Resistencias.....	9
1.2.3.1. Clasificación.....	9
1.2.3.1.1. Resistencias fijas.....	9
1.2.3.1.2. Resistencias variables.....	9
1.2.3.1.3. Resistencias especiales.....	9
1.2.3.2. Código de colores de resistencias fijas.....	9
1.2.4. Capacitores.....	10
1.2.4.1. Aplicaciones.....	10
1.2.5. Relés.....	11
1.2.5.1. Principio de funcionamiento.....	10
1.2.5.2. Usos en la motocicleta.....	11
1.3. Control electrónico del motor brushless.....	11
1.3.1. Motor eléctrico.....	12
1.3.2. Principio de funcionamiento.....	12
1.3.3. Características de los motores eléctricos.....	13
1.3.4. Clasificación.....	14
1.3.4.1. Motores de corriente continua.....	14
1.3.4.2. Motores de corriente alterna.....	15
1.3.4.2.1. Los motores asíncronos.....	15
1.3.4.2.2. Los motores síncronos.....	15
1.3.4.3. Motores Universales.....	15
1.3.5. Motores de Corriente Continua sin escobillas.....	16
1.3.6. Comparación de motor con escobillas (Brushed) vs. Un motor sin escobillas (Brushless).....	17
1.3.7. Controlador.....	18
1.3.7.1. ¿Qué es?	18
1.3.7.2. Lógica de funcionamiento.....	18
1.4. Frenado regenerativo.....	21
1.4.1. Funcionamiento de frenado regenerativo.....	21
1.5. Sistema a implementar.....	23
1.5.1. Funcionamiento y constitución general de la motocicleta.....	23
1.5.1.1. Constitución.....	23

1.5.2.	Funcionamiento general.....	26
1.5.3.	Funcionamiento en aceleración.....	27
1.5.4.	Funcionamiento en frenado.....	28
2.	Realización de cálculos para el sistema de transmisión	
2.1.	Introducción.....	32
2.2.	Sistemas mecánicos.....	32
2.2.1.	Factores a considerar para los sistemas mecánicos.....	32
2.2.1.1.	Fuerzas de resistencia a la rodadura.....	32
2.2.1.2.	Resistencia a la rodadura en rectas y curvas.....	34
2.2.1.3.	Fuerza de resistencia al aire.....	34
2.2.1.4.	Fuerza de resistencia por pendiente.....	36
2.2.1.5.	Coeficiente de adherencia.....	37
2.2.1.6.	Esfuerzos en aceleración máxima.....	38
2.2.1.7.	Esfuerzos en frenado.....	38
2.2.1.7.1.	Frenado máximo con freno delantero.....	38
2.2.1.7.2.	Frenado máximo con freno posterior.....	38
2.2.1.8.	Esfuerzos en curva.....	40
2.2.2.	Calculo del número de dientes de piñones conductor y conducido.....	41
2.2.2.1.	Especificaciones del motor de combustión interna.....	41
2.2.2.2.	Especificaciones de la motocicleta de motor eléctrico.....	43
2.2.3.	Cálculos.....	43
2.2.3.1.	Radio del neumático.....	43
2.2.3.2.	Radio efectivo.....	44
2.2.3.3.	Velocidad de la rueda.....	45
2.2.3.4.	Selección del número de dientes.....	46
2.2.3.5.	Cálculo de la velocidad máxima.....	47
2.2.3.6.	Cálculo de rampa máxima.....	47
2.3.	Sistema eléctrico.....	51
2.3.1.	Diseño de circuitos.....	51
2.3.1.1.	Circuito de alumbrado principal.....	51

2.3.1.2.	Circuito de intermitentes.....	51
2.3.1.3.	Circuito de luz de freno.....	52
2.3.1.4.	Circuito de claxon.....	52
2.3.1.5.	Diagrama completo de circuitos.....	52
2.3.2.	Cálculo de los fusibles.....	52
2.3.2.1.	Para alumbrado de posición.....	52
2.3.2.2.	Para alumbrado de cruce.....	53
2.3.2.3.	Para alumbrado de carretera.....	54
2.3.2.4.	Para luces intermitentes.....	56
2.3.2.5.	Para luz de freno.....	57
2.3.2.6.	Para claxon.....	57
2.4.	Cálculo de sección del cable.....	58
3.	Realización de cálculos para la modificación del chasis de la motocicleta e implementación de sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos	
3.1.	Introducción.....	62
3.2.	Montaje del sistema eléctrico de 12v.....	62
3.2.1.	Componentes del sistema eléctrico de 12 V.....	65
3.2.1.1.	Batería.....	65
3.2.1.1.1.	Características.....	65
3.2.1.2.	Interruptor principal.....	66
3.2.1.3.	Velocímetro.....	66
3.2.1.4.	Relés.....	66
3.3.	Montaje del sistema eléctrico de 48v.....	67
3.3.1.	Componentes del sistema eléctrico de 48 V.....	68
3.3.1.1.	Batería de 48V.....	68
3.3.1.1.1.	Características.....	68
3.3.1.1.2.	Ventajas y desventajas.....	69
3.3.1.1.3.	Factores que afectan a la vida de las baterías de litio.....	70
3.3.1.1.3.1.	Ciclos de vida en las baterías litio.....	70
3.3.1.1.3.2.	Hinchamiento de las celdas de litio.....	70

3.3.1.1.3.3.	Como afectan las cargas y descargas a las baterías de litio.....	70
3.3.1.1.3.4.	Comparación entre baterías de Litio.....	71
3.3.1.2.	Relé de alta corriente.....	73
3.3.1.3.	Controlador.....	73
3.4.	Montaje del motor y su base.....	79
3.4.1.	Resultado del modelado de la placa base del motor eléctrico.....	79
3.5.	Montaje de piñones.....	88
3.5.1.	Piñón motriz.....	88
3.5.2.	Piñón conducido.....	89
3.6.	Montaje de base de batería.....	89
3.6.1.	Resultados del modelado del soporte de la batería de 48 V.....	90
4.	Realización de las pruebas de funcionamiento y análisis de resultados de la eficiencia de la motocicleta eléctrica.....	
4.1.	Introducción.....	99
4.2.	Pruebas de Ruta.....	99
4.2.1.	Prueba de ruta en autopista.....	99
4.2.2.	Prueba de ruta en ciudad.....	100
4.3.	Autonomía.....	101
4.3.1.	Autopista.....	101
4.3.1.1.	Condiciones iniciales sin utilizar el freno regenerativo.....	101
4.3.1.2.	Condiciones iniciales con la utilización del freno regenerativo.....	101
4.3.1.3.	Condiciones finales en la prueba sin la utilización de freno regenerativo.....	102
4.3.1.4.	Condiciones finales en la prueba con la utilización de freno regenerativo.....	103
4.3.2.	Ciudad.....	104
4.3.2.1.	Condiciones iniciales sin la utilización del freno regenerativo.....	104

4.3.2.2.	Condiciones iniciales con la utilización del freno regenerativo	104
4.3.2.3.	Condiciones finales sin la utilización del freno regenerativo	104
4.3.2.4.	Condiciones finales con la utilización del freno regenerativo	105
4.4.	Prueba de velocidad máxima	106
4.4.1.	En recta	106
4.4.2.	Durante pruebas	108
4.5.	Prueba de aceleración máxima	109
4.6.	Prueba de rampa máxima	110
4.7.	Tiempo de carga de la batería de 48 V LIFePO ₄	111
4.7.1.	Cálculo de carga de la batería de 48 V por porcentaje y costo	112
4.7.1.1.	Porcentaje de carga	112
4.7.1.2.	Costo de carga	113
4.8.	Cálculo de los costos de operación de la motocicleta	114
4.8.1.	Cálculo de costo de operación de la motocicleta eléctrica	114
4.8.1.1.	Costos fijos	114
4.8.1.2.	Costos variables	116
4.8.1.3.	Costo total	117
4.8.1.4.	Costo unitario	118
4.8.2.	Cálculo del costo de operación de la motocicleta de combustión interna	118
4.8.2.1.	Costos fijos	118
4.8.2.2.	Costos variables	120
4.8.2.2.1.	Combustible	120
4.8.2.2.2.	Lubricante	122
4.8.2.2.3.	Mantenimiento	123
4.8.2.3.	Costo total	123
4.8.2.4.	Costo unitario	123
4.9.	Resultados obtenidos en todas las pruebas	124
4.10.	Análisis de los resultados obtenidos	125

Conclusiones.....	127
Recomendaciones.....	129
Glosario.....	130
Bibliografía.....	131
Anexos.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1.1. Polarización directa de los diodos.....	2
Figura 1.2. Polarización inversa del diodo.....	3
Figura 1.3. Diodo Zener polarización.....	3
Figura 1.4. Símbolo de transistor.....	4
Figura 1.5. Transistor NPN.....	5
Figura 1.6. Transistor PNP.....	5
Figura 1.7. Tipos de Transistores MOSFET.....	7
Figura 1.8. Transistor IGBT.....	8
Figura 1.9. Código de colores.....	10
Figura 1.10. Capacitores.....	10
Figura 1.11. Imagen un de relé.....	11
Figura 1.12. Motor eléctrico.....	12
Figura 1.13. Principio de funcionamiento de un motor eléctrico.....	13
Figura 1.14. Corte de un motor BLDC.....	17
Figura 1.15: Representación de elementos de un motor BLDC.....	21
Figura 1.16: Representación de comandos transistorizados para control del motor BLDC.....	22
Figura. 1.17: Tiempos de excitación de los bobinados.....	22

Figura. 1.18: Estados de funcionamiento de un motor/generador.....	23
Figura 1.19: Acelerador de manillar.....	26
Figura 1.20: Baterías. Izq.48V. Der 12V.....	26
Figura 1.21: Controlador.....	26
Figura 1.22: Motor BLDC usado para propulsar la motocicleta.....	27
Figura. 1.23: Disposición de elementos de control y potencia en la motocicleta.....	27
Figura. 1.24: Esquema representativo del funcionamiento en aceleración.....	29
Figura. 1.25: Esquema representativo del funcionamiento en frenado.....	30

Capítulo II

Figura 2.1: Esfuerzos en aceleración máxima.....	38
Figura 2.2: Esfuerzos en frenado.....	39
Figura 2.3: Esfuerzos con freno posterior.....	40
Figura 2.4: Esfuerzos en curva.....	40

Capítulo III

Figura 3.1: Esquema de circuito de 12V.....	62
Figura 3.2: Relés usados en los circuitos de 12V.....	63
Figura 3.3: Colores de los cables de los circuitos eléctricos.....	63

Figura 3.4: Fusiblera.....	63
Figura 3.5: Bornes de la batería de 12.....	64
Figura 3.6: Perno de sujeción de la batería de 12V.....	64
Figura 3.7: Conectores y enchufes del sistema de 12V.....	64
Figura 3.8: Interruptor principal y velocímetro.....	66
Figura 3.9: Esquema de circuito de 48 V.....	67
Figura 3.10: Relé de alta corriente y conector separable.....	67
Figura 3.11: Diagrama de conexionado del controlador.....	74
Figura 3.12: Medidas del Controlador.....	76
Figura 3.13: Gráfica de Torque y eficiencia.....	78
Figura 3.14: Placa soporte de motor.....	79
Figura 3.15: Vista lateral del motor eléctrico.....	88
Figura 3.16: Distanciales y perno en piñón conductor.....	89
Figura 3.17: Base de Batería y batería montada.....	90

Capítulo IV

Figura 4.1 Recorrido en Autopista.....	100
Figura 4.2 Recorrido en centro histórico.....	100
Figura 4.3. Prueba de velocidad máxima en línea recta.....	107
Figura 4.4. Velocidad máxima alcanzada según velocímetro instalado.....	108

Figura 4.5. Prueba de Rampa máxima.....	110
Figura 4.6. Cargador externo de la batería de 48V.....	111

INDICE DE TABLAS

Capítulo I

Tabla 1.1. Comparación entre motor sin escobillas vs motor con escobillas.....	20
--	----

Capítulo II

Tabla 2.1 Coeficiente de rodadura de neumáticos.....	33
Tabla 2.2 Coeficientes aerodinámicos y potencias de resistencias al aire.....	36
Tabla 2.3 Coeficientes de adherencia entre neumático y superficie de rodadura.....	38
Tabla 2.4 Características del motor de combustión interna.....	41
Tabla 2.5 Dimensiones de la motocicleta de combustión interna.....	42
Tabla 2.6 Características de chasis.....	42
Tabla 2.7 Especificaciones de la motocicleta de motor eléctrico.....	43
Tabla 2.8 Equivalencias de calibre de cable eléctrico.....	60

Capítulo III

Tabla 3.1 Tabla comparativa entre baterías de litio.....	72
Tabla 3.2 Pines de controlador.....	75
Tabla 3.2 Características del motor eléctrico.....	78

Capítulo IV

Tabla 4.1 Depreciación de la motocicleta eléctrica.....	117
Tabla 4.2 Depreciación de la motocicleta convencional.....	120
Tabla 4.3. Autonomía de la motocicleta eléctrica.....	125
Tabla 4.4. Velocidades y aceleraciones.....	125
Tabla 4.5. Costos comparativos entre motocicleta eléctrica y de combustión interna.....	126

CAPÍTULO I

ANÁLISIS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO A SER IMPLEMENTADO

1.1 Introducción.

Este capítulo tiene como finalidad estudiar los elementos electrónicos utilizados en la motocicleta eléctrica, realizando la explicación del funcionamiento del sistema de recuperación de energía de la motocicleta

1.2 Componentes electrónicos.

1.2.1 Diodos.

Son elementos que se utilizan en la electrónica, los mismos que permiten el paso de corriente por él en un solo sentido.

1.2.1.1 Polarización.

Los diodos pueden cumplir con dos formas de polarización:

- Polarización directa.
- Polarización inversa.

a. Polarización directa:

Se da este tipo de polarización cuando el ánodo del diodo está conectado al positivo de la batería y el cátodo está conectado al negativo, mostrado en figura 1.1, teniendo así una conexión del diodo que permita el paso de corriente.

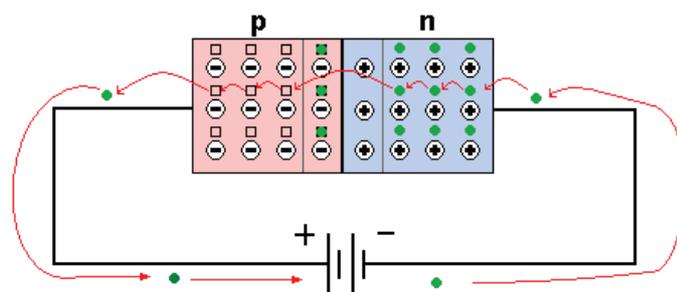


Figura 1.1. Polarización directa de los diodos.

b. Polarización Inversa:

Este tipo de polarización es la contraria a la directa, es decir el ánodo del diodo se conecta al negativo de la batería y el cátodo al positivo, en estas condiciones el diodo no permite el paso de la corriente, figura 1.2.

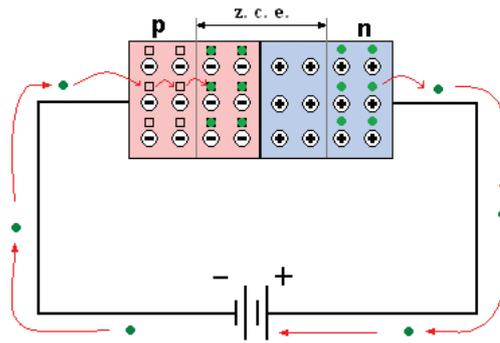


Figura 1.2. Polarización inversa del diodo.

1.2.1.2 Diodo Zener.

El diodo Zener es un tipo especial de diodo, se lo utiliza siempre con una polarización inversa como se puede observar en la figura 1.3.

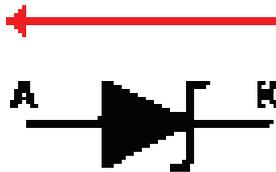


Figura 1.3. Diodo Zener polarización.

1.2.2 Transistores.

Son componentes que se usan en la electrónica, su empleo ha permitido disminuir el tamaño de los circuitos electrónicos (figura 1.4.).

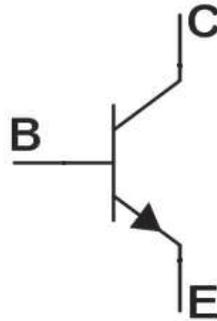


Figura 1.4. Símbolo de transistor.

1.2.2.1 Aplicaciones de los transistores.

a. Como interruptor: Al no aplicarse una corriente a su Base (B), actúa como interruptor abierto.

Mientras que cuando se le da corriente a la Base, éste se cierra, permitiendo el paso corriente desde el colector hacia el emisor.

b. Como amplificador: Si se aplica baja corriente a la Base, el transistor permite un mayor paso de corriente desde el Colector (C) hacia el emisor amplificando la señal.

1.2.2.2 Transistores de Potencia.

Estos transistores son similares a los explicados anteriormente, la diferencia radica en que pueden soportar mayores tensiones y corrientes eléctricas.

1.2.2.2.1 Transistores BJT.

De las siglas en inglés “Bipolar Junction Transistor”, esta formado por dos clases de capacidades distintas para así estos llegara a polarizarse.

Este transistor BJT pueden tener dos tipos de uniones los NPN y los PNP:

- **NPN:** En este tipo de transistor el material semiconductor “P” está en la Base y el paso de corriente se va desde colector hasta emisor, como se muestra en la figura 1.4.
- **PNP:** El material semiconductor “N” se encuentra en la base del transistor y el paso de corriente se da como indica la figura 1.5.

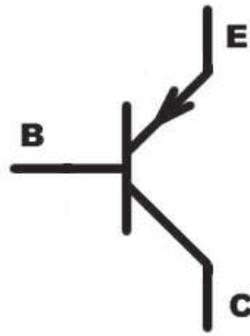


Figura 1.5 Transistor PNP.

1.2.2.2.1.1 Regiones de operación del BJT.

a. De corte.- Este se da cuando la corriente tanto del emisor, como del colector es igual a 0.

b. De saturación.- Está saturado cuando la corriente del emisor, y la del colector es igual a la corriente máxima.

c. Activo.- El transistor está en un nivel intermedio, es decir no está ni en corte ni en saturación.

d. Inversa.- Aquí los papeles que cumplen el emisor y el colector cambian, es decir se invierte las condiciones de polaridad de funcionamiento en modo activo.

1.2.2.2.2 Transistores MOSFET.

De las siglas en inglés “Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor”, es un transistor de amplificación rápida, empleado en circuitos de alta frecuencia y de baja potencia.

Este cuenta con cuatro terminales, que son:

- Puerta
- Drenador
- Fuente
- Substrato

Estos pueden ser de dos tipos: los de canal N y los de canal P:

- **Canal N:** O conocidos también como NMOS, el material semiconductor “P” esta en el substrato, mientras que en la puerta, drenador y fuente esta el material “N”. Los tipos de NMOS se observan en la Figura 1.6.
- **Canal P:** Conocidos también como PMOS, aquí el material semiconductor “N” esta en el substrato, en cambio en la puerta, drenador y fuente esta el material “P”. Los tipos de PMOS se pueden ver en la Figura 1.6.

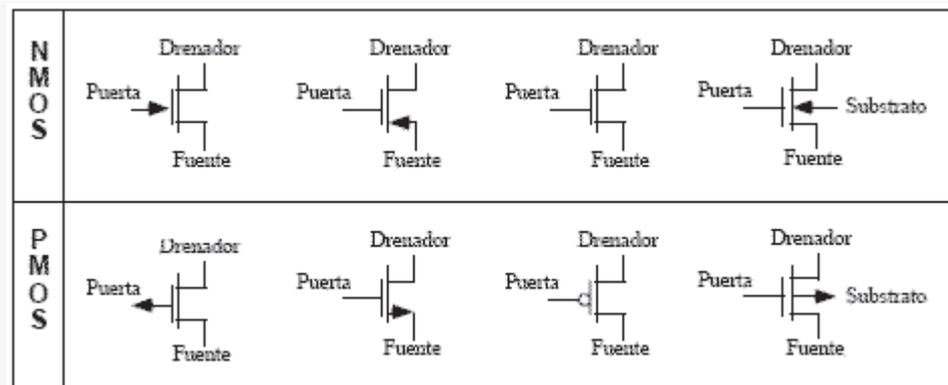


Figura 1.7. Tipos de Transistores MOSFET¹.

¹ http://www.unicrom.com/Tut_transistores_MOSFET.asp

1.2.2.2.1 Modos de operación del MOSFET.

a. Corte.- Se da cuando el voltaje entre la puerta - drenador es menor a la tensión de umbral del transistor MOSFET.

b. Lineal.- La condición que debe de cumplir para que este en región lineal es que la tensión entre la puerta - drenador sea mayor a la tensión de umbral, de la misma manera la tensión entre la fuente - drenador debe ser menor a la diferencia de tensión entre el voltaje de la puerta - drenador y la tensión de umbral.

c. Saturación.- Tanto el voltaje entre la puerta – drenador y fuente – drenador, deben ser mayores a la tensión de umbral y a la diferencia de tensión entre el voltaje puerta – drenador y tensión de umbral respectivamente.

1.2.2.2.2 Ventajas²

- Consumo en modo estático muy bajo.
- Tamaño inferior al BJT.
- Tienen una impedancia alta.
- No necesita resistencia para su funcionamiento.
- La velocidad de conmutación es muy alta.
- Se utiliza cada vez más en aplicaciones con altas frecuencias y baja potencia.

1.2.2.2.3 Transistores IGBT.

De las siglas en inglés “Isolated Gate Bipolar Transistor”, es utilizado normalmente como un interruptor en circuitos electrónicos de potencia. Este tipo de transistores soporta aún mayor tensión y corriente eléctrica que los anteriores.

Éste al igual que el BJT tiene tres terminales:

² <http://es.wikipedia.org/wiki/MOSFET>

- Puerta (G)
- Colector (C)
- Emisor (E)

Podemos observar a un transistor IGBT en la Figura 1.7.

Al aplicarle una corriente al transistor éste se cierra, actuando como un interruptor cerrado, y al quitarle la corriente este se abre y regresa a su estado de reposo.

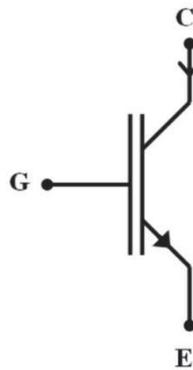


Figura 1.7. Transistor IGBT.

- Las características de operación son similares a la de los transistores BJT.

1.2.2.2.3.1 Ventajas.

- Larga vida útil.
- Bajo consumo de energía.
- Pueden manejar altas corrientes.
- Su conmutación es muy rápida.
- Totalmente controlado por tensión en la puerta (G).

1.2.3 Resistencias.

Es un componente que se utiliza tanto en la electricidad como en la electrónica, su función es la de presentar oposición al paso de corriente. La unidad para medir el valor de una resistencia es el OHM.

1.2.3.1 Clasificación.

Se clasifican en tres grupos:

1.2.3.1.1 Resistencias fijas.- Su valor óhmico es fijo, imposible de variar.

1.2.3.1.2 Resistencias variables.- Su valor óhmico se lo puede variar.

1.2.3.1.3 Resistencias especiales.- Varían su valor óhmico debido a la estimulación de un agente externo como temperatura, la luz, etc.

1.2.3.2 Código de colores de resistencias fijas.

Como se observa en la figura 1.8, los colores con que comercialmente se representan las resistencias fijas, pudiendo así identificar su valor óhmico.

Color	1ª Cifra	2ª Cifra	3ª Cifra	Multiplicador	Tolerancia
Plateado				$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
Dorado				$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
Negro	0	0	0	$\times 10^0$	
Marrón	1	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$
Rojo	2	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
Naranja	3	3	3	$\times 10^3$	
Amarillo	4	4	4	$\times 10^4$	
Verde	5	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$
Azul	6	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\%$
Violeta	7	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\%$
Gris	8	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\%$
Blanco	9	9	9	$\times 10^9$	
Ninguno					$\pm 20\%$

Figura 1.8. Código de colores³

³ <http://fisica3.all-up.com/t1-resistencias-de-4-a-7-bandas-y-sus-ecuaciones>

1.2.4 Capacitores.

Conocidos también como condensadores, figura 1.9 son componentes usados en la electricidad y en la electrónica, cumplen la función de almacenar la energía manteniendo un campo eléctrico. Su unidad de medida es el faradio (F)

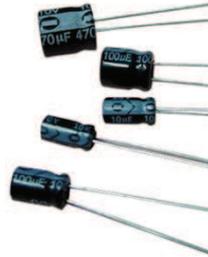


Figura 1.9. Capacitores.

1.2.4.1 Aplicaciones.

- Se los puede usar como dispositivos almacenadores de energía.
- Como filtros.
- Para evitar las caídas de tensión en los circuitos.
- Como memorias.

1.2.5 Relés.

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico para comandar o hacer circular altas corrientes, por circuitos separados.

1.2.5.1 Principio de funcionamiento

Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Fue inventado por Joseph Henry en 1835.

Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico. Figura 1.10.

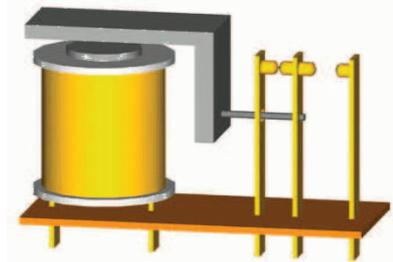


Figura 1.10. Imagen un de Relé.

1.2.5.2 Usos en la motocicleta.

Al poder comandar altas corrientes con bajas corrientes, se nos hace indispensable el uso de estos dispositivos electromecánicos, tanto en la red de 12V como en la de 48V. Para la red de 12V se usan relés para los elementos de mayor consumo con la finalidad de proteger la instalación eléctrica, tal es el caso de la luz principal, para los consumidores de menor potencia no se usaran estos elementos.

Para la red de 48V, usamos un relé con características especiales, la bobina que hace conmutar los terminales es de 12V, pero por éstos atraviesa una tensión de 48V de la batería de alta tensión con corrientes que van desde 5A hasta 150A, es decir, para hacer activar este relé que alimenta de 48V al controlador, se necesita una tensión de 12V.

1.3 Control electrónico del motor sin escobillas.

Se hará una breve reseña de un motor convencional para poder establecer diferencias entre un motor sin escobillas y uno con escobillas

1.3.1 Motor eléctrico

Un motor eléctrico como el mostrado en la figura 1.11, es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos magnéticos variables. Algunos de los motores eléctricos “son reversibles”, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores, ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías. Así, en automóviles se están empezando a utilizar en vehículos híbridos para aprovechar las ventajas de los dos tipos de motores o incluso solamente en autos eléctricos.



Figura 1.11 Motor eléctrico

1.3.2 Principio de funcionamiento

Los motores de corriente continua y los de corriente alterna se basan en un mismo principio de funcionamiento, el cual establece que un conductor por el que circula corriente eléctrica y está sometido a la acción de un campo magnético, tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético. El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas que se provocan debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, obteniendo como consecuencia el movimiento circular que se observa en el rotor del motor.

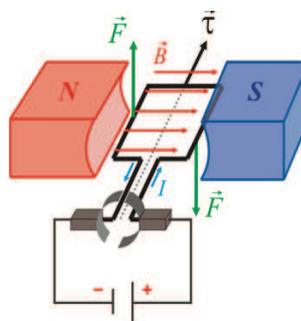


Figura 1.12. Principio de funcionamiento de un motor eléctrico

Aprovechando el estator y rotor ambos de acero laminado al silicio se produce este campo magnético uniforme en el motor.

Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente por un conductor, como se observa la línea negra en la figura 1.12, produce un campo magnético, si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético mayor, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado eje (flecha).

1.3.3 Características de los motores eléctricos.

Las características de los motores eléctricos están regidas por dos parámetros que expresan directamente sus propiedades. Dichos parámetros son los siguientes:

- Velocidad de rotación
- Par motor

La velocidad de rotación indica el número de giros por unidad de tiempo que produce el motor y tiene relación directa con la forma de construcción del motor, de la tensión de alimentación, y de la carga mecánica que su eje tenga que arrastrar, aunque esto último no es aplicable a un tipo especial de motores denominados síncronos o sincrónicos. Las unidades que se usan son las revoluciones por minuto (RPM) y las revoluciones por segundo (RPS).

El par motor expresa la fuerza de arrastre de éste y depende lógicamente de la potencia que sea capaz de desarrollar dicho motor, así como de la velocidad de rotación del mismo. El concepto de par motor es importante a la hora de elegir un modelo para una aplicación determinada; se define como la fuerza que es capaz de vencer el motor multiplicada por el radio de giro. Esto significa que no es lo mismo mover, por ejemplo, una polea que transmita una fuerza de 20kg., con un radio de 10cm. que con otro radio de 20cm., ya que el par motor será, en el segundo caso, el

doble que el del primero. Las unidades de medida son N·m en el sistema internacional y Lb·pie en el sistema inglés.

Además de estos factores también se consideran otros, tales como las condiciones de arranque, la potencia absorbida y el factor de potencia.

Existe una relación matemática que liga ambos parámetros, ya que como se ha indicado son dependientes entre sí; dicha relación se expresa por la siguiente fórmula:

$$M = 0,95 \cdot \frac{P}{N}$$

Donde M es el par motor expresado en kg x cm., P es la potencia absorbida en Watts y N es la velocidad en revoluciones por minuto.

1.3.4 Clasificación.

En función del tipo de corriente suministrada para alimentar el motor, que define por completo las características constructivas del mismo, se los puede clasificar a los motores eléctricos en tres grupos:

1.3.4.1 Motores de corriente continua (C.C.)

Es necesario aplicar al inducido una C.C. para obtener movimiento, así como al inductor en el caso de que éste sea del tipo de electroimán, conociéndose a ésta con el nombre de corriente de excitación. Su construcción suele estar realizada mediante un inductor cilíndrico hueco (imán o electroimán) que contiene un cierto número de pares de polos magnéticos (Norte-Sur), que se conoce con el nombre de estator. En su interior se encuentra el inducido o rotor también cilíndrico sobre el cual se encuentra el arrollamiento. El eje está acoplado mediante rodamientos o cojinetes para permitir el giro y dispone de una superficie de contacto montada sobre un

dispositivo llamado colector sobre el que se deslizan los contactos externos o escobillas.

1.3.4.2. Motores de corriente alterna

Son los que se alimentan de este tipo de excitación y comprende dos tipos, con propiedades bastantes diferenciadas:

1.3.4.2.1. Los motores asíncronos, también conocidos con el nombre de motores de inducción, basan su funcionamiento en el efecto que produce un campo magnético alterno aplicado a un inductor o estator sobre un rotor con una serie de espiras sin ninguna conexión externa sobre el que se inducen unas corrientes por el mismo efecto de un transformador.

Por lo tanto, en este sistema solo se necesita una conexión a la alimentación, que corresponde al estator, eliminando el sistema de escobillas que se precisa en otros tipos de motores.

1.3.4.2.2. Los motores síncronos, están constituidos por un inducido que suele ser fijo, formando, consecuentemente, el estator sobre el que se aplica una corriente alterna y por un inductor o rotor formado por un imán o electroimán que contiene un cierto número de pares de polos magnéticos. El campo variable del estator hace girar al rotor a una velocidad fija y constante de sincronismo que depende de la frecuencia alterna aplicada. De ello deriva su denominación de síncronos.

1.3.4.3 Los motores universales, son aquellos que pueden recibir alimentación tanto continua como alterna, sin que por ello se alteren sus propiedades. Básicamente responden al mismo principio de construcción que los de C.C. pero excitando tanto a inductor como a inducido con la misma corriente, disponiendo a ambos en serie sobre el circuito de alimentación.

1.3.5 Motores de Corriente Continua sin escobillas.

Los motores de corriente continua sin escobillas (BLDC) son uno de los tipos de motores que más popularidad ha ganado en los últimos años.

Actualmente los motores BLDC (figura 1.13) se emplean en sectores industriales tales como: aeroespacial, consumo, medicina, equipos de automatización e instrumentación, y aún con mayor impacto en la actualidad, en el campo automotriz. Este tipo de motor usaremos para propulsar la motocicleta eléctrica.

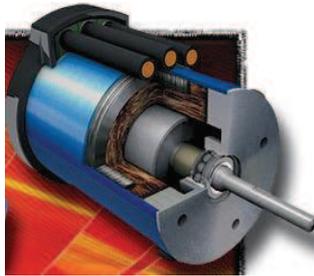


Figura 1.13. Corte de un motor BLDC

Los motores BLDC tienen la característica de no emplear escobillas en la conmutación para la transferencia de energía. En este caso, la conmutación se realiza electrónicamente, se explicará a detalle en la sección 1.3.8.2. Esta propiedad elimina el gran problema que poseen los motores eléctricos convencionales con escobillas, los cuales producen rozamiento, disminuyendo el rendimiento del motor, a la vez que desprenden calor, son ruidosos y requieren de una sustitución periódica por lo tanto requieren de mantenimiento frecuente.

Los motores BLDC tienen muchas ventajas frente a los motores C.C. con escobillas. Entre ellas se pueden señalar las siguientes:

- Mejor relación de velocidad-par motor
- Mayor respuesta dinámica
- Mayor eficiencia
- Mayor vida útil

- Menor ruido
- Mayor rango de velocidades

Además, la relación par motor-tamaño es mucho mayor, lo que implica que se pueda emplear en aplicaciones donde se trabaje con un espacio reducido, tal es el caso de ésta motocicleta.

Por otra parte, los motores BLDC tienen las desventajas que a continuación se señalan:

- Poseen un mayor costo
- Requieren un control bastante más complejo

1.3.6 Comparación de motor con escobillas (Brushed) vs. Un motor sin escobillas (Brushless).

	Motor Brushless	Motor Brushed
Conmutación	Conmutación electrónica basada en transistores y sensores de posición de efecto Hall en algunos casos.	Conmutación por escobillas
Mantenimiento	Mínimo	Periódico
Durabilidad	Mayor	Menor

Curva Velocidad / par	Plana. Operación a todas las velocidades con la carga definida	Moderada. A altas velocidades la fricción de las escobillas se incrementa, reduciendo el par.
Eficiencia	Alta. Sin caída de tensión por la ausencia de escobillas.	Moderada
Potencia de salida / Tamaño	Alta. Menor tamaño debido a mejores características térmicas porque los bobinados están en el estator, que al estar en la carcasa tiene una mejor disipación de calor.	Baja. El calor producido en la armadura es disipado en el interior aumentando la temperatura y limitando las características.
Inercia del rotor	Baja. Debido a los imanes permanentes en el rotor	Alta. Limita las características dinámicas.
Rango de velocidad	Alto. Sin limitaciones mecánicas impuestas por escobillas/conmutador.	Bajo. El límite lo imponen principalmente las escobillas
Ruido eléctrico generado	Bajo.	Arcos en las escobillas
Coste de construcción	Complejo y caro	Simple y barato.
Requisitos de control	Un controlador es requerido siempre para mantener el motor funcionando. El mismo puede usarse para variar la velocidad.	No se requiere control si no se requiere una Variación de velocidad.
Conexión de bobinados	Conexión triángulo-estrella	Conexión Triángulo

Método de Reversa	Cambiando la lógica	Cambiando la polaridad del voltaje
--------------------------	---------------------	------------------------------------

Tabla 1.1. Comparación entre motor sin escobillas vs motor con escobillas

1.3.7 Controlador.

1.3.7.1 ¿Qué es?

El motor que usamos para propulsar nuestra motocicleta es un motor de corriente continua sin escobillas, para usar este tipo de motores se hace indispensable el uso de un control lógico de estado sólido para poder transformar la energía eléctrica que proporciona la batería en energía mecánica (movimiento rotativo), pues se necesita comandar un circuito transistorizado para energizar las tres bobinas del motor con suma precisión bajo una lógica de funcionamiento determinada, que explicamos a continuación.

1.3.7.2 Lógica de funcionamiento

Para explicar la lógica de funcionamiento de un motor BLDC, se usará como ejemplo, un motor con un rotor (elemento magnético), tres embobinados en el estator y tres foto-transistores encargados de la detección de la posición del rotor, tal como

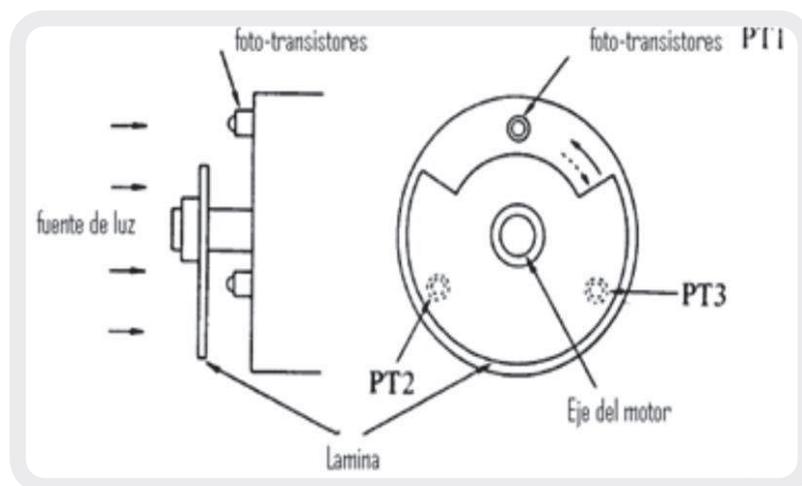


Figura 1.14. Representación de elementos de un motor BLDC

se muestra en la Figura 1.14

El rotor del motor se encuentra sujeto a una especie de lámina que va girando con éste y que es el objeto que obstruye la luz a los foto - transistores, con lo que se obtiene los estados de los sensores, que determinan las variables de entrada a la lógica que realiza el movimiento. Esto se ve mejor representado en la figura 1.14, se puede observar que mientras PT1 está recibiendo luz, PT2 y PT3 están tapados por la lámina, y de esta forma se sabe en qué posición se encuentra el rotor al momento de la toma de datos.

Una vez conocida la posición del rotor, se comienza a seguir la lógica secuencial para moverlo a una velocidad determinada, esto se logra energizando las bobinas del estator en diferentes tiempos. Para alimentar los embobinados se usa un control, seguido de una etapa de salida compuesta por transistores, que cumplan con los requerimientos de velocidad y potencia, y se hace pasar corriente por las fases dependiendo de la posición del rotor, este esquema se observa en la Figura 1.15. Es decir, para el ejemplo que se tomó anteriormente de PT1 prendido, mientras PT2 y PT3 se encuentran apagados, la lógica decide por cual embobinado hacer pasar

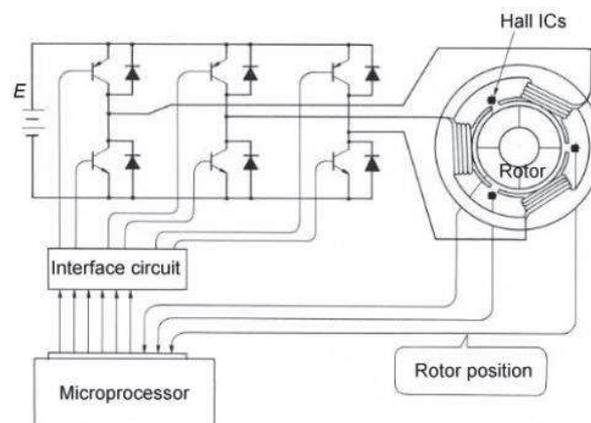


Figura 1.15 Representación de comandos transistorizados para el control del motor BLDC corriente para que gire en uno u otro sentido como se aprecia en la figura 1.15.

En la figura 1.16 podemos ver el instante en que se energiza cada embobinado y el tiempo de energización. La amplitud de la onda depende de la velocidad del giro. A mayor velocidad, mayor consumo de corriente.

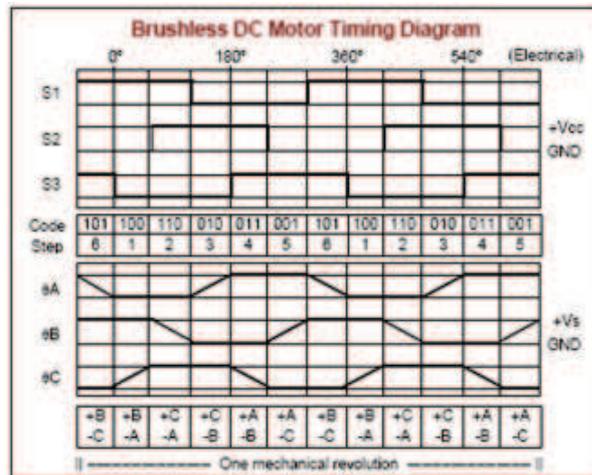


Figura 1.16. Tiempos de excitación de los bobinados

1.4 Frenado regenerativo.

El freno regenerativo permite reducir la velocidad de un vehículo transformando parte de su energía cinética en energía eléctrica. Se basa en el principio de que un motor eléctrico puede ser utilizado como generador.

1.4.1 Funcionamiento de frenado regenerativo

“Los estados de funcionamiento de un motor de C.C. se pueden representar gráficamente como se muestra en la figura 1.17.

Como se puede observar, se utiliza un sistema de coordenadas en el que el eje vertical representa la f.e.m. y en el eje horizontal la corriente inducida. Como la f.e.m. es proporcional a la velocidad, el eje vertical también será de velocidades. Del mismo modo, el par se representa en el eje horizontal porque es proporcional a la corriente.

En los cuadrantes I y III, el producto f.e.m. por intensidad es positivo, por lo tanto la

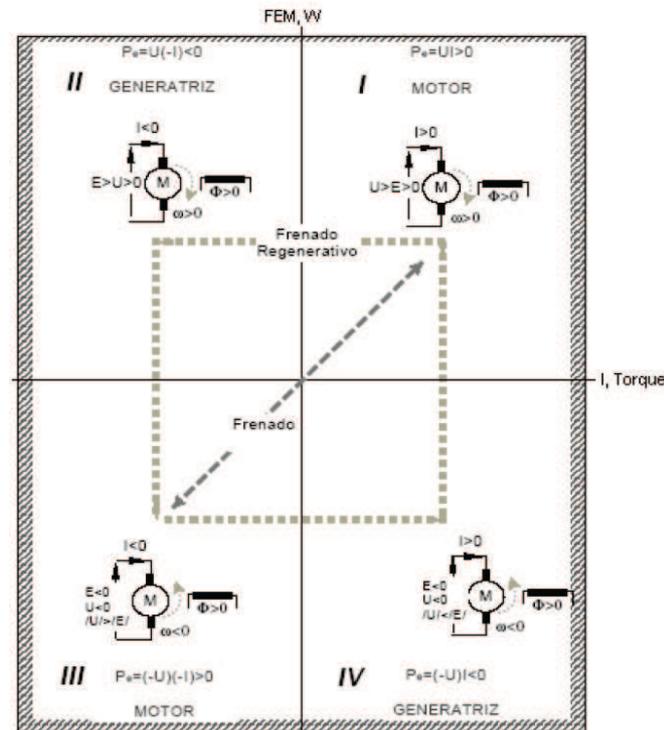


Figura 1.17. Estados de funcionamiento de un motor/generador.

potencia es positiva y el motor está absorbiendo energía eléctrica para convertirla en energía mecánica, es decir, se está comportando como motor.

En los cuadrantes II y IV, el producto es negativo por lo que la máquina devuelve energía eléctrica, es decir, se comporta como generador.”⁴

El controlador es el elemento que hace que el motor pueda trabajar en esos cuadrantes por lo que podrá ser :

- De un cuadrante si únicamente puede suministrar corriente para alimentar el motor.
- De dos cuadrantes si puede absorber la corriente generada por el motor cuando éste gira más rápido que la velocidad establecida.

⁴ ESCOBAR Carlos; MARTINEZ José; TELLEZ German. “Control de un motor brushless con frenado regenerativo”. Director: Camilo Otálora. Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá. Departamento de Ingeniería Electrónica. 2005

- De cuatro cuadrantes si también se puede invertir y absorber la corriente generada en ambos sentidos.

Para realizar el frenado del motor brushless, es necesario, como en cualquier otro motor de CC, aumentar la carga en el bobinado, de tal manera que el campo generado en éste aumente, reduciendo la velocidad del rotor.

Cuando se ordena a un motor que disminuya la velocidad, éste responde perdiendo la energía que tiene acumulada por inercia a causa de la entrega de energía a las baterías.

El objetivo del frenado regenerativo es no disipar la energía en calor como realiza el frenado convencional usando freno mecánico o una resistencia, sino aprovechar esta energía para recargar la batería que alimenta el motor.

La teoría electromagnética dice que se produce un campo, proporcional a la velocidad, cuando se mueve un dipolo magnético en el espacio. Este campo es inducido en las bobinas, de las que están compuestas las fases del motor, generando una f.e.m. de retorno inducida para tener un par mayor a cero. Esta energía puede ser utilizada cuando el motor deja de ser excitado, ya que es proporcional a la velocidad y por lo tanto a la inercia, en el momento de frenar para recargar las fuentes de alimentación. La información sobre la energía en cada una de las fases del motor cuando no se está alimentando, se puede obtener de los sensores que indican la posición del rotor.

1.5 Sistema a implementar.

1.5.1 Funcionamiento y constitución general de la motocicleta.

1.5.1.1 Constitución.

Una vez comprendido el rol de cada elemento constitutivo de la motocicleta eléctrica explicaremos el funcionamiento general y como es que desde el acelerador se da movimiento al motor.

Como elementos indispensables para que el motor pueda girar citamos los siguientes:

- **Acelerador.** De tipo electrónico, envía señales mediante un sensor de “efecto hall” hacia el controlador. Para su funcionamiento requiere de: alimentación (+5V), y masa. Devuelve como señal una onda de amplitud variable (0,9V-4,8V) dependiendo de los deseos del conductor (0-100% de aceleración). Figura 1.18.



Figura 1.18. Acelerador de Manillar

- **Baterías.** Una de 48V30Ah de tipo LiFePO4, especial para vehículos eléctricos y otra de 12V 5Ah de tipo gel, para alimentar el circuito de alumbrado y aviso. Figura 1.19

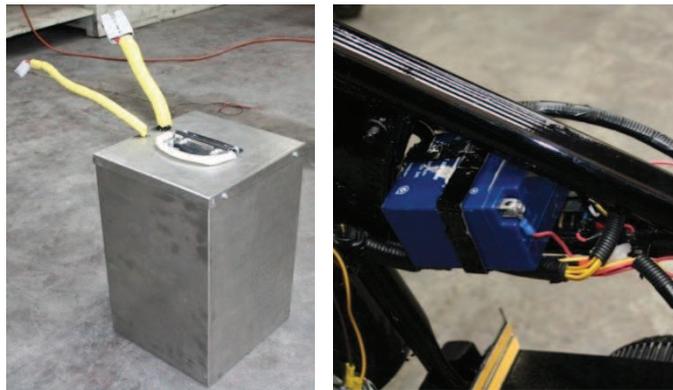


Figura 1.19 Baterías de 48V y 12V.

- **Controlador.** HPC500 48600, diseñado para controlar motores sin escobillas a 48V 500A, tiene como funciones adicionales: el control de corriente máxima con autoprotección, capacidad de reversibilidad de giro, freno regenerativo, control de cruce, susceptible de programación mediante puerto USB. Figura 1.20



Figura 1.20. Controlador

- **Motor.** De Corriente continua sin escobillas (BLDC), torque máximo 29Nm @ 3300 RPM [Anexo C2]. Figura 1.21.



Figura 1.21 Motor BLDC usado para propulsar la motocicleta

En la figura 1.22 se puede apreciar la disposición de los elementos.

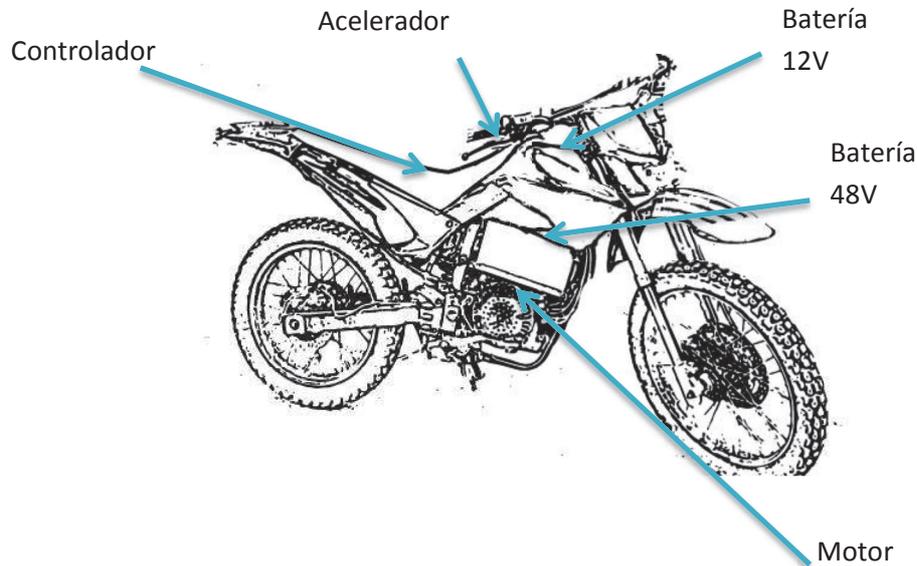


Figura 1.22 Disposición de elementos de control y potencia en la motocicleta

1.5.2 Funcionamiento general

Para alimentar la corriente necesaria para los consumidores de la motocicleta se provee de dos baterías, una de 12V y otra de 48V. Al girar la llave del interruptor principal se alimentan dos relés principales, el primero de 12V 10A encargado de los circuitos de alumbrado y aviso, y un segundo relé de 12V 500A encargado de conmutar la tensión de 48V proveniente de la batería de alta tensión al controlador para su funcionamiento y consecuentemente al motor. Es decir al girar la llave, se da paso para tener las 2 tensiones de funcionamiento, 12V y 48V.

Para recargar la batería de voltaje bajo, se provee de un conversor C.C.-C.C., encargado de transformar el voltaje de 48V a 12V. La bobina del segundo relé ubicado bajo el asiento de la motocicleta es excitada con la corriente de la batería de 12V, pero en sus terminales de potencia conmuta 48V a 150A (dependiendo del consumo del motor). Es decir si en algún momento la batería de 12V no tiene la tensión necesaria para mantener excitada la bobina de éste relé, no se podrá disponer

de la alta tensión y por lo tanto la motocicleta no podrá funcionar, para solucionar ello se deberá recargar la batería de 12V y corregir el problema de la ausencia de carga a la batería de 12V.

Cuando ya se tiene tensión en ambos circuitos, el sistema estará listo y se podrá poner la moto a funcionar mediante el acelerador ubicado en el manillar derecho, teniendo en cuenta que si el interruptor de freno regenerativo está activado el acelerador no responde.

En cuanto a los mandos de alumbrado y freno son idénticos a una motocicleta convencional, es decir, ubicados en la misma posición. Para informar del estado de carga de la batería se cuenta con indicadores LED, ubicados en el manillar derecho.

1.5.3 Funcionamiento en Aceleración

Al girar el acelerador, se envía una señal cuya forma de onda es de amplitud variable de 0.9V hasta 4.8V, (0-100%), ésta señal es recibida y procesada por el controlador, el controlador interpreta los deseos del conductor y mediante el envío de pulsos de voltaje variable en tres diferentes fases (lógica de funcionamiento) hacia el motor logra hacerlo girar con mayor o menor velocidad. Figura 1.23.

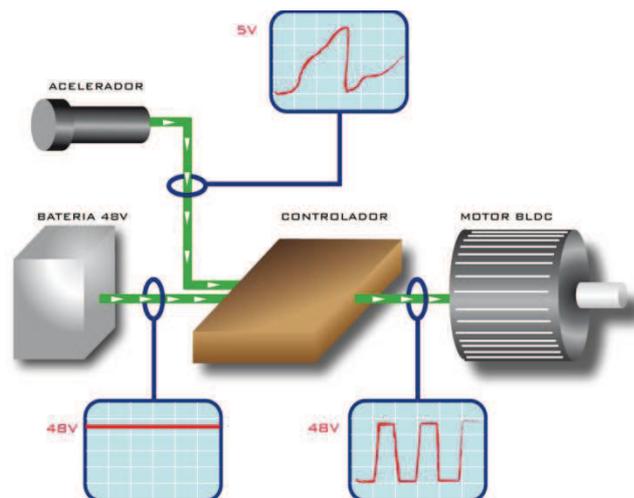


Figura 1.23 Esquema representativo del funcionamiento en aceleración

1.5.4 Funcionamiento en frenado

Existen dos maneras de usar el freno regenerativo:

- a.) Usando los frenos hidráulicos, ya sea el delantero (manigueta) o el posterior (pedal).
- b.) Mediante el interruptor ubicado junto al acelerador.

En ambos casos con la señal de acelerador en 0%, y el motor girando, mediante los interruptores se envía un pulso de masa hacia el controlador quien interpreta que se desea disminuir la velocidad y hace que el motor no reciba corriente, en lugar de ello aprovecha la inercia del giro del motor para enviar corriente inducida hacia el controlador, simulando el freno motor, es decir el motor está funcionando como generador, el controlador se encarga de rectificar esa corriente pulsante en corriente continua y dirigirla hacia la batería para su recarga.

En la Figura 1.24 se aprecia el flujo de la energía y formas de onda de los elementos desde el motor hacia la batería.

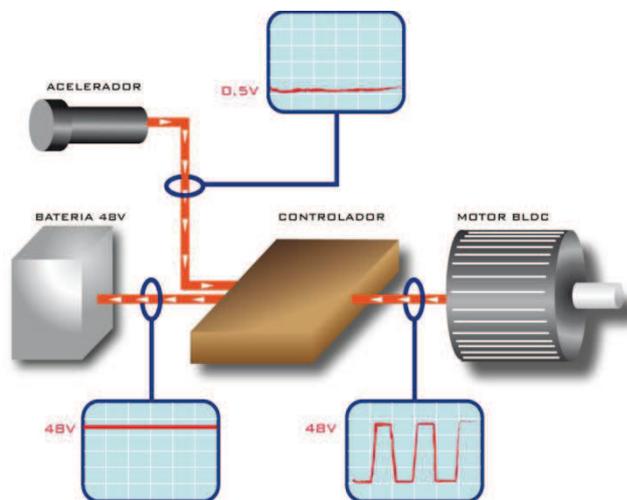


Figura 1.24 Esquema representativo del funcionamiento en frenado

CAPÍTULO II

REALIZACIÓN DE CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.

2.1. Introducción.

Este capítulo tiene la finalidad de obtener los datos necesarios para la realización de los circuitos eléctricos y mecánicos. Para los eléctricos obtendremos valores de consumo de los elementos de alumbrado y aviso, así como el diámetro de los cables a usar. Para la parte mecánica se obtendrá la relación de los piñones para la transmisión de la motocicleta, y los elementos necesarios para el diseño de la placa que soporta el motor, y la batería de 48V.

Para la elaboración de estos cálculos, los datos técnicos (potencia, torque, dimensiones, pesos) de la motocicleta de motor de combustión interna se los ha obtenido de las especificaciones del fabricante.

2.2. Sistemas mecánicos.

2.2.1. Factores a considerar para los sistemas mecánicos.

2.2.1.1. Fuerzas de resistencia a la rodadura.

Este tipo de fuerzas son las que se oponen al movimiento de la motocicleta, así como también son originadas por la deformación en el neumático y en la calzada.

Estas fuerzas a bajas velocidades son más importantes, porque al llegar a una velocidad comprendida entre 75 a 85 Km/h las fuerzas desarrolladas por efectos aerodinámicos superan el valor de la resistencia a la rodadura⁵.

La resistencia a la rodadura total comprende las resistencias de cada una de las ruedas:

$$R_x = R_{xf} + R_{xr}$$

⁵ MEZQUITA, José Font; DOLS RUIZ, Juan Francisco. Tratado sobre automóviles tomo IV. Dinámica del automóvil. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Página 308.

R_x = Resistencia a la rodadura total.

R_{xf} = Resistencia a la rodadura de las ruedas delanteras.

R_{xr} = Resistencia a la rodadura de las ruedas traseras.

Otra fórmula para calcular la resistencia a la rodadura total es mediante:

$$R_x = f_r * W$$

f_r = Coeficiente de resistencia a la rodadura.

W = Peso del vehículo.

Tabla de los valores del coeficiente de resistencia a la rodadura de los neumáticos⁶.

Tipo de vehículo	Superficie		
	Hormigón o Asfalto	Dureza media	Arena
Turismos	0.015	0.08	0.30
Camiones	0.012	0.06	0.25
Tractores	0.02	0.04	0.20

Tabla 2.1. Coeficiente de rodadura de neumáticos

⁶ APARICIO IZQUIERDO, Francisco; VERA ÁLVAREZ, Carlos; DÍAZ LÓPEZ, Vicente. Teoría de los vehículos automóviles, Madrid, Noviembre 2001. Página 46.

2.2.1.2. Resistencia a la rodadura en rectas y en curvas.

La resistencia a la rodadura en curvas es mayor a la resistencia a la rodadura en rectas debido a que su coeficiente depende de la velocidad de marcha, del radio de la curva, de las propiedades del movimiento del eje, de los neumáticos y de la presión de inflado.

2.2.1.3. Fuerzas de resistencia al aire.

Al efectuarse el movimiento de la motocicleta, el aire ofrece una resistencia al paso del vehículo que se la denomina “fuerza aerodinámica”.

$$F_a = ps * s * C_x^7$$

F_a = Fuerza aerodinámica

ps = Presión resistente (Kgf/m^2).

s = Superficie sobre la que incide el aire (m^2).

C_x = Coeficiente aerodinámico del vehículo.

Esta fuerza depende de varios factores:

- Velocidad de la motocicleta
- Velocidad del aire.
- Dirección del aire.

⁷ FERRER, Julián; DOMINGUEZ, José. Sistemas de transmisión y frenado. Mantenimiento de vehículos autopropulsados. EDITEX. Página 13.

Se presenta una tabla de coeficientes aerodinámicos y potencias de resistencias al aire de diferentes vehículos⁸.

Vehículos	Coeficiente aerodinámico	Potencia de resistencia al aire en Kw, valores medios y diferentes velocidades.			
		40 Km/h	80 Km/h	120 Km/h	160 Km/h
Cabriolet¹³ abierto	0.5...0.7	1	7.9	27	63
Familiar	0.5...0.6	0.91	7.2	24	58
Tres volúmenes¹⁴	0.4...0.55	0.78	6.3	21	50
En forma de cuñas, faros y parachoques integrados en el cuerpo, ruedas cubiertas, revestimientos del fondo, circulación óptima del aire de refrigeración.	0.3...0.4	0.58	4.6	16	37
Faros y todas las ruedas en el cuerpo: fondo revestido.	0.2...0.25	0.37	3.0	10	24
Forma K (pequeña sección de	0.23	0.38	3.0	10	24

⁸ BOSCH. Manual de la Técnica del automóvil, tercera edición. Editorial Reverté, S.A. Página 332.

penetración)					
Forma favorable para cortar el viento	0.15...0.20	0.29	2.3	7.8	18
Camiones	0.8...0.15	-	-	-	-
Motos	0.6...0.7	-	-	-	-
Autobuses	0.3...0.7	-	-	-	-

Tabla 2.2. Coeficientes aerodinámicos y potencias de resistencias al aire

2.2.1.4. Fuerza de resistencia por pendiente.

Esta fuerza es la que se origina al momento de subir por una pendiente, la misma que depende de la inclinación de la misma, así como también del peso de la motocicleta.

$$F_p = P * \text{sen}\theta^9$$

F_p = Fuerza de resistencia por pendiente.

P = Peso de la motocicleta.

θ = Inclinación de la pendiente.

Para calcular la pendiente podemos emplear la siguiente fórmula:

$$\text{sen}\theta = \frac{h}{L}$$

h = Altura de la pendiente.

L = Longitud recorrida.

⁹ FERRER, Julián; DOMINGUEZ, José. Sistemas de transmisión y frenado. Mantenimiento de vehículos autopropulsados. EDITEX. Página 15.

2.2.1.5. Coeficiente de Adherencia.

El coeficiente de adherencia se relaciona directamente con el máximo valor de adherencia entre la superficie de rodadura y el neumático.

Éste está influenciado por varios factores, que de una u otra manera afectan al coeficiente de adherencia:

- Banda de rodamiento.
- Velocidad de circulación.
- Carga vertical sobre el neumático.
- Calzada (limpieza, humedad, naturaleza).

Presentamos una tabla de valores medios del coeficiente de adherencia entre el neumático y la superficie de rodadura¹⁰:

Superficie	Valor máximo $\mu_{\text{máx}}$	Valor de deslizamiento μ_d
Asfalto y hormigón secos	0.8-0.9	0.75
Asfalto mojado	0.5-0.7	0.45-0.6
Hormigón mojado	0.8	0.7
Grava	0.6	0.55
Tierra seca	0.68	0.65
Tierra húmeda	0.55	0.4-0.5
Nieve dura	0.2	0.15
Hielo	0.1	0.07

Tabla 2.3. coeficientes de adherencia entre neumático y superficie de rodadura

¹⁰ APARICIO IZQUIERDO, Francisco; VERA ÁLVAREZ, Carlos; DÍAZ LÓPEZ, Vicente. Teoría de los vehículos automóviles, Madrid, Noviembre 2001. Página 53.

2.2.1.6. Esfuerzos en aceleración máxima.



Figura 2.1. Esfuerzos en aceleración máxima

Se analizarán los esfuerzos a la que está sometida la motocicleta cuando se produce la aceleración máxima. Los mismos que representamos las fuerzas F_d y F_t , en la figura 2.1, las que son las que se producen en los neumáticos delantero y trasero respectivamente debido al peso. La inercia hace que se produzca una fuerza que es opuesta al movimiento de la motocicleta la misma que la representamos por F_r . Teniendo una fuerza de aceleración F_a , que se produce en el neumático posterior y en sentido del movimiento de la motocicleta. Tanto el peso como la fuerza que se opone al movimiento de la motocicleta se aplican sobre el centro de gravedad (CG).

2.2.1.7. Esfuerzos en frenado.

2.2.1.7.1. Frenado máximo con freno delantero.

Se estudiarán los esfuerzos a los que se somete la motocicleta durante el frenado solamente con el freno delantero, el mismo que producirá la flexión máxima del chasis, se tienen las fuerzas que se producen en los neumáticos delantero y posterior: (F_d y F_t), una fuerza (F_r) dirigida en sentido opuesto a la fuerza de frenado en el neumático delantero (F_{fd}), el peso de la motocicleta (P) y la fuerza opuesta al frenado se aplica sobre el CG.



Figura 2.2. Esfuerzos en frenado

2.2.1.6.2. Frenado máximo con freno posterior.

Se estudiarán los esfuerzos a los que es sometida la motocicleta al frenar solamente con el freno posterior. Donde se tienen las fuerzas que se producen en los neumáticos delantero y posterior (F_d y F_t) respecto del piso, una fuerza opuesta (F_r) que es opuesta a la fuerza de frenado en el neumático posterior (F_{ft}), donde el peso (P) y la fuerza opuesta al frenado (F_r) se aplican sobre el CG. Figura 2.3



Figura 2.3. Esfuerzos con freno posterior

2.2.1.8. Esfuerzos en curva.



Figura 2.4. Esfuerzos en curva

Se analizará los esfuerzos en una curva con la máxima inclinación posible en una situación estable, los mismos esfuerzos son los que vemos en la figura 2.4, donde tenemos N que es la fuerza que se produce en el neumático posterior con el piso, una fuerza F_d en sentido de inclinación de la motocicleta, una fuerza de curva (F_c) que

es en sentido opuesto a la inclinación de la motocicleta y que se aplica sobre el CG al igual que el peso de la motocicleta.

2.2.2. Cálculo del número de dientes de piñones conductor y conducido

2.2.2.1. Especificaciones del motor de combustión interna¹¹.

Para este cálculo nos vamos a basar en los datos que nos da el fabricante, mostrados en la siguiente tabla:

2.2.2.1.1. Motor

Características	Tipo
Motor	4 tiempos, Monocilíndrico
Desplazamiento	196 ml
Refrigeración	Por aire
Potencia máxima	14 hp a 7500 rpm
Par máximo	14.5 N.m a 6000 rpm
Diámetro x Carrera	68.58 mm x 53.34 mm
Velocidad máxima	65 millas/h 105 Km/h
Capacidad	20°
Ignición	CDI
Sistema de arranque	Eléctrico
Batería	12 V / 7 Ah
Aceite del motor	SAE 15W/40

Tabla 2.4. Características del motor de combustión interna

¹¹http://www.kinroad.net/index.php?main_page=product_info&cPath=3&products_id=39.

2.2.2.1.2. Dimensiones

Dimensión	Medida
Distancia entre ejes	1379.22 mm
Longitud	2120.9 mm
Ancho	830.58 mm
Altura	1191.26 mm
Altura del asiento	838.2 mm
Mínima distancia al suelo	289.56 mm

Tabla 2.5. Dimensiones de la motocicleta de combustión interna

2.2.2.1.3. Chasis

Característica	Tipo
Transmisión	5 velocidades
Tipo	Cadena
Rueda motriz	Posterior
Suspensión delantera/trasera	Amortiguador hidráulico/muelle
Frenos delantero/trasero	Disco/disco
Neumáticos delantero/trasero	2.75-21/4.10-18
Capacidad combustible	1.4 gal
Peso	255 lb

Tabla 2.6. Características de chasis

2.2.2.2. Especificaciones de la motocicleta de motor eléctrico¹².

2.2.2.2.1. Motor.

Especificación	Tipo/Unidad
Motor	BLDC Motor
Potencia Máxima de Entrada	11.572 KW a 3304 Rpm
Potencia Máxima de Salida	10.012 KW a 3304 Rpm
Par Máximo	28.94 N.m a 3304 Rpm
Eficiencia	86.5%
Refrigeración	Por aire
Peso	17 Kg
Voltaje	48 V
RPM	3000-6000
Diámetro	206 mm
Longitud	170 mm

Tabla 2.7. Especificaciones de la motocicleta de motor eléctrico

2.2.3. Cálculos.

2.2.3.1. Radio del neumático

$$r = \frac{1}{2}(\phi * 25.4 + 2 * b_n * R_{NA})$$

r = Radio del neumático

ϕ = Diámetro del neumático (pulg)

¹² [http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM10KW%20\(48V\)%20Data.pdf](http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM10KW%20(48V)%20Data.pdf).

b_n = Anchura de la sección del neumático (mm)

R_{NA} = Relación nominal de aspecto

$$r = \frac{1}{2}(18 * 25.4 + 2 * 0.9 * 110)$$

$$r = \frac{1}{2}(457.2 + 198)$$

$$r = \frac{1}{2}(655.2)$$

$$r = 327.6 \text{ mm}$$

$$r = 0.3276 \text{ m}$$

2.2.3.2. Radio efectivo

$$r_e = r * (1 - \epsilon)$$

r_e = Radio efectivo

ϵ = Deslizamiento neumático – pista (0.03)

$$r_e = (0.3276\text{m}) * (1 - 0.03)$$

$$r_e = (0.3276\text{m} * 0.97)$$

$$r_e = 0.317772 \text{ m}$$

2.2.3.3. Velocidad de la rueda

$$W_r = \frac{V}{r_e}$$

W_r = Velocidad de la rueda

V = Velocidad máxima

$$W_r = \frac{105 \frac{\text{Km}}{\text{h}} * \frac{1000\text{m}}{1\text{Km}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}}}{0.317772\text{m}}$$

$$W_r = \frac{29.1667 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.317772\text{m}}$$

$$W_r = 91.785 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Transformación a RPM:

$$91.785 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \frac{60\text{s}}{1\text{min}} * \frac{1\text{rev}}{2\pi\text{rad}} = 876.482\text{Rpm}$$

$$W_r = 876.482 \text{ RPM}$$

2.2.3.4. Selección del número de dientes

Relación de transmisión

$$R_t = \frac{\text{RPM}_{\text{entrada}}}{\text{RPM}_{\text{salida}}}$$

$RPM_{\text{entrada}} = \text{Máximas revoluciones}$

$RPM_{\text{salida}} = \text{Velocidad de la rueda}$

$$R_t = \frac{3304RPM}{876.482RPM}$$

$$R_t = 3.77$$

Número de dientes del piñón

$$Z_1 = 14 \text{ dientes}$$

Número de dientes de la catalina

$$R_t = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$R_t = \text{Relación de transmisión}$

$Z_2 = \text{Número de dientes de la catalina}$

$$Z_2 = R_t * Z_1$$

$$Z_2 = 3.77 * 14$$

$$Z_2 = 52.78 \text{ dientes}$$

$$Z_2 \approx 53 \text{ dientes}$$

2.2.3.5. Cálculo de la velocidad máxima

$$V_{\text{máx}} = \frac{\pi * \text{RPM}_{\text{salida}} * r * (1 - \epsilon)}{30}$$

$V_{\text{máx}}$ = Velocidad máxima de la motocicleta.

$$V_{\text{máx}} = \frac{\pi * (876.482\text{RPM}) * (0.3276\text{m}) * (1 - 0.03)}{30}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{875.0009}{30}$$

$$V_{\text{máx}} = 29.1667 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Velocidad en Km/h:

$$29.1667 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} * \frac{1\text{Km}}{1000\text{m}} = 105.00012 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

$$V_{\text{máx}} = 105.00012 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

2.2.3.6. Cálculo de rampa máxima

Para este cálculo vamos a tomar la velocidad máxima de la motocicleta, así como también la relación de transmisión calculada anteriormente:

Con el par máximo que nos da el fabricante del motor eléctrico:

$$M_{\text{máx}} = 28.94\text{N.m}$$

Cálculo del esfuerzo tractor en el neumático:

$$F_t = \frac{M_{\text{máx}} * R_t * \eta}{r_e}$$

F_t = Esfuerzo tractor en el neumático.

$M_{\text{máx}}$ = Par máximo.

η = Rendimiento de la transmisión.

$$F_t = \frac{(28.94\text{N.m}) * (3.77) * (0.95)}{0.317772\text{m}}$$

$$F_t = \frac{103.64861\text{N}}{0.317772}$$

$$F_t = 326.173\text{N}$$

Cálculo de resistencia al movimiento:

$$R_m = R_a + P * \text{sen}\theta$$

R_m = Resistencia al movimiento.

R_a = Resistencia aerodinámica.

P = Peso de la motocicleta.

θ = Inclinación máxima.

Cálculo de resistencia aerodinámica:

$$R_a = \frac{\rho}{2} * C_x * A_f * V^2$$

ρ = Densidad del aire,

C_x = Coeficiente de resistencia aerodinámica.

A_f = Área frontal.

V = Velocidad máxima.

Calculo de área frontal:

$$A_f = h * a$$

h = Altura

a = Ancho

$$A_f = (0.83058\text{m}) * (1.19126\text{m})$$

$$A_f = 0.9894\text{m}^2$$

$$R_a = \frac{1.225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{2} * (0.60) * (0.9894\text{m}^2) * (29.1667 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2$$

$$R_a = \left(0.3636045 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}\right) * (850.6964 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2})$$

$$R_a = 309.317\text{N}$$

Tenemos:

$$R_m = F_t$$

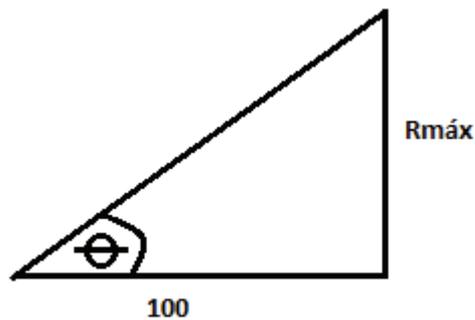
$$115.91 * \text{sen}\theta + 309.317 = 326.173$$

$$\text{sen}\theta = \frac{326.173 - 309.317}{115.91}$$

$$\text{sen}\theta = \frac{16.856}{115.91}$$

$$\text{sen}\theta = 0.145423$$

$$\theta = 8.3618^\circ$$



$$\text{tg } \theta = \frac{\text{Rm\u00e1x}}{100}$$

$$\text{tg } (8.3618^\circ) = \frac{\text{Rm\u00e1x}}{100}$$

Rm\u00e1x = Rampa m\u00e1xima

$$\text{Rm\u00e1x} = \text{tg } (8.3618) * 100$$

$$\text{Rm\u00e1x} = 14.699\%$$

2.3. Sistema eléctrico

2.3.1. Diseño de Circuitos

Para la realización del diseño de los circuitos se tomó en consideración:

- Sencillez de los circuitos.
- Ahorro de recursos
- Fácil localización y reposición en caso de desperfectos
- Seguridad.

2.3.1.1. Circuito de alumbrado principal

Ver Anexo B.1.

2.3.1.2. Circuito de intermitentes.

Ver Anexo B.2.

2.3.1.3. Circuito de luz de freno.

Ver Anexo B.3.

2.3.1.4. Circuito de claxon.

Ver Anexo B.4.

2.3.1.5. Diagrama completo de circuitos.

Ver Anexo B.5.

2.3.2. Cálculo de los fusibles

Se realizara el cálculo de los fusibles que se va a emplear en los circuitos diseñados anteriormente.

2.3.2.1. Para alumbrado de posición

$$P_{f1} = \frac{V^2}{R_{f1}}$$

$$R_{f1} = \frac{V^2}{P_{f1}}$$

R_{f1} = Resistencia del bombillo de posición

V = Tensión de la batería

P_{f1} = Potencia del bombillo de posición

$$R_{f1} = \frac{(12V)^2}{3W}$$

$$R_{f1} = \frac{144V^2}{3W}$$

$$R_{f1} = 48 \Omega$$

$$I_{f1} = \frac{V}{R_{f1}}$$

I_{f1} = Intensidad del bombillo de posición

$$I_{f1} = \frac{12V}{48\Omega}$$

$$I_{f1} = 0.25 \text{ A}$$

2.3.2.2. Para alumbrado de cruce

$$P_{f2} = \frac{V^2}{R_{f2}}$$

$$R_{f2} = \frac{V^2}{P_{f2}}$$

R_{f2} = Resistencia del bombillo de cruce

V = Tensión de la batería

P_{f2} = Potencia del bombillo de cruce

$$R_{f2} = \frac{(12V)^2}{35W}$$

$$R_{f2} = \frac{144V^2}{35W}$$

$$R_{f2} = 4.11429 \Omega$$

$$I_{f2} = \frac{V}{R_{f2}}$$

I_{f2} = Intensidad del bombillo de cruce

$$I_{f2} = \frac{12V}{4.11429\Omega}$$

$$I_{f2} = 2.9166 \text{ A}$$

2.3.2.3. Para alumbrado de carretera

$$P_{f3} = \frac{V^2}{R_{f3}}$$

$$R_{f3} = \frac{V^2}{P_{f3}}$$

R_{f3} = Resistencia del bombillo de carretera

V = Tensión de la batería

P_{f3} = Potencia del bombillo de carretera

$$R_{f3} = \frac{(12V)^2}{35W}$$

$$R_{f3} = \frac{144V^2}{35W}$$

$$R_{f3} = 4.11429 \Omega$$

$$I_{f3} = \frac{V}{R_{f3}}$$

I_{f3} = Intensidad del bombillo de carretera

$$I_{f3} = \frac{12V}{4.11429\Omega}$$

$$I_{f3} = 2.9166 A$$

Para obtener el valor del fusible a utilizar, las corrientes de cada los bombillos se suman, porque se trata de una alumbrado tipo “doble”:

$$F_1 = I_{f1} + I_{f2} + I_{f3}$$

F_1 = Fusible de luces

$$F_1 = 0.25A + 2.9166A + 2.9166A$$

$$F_1 = 6.0832A$$

2.3.2.4. Para luces intermitentes

$$P_{f4} = \frac{V^2}{R_{f4}}$$

$$R_{f4} = \frac{V^2}{P_{f4}}$$

R_{f4} = Resistencia de los bombillos de las intermitentes

V = Tensión de la batería

P_{f4} = Potencia de los bombillos de las intermitentes

$$R_{f4} = \frac{(12V)^2}{18W}$$

$$R_{f4} = \frac{144V^2}{18W}$$

$$R_{f4} = 8 \Omega$$

$$I_{f4} = \frac{V}{R_{f4}}$$

I_{f4} = Intensidad de los bombillos de las intermitentes

$$I_{f4} = \frac{12V}{8\Omega}$$

$$I_{f4} = 1.5 A$$

Ahora tenemos el valor del fusible de las luces de intermitentes:

$$F_2 = I_{f4}$$

F_2 = Fusible de intermitentes

$$F_2 = 1.5A$$

$$F_2 = 5A$$

Se colocará un fusible de 5A con la intención de proteger de cortocircuito únicamente, no de sobre corriente por que el valor del fusible es muy superior a la máxima corriente calculada.

2.3.2.5. Para luz de freno

Para realizar este cálculo se midió el consumo de corriente de la luz de freno, obteniendo:

$$I_{f5} = 1.8 \text{ A} = \text{Corriente que consume la luz de freno.}$$

Ahora tenemos el valor del fusible de las luces de intermitentes:

$$F_3 = I_{f5}$$

F_3 = Fusible de la luz de freno.

$$F_3 = 1.8\text{A}$$

$$F_3 = 5\text{A}$$

Se colocará un fusible de 5A con la intención de proteger de cortocircuito únicamente, no de sobre corriente por que el valor del fusible es muy superior a la máxima corriente calculada.

2.3.2.6. Para claxon

El consumo de corriente del claxon es 1,5 A, por lo cual:

$$I_{f6} = 1.5 \text{ A}$$

$I_{f6} = F_4 =$ Corriente que consume el fusible del claxon.

$$F_4 = 1.5A$$

$$F_4 = 5A$$

Se colocará un fusible de 5A con la intención de proteger de cortocircuito únicamente, no de sobre corriente por que el valor del fusible es muy superior a la máxima corriente calculada.

2.4. Cálculo de sección del cable

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V}$$

Donde:

S = Sección del cable

ρ = Resistividad eléctrica

L = Longitud del cable

I = Intensidad máxima

ΔV = Caída de tensión

La caída de tensión se permite como máximo¹³:

3% Para los circuitos interiores de viviendas.

3% Instalaciones de alumbrado.

5% En el resto de instalaciones.

$$S = \frac{2 * 0.018 * 2.25m * 5.58A}{(0.03 * 12V)}$$

$$S = \frac{0.45198}{0.36}$$

$$S = 1.2555 \text{ mm}^2$$

Tabla de Equivalencias AWG¹⁴:

AWG	Diámetro(mm)	Área (mm ²)	AWG	Diámetro(mm)	Área (mm ²)
1	7.35	42.40	16	1.29	1.31
2	6.54	33.60	17	1.15	1.04
3	5.86	27.00	18	1.024	0.823
4	5.19	21.20	19	0.912	0.653
5	4.62	16.80	20	0.812	0.519
6	4.11	13.30	21	0.723	0.412
7	3.67	10.60	22	0.644	0.325
8	3.26	8.35	23	0.573	0.259
9	2.91	6.62	24	0.511	0.205
10	2.59	5.27	25	0.455	0.163

¹³http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1lculo_de_secciones_de_l%C3%A1neas_el%C3%A9ctricas.

¹⁴<http://www.comunidadelectronicos.com/articulos/awg.html>.

11	2.30	4.15	26	0.405	0.128
12	2.05	3.31	27	0.361	0.102
13	1.83	2.63	28	0.321	0.0804
14	1.63	2.08	29	0.286	0.0646
15	1.45	1.65	30	0.255	0.0503

Tabla 2.8. Equivalencias de calibre de cable eléctrico

Sección de cable de acuerdo a la tabla de equivalencias AWG es 16.

CAPÍTULO III

**REALIZACIÓN DE CÁLCULOS
PARA LA MODIFICACIÓN DEL
CHASIS DE LA MOTOCICLETA E
IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS
MECÁNICOS, ELÉCTRICOS Y
ELECTRÓNICOS.**

3.1. Introducción.

En este capítulo se explicará sobre los montajes de los sistemas eléctricos y mecánicos que se realizaron en la motocicleta eléctrica para su funcionamiento.

Se modificará el chasis para las adaptaciones de baterías y motor en lo que refiere a la parte mecánica, para la parte eléctrica se realizarán los montajes de los circuitos de 12 V, de la batería de 48 V, piñones, motor eléctrico y controlador

3.2. Montaje del sistema eléctrico de 12v.

El sistema eléctrico de 12V, figura 3.1, consta de batería, circuitos de alumbrado, de intermitentes, de freno y de claxon. Todos estos circuitos estarán comandados por un interruptor principal (llave) que se alimentará mediante la batería por medio de un relé, a la salida de éste se han conectado los consumidores del circuito de 12V.

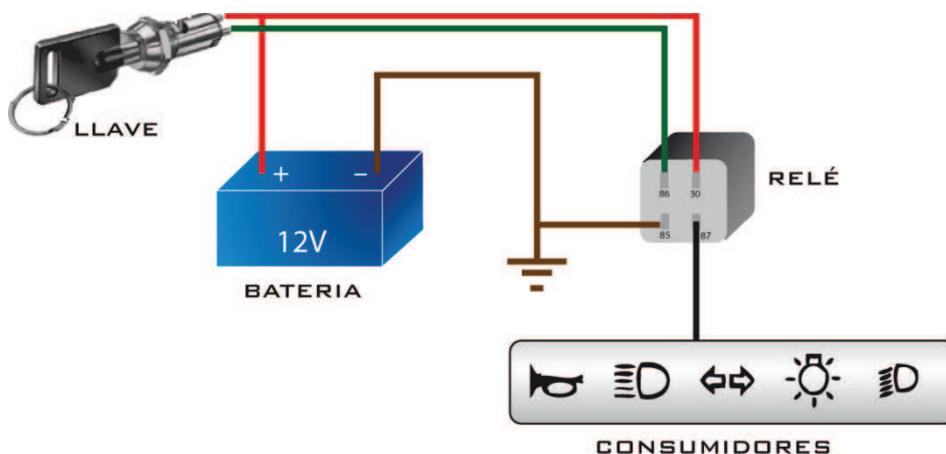


Figura 3.1. Esquema de circuito de 12 V.

En los consumidores se encuentran los circuitos de alumbrado, freno, claxon e intermitentes, para estos circuitos se usaran dos relés convencionales y para el de intermitentes se utilizará un relé de intermitencia, cuadro azul y verde respectivamente en la figura 3.2.

En el montaje de los circuitos utilizamos cable de tres colores: rojo para los positivos, café para los negativos y amarillo para las conexiones de puente, figura 3.3.

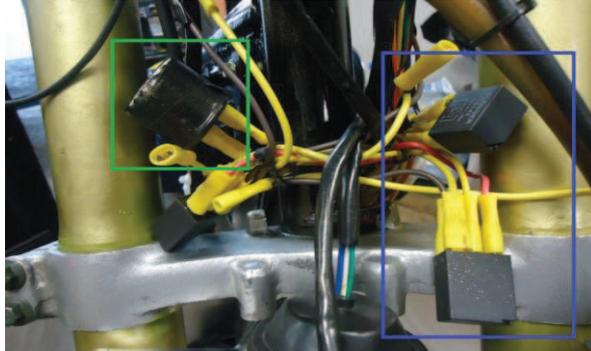


Figura 3.2 Relés utilizados en los circuitos de 12V.

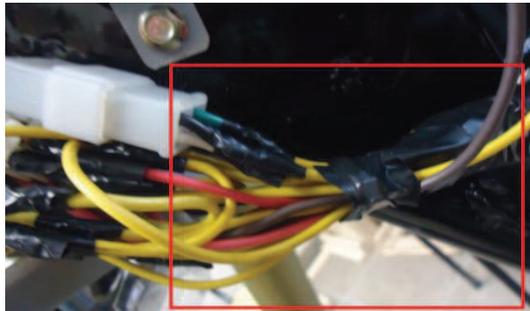


Figura 3.3 Colores de los cables de los circuitos eléctricos.

El sistema de 12 V cuenta con un sistema de protección mediante fusibles para casos de sobre corriente o cortocircuito. Para tener acceso a dichos fusibles hace desmontando el falso tanque, en el costado derecho se puede observar la fusiblera, circunferencia verde en la Figura 3.4.



Figura 3.4. Fusiblera

Para el desmontaje de la batería de 12 V se debe retirar los cables positivo y negativo de los bornes de la batería, en la figura 3.5 se puede observar la circunferencia roja para el positivo y la circunferencia café del negativo.



Figura 3.5. Bornes de la batería de 12 V.

Luego se retira el perno de sujeción de la caja para desmontarla, cuadro azul en la figura 3.6.

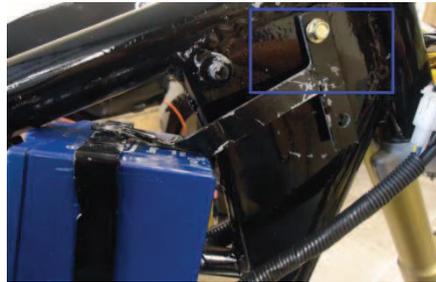


Figura 3.6. Perno de sujeción de la batería de 12 V.

Para el desmontaje de los circuitos se cuenta con conectores “macho” y “hembra” y con enchufes aislados, circunferencia verde y azul respectivamente mostrada en figura 3.7, esto por mayor facilidad a la hora del desmontaje.

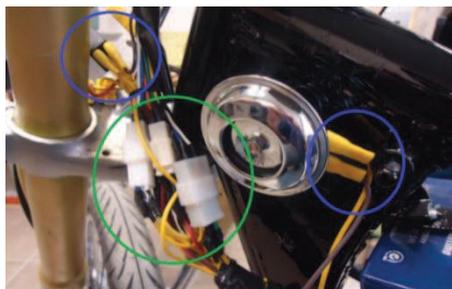


Figura 3.7. Conectores y enchufes del sistema de 12V.

3.2.1. Componentes del sistema eléctrico de 12 V.

3.2.1.1 Batería.

Es una batería de plomo – ácido tipo gel de 12V, Figura 3.5, provee energía a la red de baja tensión.

3.2.1.1.1 Características.

Una batería de gel es una batería de plomo-acido con características muy similares a las convencionales, a diferencia que ésta carece de líquido en su interior, todos los componentes se encuentran a presión y sellados, por lo que no deberían ser abiertas y no requieren de mantenimiento alguno salvo la limpieza exterior de los terminales.

Usa como electrolito un material tixotrópico frío de estado gelatinoso a temperatura ambiente y la más interesante de sus cualidades y responsable de su durabilidad es que utiliza el principio de recombinación, esto es: que el oxígeno que se genera en las placas positivas se recombina con el hidrogeno generado en la placa negativa produciendo agua, la cual reemplaza la humedad del acumulador obteniendo la propiedad de libre de mantenimiento al cien por ciento; los respiraderos especiales son uno de los elementos más importantes de la batería ya que están calibrados de tal manera que mantiene una presión interna positiva, que de no tenerse provocaría que no se recombinaran el oxígeno e hidrogeno provocando con esto que la batería se seque y deje de funcionar.

Estas baterías tienen la capacidad de ser instaladas en cualquier posición, incluso giradas 180°, (aunque no muy recomendable), con esto tenemos múltiples opciones para la instalación en cualquier vehículo, ya sea porque lo usamos en cualquier tipo de terreno o porque tenemos pocos espacios disponibles, como es el caso de nuestra motocicleta. La batería de gel nos da una ventaja significativa en comparación a la de una de plomo-ácido convencional.

En cuanto a sus aplicaciones tenemos que una batería de gel tiene ciclos de poder mucho más profundos lo que significa que puede otorgar la energía en un tiempo prolongado sin sufrir daños en su capacidad de suministro de energía.

3.2.1.2 Interruptor principal.

Se utilizará un interruptor para comandar el sistema eléctrico de la motocicleta, mediante una llave se lo habilita, cuando se encuentra activado alimenta al sistema eléctrico, y cuando se desactiva corta el suministro de corriente tanto para los sistemas de 12V como para el de 48V, el interruptor se encuentra en la parte delantera del velocímetro, figura 3.8.



Figura 3.8. Interruptor principal y velocímetro

3.2.1.3 Velocímetro

Un velocímetro digital será usado para disponer de la información de: odómetro, velocidad máxima, velocidad promedio, reloj. Cuenta con una batería para su memoria interna, se conecta a la red de 12 V para uso prolongado. Se encuentra sobre el manubrio en la figura 3.8

3.2.1.4 Relés.

Utilizamos dos tipos de relé, uno de potencia como el empleado en los circuitos de alumbrado, y el otro, de intermitencia para las luces direccionales. Los dos tipos de relés se encuentran ubicados en la parte delantera de la motocicleta mostrados en la figura 3.2

3.3. Montaje del sistema eléctrico de 48v

El sistema de 48V, mostrado como esquema en la figura 3.9 consta de batería y controlador, en cuanto al montaje de la batería se lo tratará más adelante, para alimentar el controlador se lo hará mediante un relé de alta corriente, flecha amarilla en figura 3.10, cuya bobina funciona a 12V, por lo que necesitamos alimentar de esa tensión al relé por medio de la llave principal:

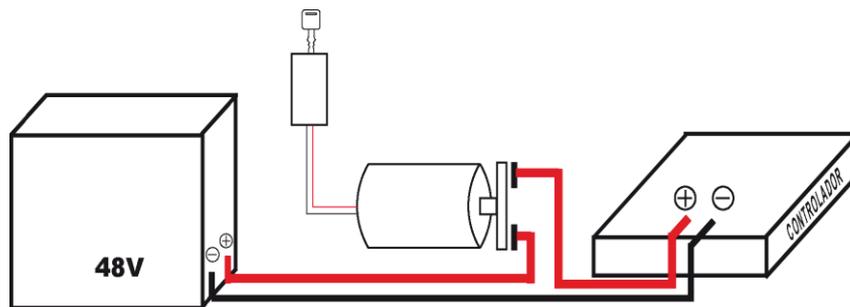


Figura 3.9. Esquema de circuito de 48 V

Para extraer la batería, se necesita de un conector desmontable que interrumpa el conecionado, dicho conector se encuentra sobre el controlador, circunferencia roja en figura 3.10.

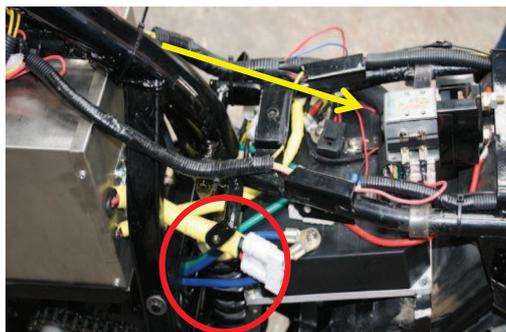


Figura 3.10. Flecha amarilla: Relé de alta corriente. Circunferencia Roja: conector separable

Para diferenciar el cableado de la tensión de 48V de la de 12V, se ha colocado manguera anillada recubierta de cinta amarilla, todo lo que esté dentro de manguera amarilla, se tratará de tensión de 48V.

3.3.1. Componentes del sistema eléctrico de 48 V.

3.3.1.1 Batería de 48V

La batería que usamos para proporcionar energía para propulsar el motor de la motocicleta es una de batería de Litio/Fosfato de hierro (LiFePO_4). Las baterías de ion de litio con cátodo de LiFePO_4 , son una variación de las baterías de ion de litio con cátodo de LiCoO_2 . Son normalmente conocidas por las siglas “LIFE”. La diferencia radica en que éstas usan como material catódico el Fosfato de Hierro.

3.3.1.1.1 Características

El fosfato de hierro litio (LiFePO_4), posee un bajo costo, no es tóxico, tiene una alta abundancia de hierro, una excelente estabilidad térmica, buenas características de seguridad y buen rendimiento electroquímico.

Este tipo de baterías son utilizadas en productos industriales por grandes empresas como: Black and Decker, De’Walt, General Motors, Chevrolet con su vehículo eléctrico Volt, Daimler, Cessna and BAE Systems, etc. Una ventaja clave sobre las baterías de ion de litio es su mejor estabilidad química y térmica, la cual ofrece mejores características de seguridad que el resto de baterías de litio.

“Comparando el fosfato de hierro litio, con su antecesor de mayor capacidad el ion de litio, se aprecia que a partir del año la densidad energética en una batería de LiCoO_2 será aproximadamente la misma que una de LiFePO_4 . Después de dos años la densidad energética de batería LiCoO_2 será inferior a una de LiFePO_4 . Esto es debido, a una mayor vida útil por parte de LiFePO_4 .

Una de las principales ventajas de LiFePO_4 en comparación con LiCoO_2 es mayor capacidad de descarga.

La química del fosfato de hierro litio ofrece el ciclo de vida más largo de las baterías existentes en el mercado actual”¹.

3.3.1.1.2 Ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Alta tensión en circuito abierto 3,3v
- LiFePO₄ es un cátodo de material más seguro que LiCoO₂.
- No posee efecto memoria.
- No está fabricada con productos tóxicos.
- Es la batería perteneciente a la familia del litio que mejor tolera las altas temperaturas.
- Supera los 2000 ciclos de vida.
- Vida superior a los 10 años.
- Tiempo de carga entre 15- 30 minutos.
- Buena capacidad para soporta sobrecarga
- Buena energía específica y densidad energética.
- Buena potencia específica.

¹ PEÑA ORDONEZ, Carlos. “Estudio de baterías para vehículos eléctricos”. Tutor: Jorge Pleite Guerra. Universidad Carlo III de Madrid, Departamento de Ingeniería Electrónica, 2011.

Desventajas:

- Problemas de ecualización y necesidad de circuitos electrónicos adicionales (menor tendencia al desequilibrio que el polímero de litio).
- La densidad energética en una batería LiFePO_4 , es sensiblemente inferior su antecesora el ion de litio cátodo de LiCoO_2 , aproximadamente en un 14%.
- Sufren el efecto de pasivación.

3.3.1.1.3 Factores que afectan a la vida de las baterías de litio.

3.3.1.1.3.1 Ciclos de vida en las baterías litio.

La vida de una batería está en gran medida influenciada por la velocidad a la que se carga y descarga. Cuanto más rápidas sean las cargas y descargas más sufrirá la batería y más corta será su vida. Lógicamente su vida será mayor cuanto más suaves sean las cargas y descargas.

3.3.1.1.3.2 Hinchamiento de las celdas de litio.

El hinchamiento en celdas de litio indica que la celda ha perdido parte de sus propiedades como batería. Además una celda hinchada puede resultar peligrosa pues existe la posibilidad de explosión.

El hinchamiento se produce durante la carga o descarga de la batería (especialmente durante la carga).

3.3.1.1.3.3 Como afectan las cargas y descargas a las baterías de litio.

Según la arquitectura de una batería los elementos internos se van apilando de la siguiente manera:

Cátodo-Separador-Ánodo-Separador-Cátodo-Separador-Ánodo.

Entre sus las láminas se encuentra el electrolito. En las baterías de ion de Litio este electrolito es líquido y en las baterías de polímero de litio suele ser un gel. Al descargarse una batería de Litio, esta se oxida liberando energía eléctrica, el óxido de Litio es menos denso que el litio, por lo cual su volumen es mayor y tiende a separar los componentes laminares de la celda. Esto puede provocar una pérdida de contacto entre las láminas haciendo que el electrolito no esté en contacto con cátodo y ánodo.

Además las expansiones y contracciones físicas del elemento van produciendo micro grietas y micro-obturaciones en el cátodo y ánodo lo cual hace que paulatinamente según el paso de ciclos la batería vaya perdiendo propiedades.

3.3.1.1.4 Comparación entre baterías de Litio.

A continuación se muestran las características que definen una batería. Estas características serán las que determinen que tipo de baterías es más adecuada en función de su uso.

Batería:	LiFePO4	LiCoO2	LiMn2O4	Li(NiCo)O2
Seguridad	Segura	Inestable	Aceptable	Inestable
Contaminación Medioambiental	La más ecológica	Contaminante	-----	Muy contaminante
Durabilidad	Excelente	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Relación fuerza/peso/capacidad	Aceptable	Buena	Aceptable	Excelente
Costo largo plazo	Excelente	Alto	Aceptable	Alto
Temperatura de trabajo	Excelente(-20°C hasta 70°C)	Decae más allá de -20°C hasta 55°C	Decae rápidamente a más de 50°C	Buena -20°C hasta 55°C

Tabla 3.1. Tabla comparativa entre baterías de litio.

Podemos resumir las características de la batería de litio/ fosfato de hierro (LiFePO₄) en lo siguiente:

- Más seguras y más respetuosas con el medio ambiente: La batería de Litio Fosfato de Hierro ha demostrado ser la batería más respetuosa con el medio ambiente. El principal problema con baterías de iones de Litio es la seguridad. La sobrecarga y el recalentamiento pueden causar incendios y explosiones a excepción de la batería LiFePO₄.
- Velocidad “forzada” de carga: Debido a es posible aplicar sobretensión a la batería LiFePO₄, puede ser cargada en un solo paso en corriente continua para alcanzar el 95% del SOC. Su comportamiento es similar al de las baterías de ácido de plomo en cuanto a la seguridad de carga forzada.
- Sistema de Gestión y cargador de batería simplificado: La gran tolerancia a la sobrecarga y el auto-equilibrio característico de las baterías LiFePO₄ hacen innecesarias introducir placas de protección ni ecualizador lo que encarece la batería.
- Ciclo de vida útil más larga: En comparación con batería LiCoO₂ que tiene un ciclo de vida de 400 ciclos, la batería LiFePO₄ extiende su ciclo de vida de hasta 2000 ciclos.
- Rendimiento a altas temperaturas: las baterías LiFePO₄ funcionan mejor a temperatura elevada, ofreciendo un rendimiento de un 10% más que las de Li (NiCo) O₂, debido a la mayor conductividad iónica de litio.
- Principales aplicaciones de las baterías de LiFePO₄: Debido a sus características estas baterías son muy adecuadas para cargas rápidas de bicicletas eléctricas, scooters eléctricos y vehículos eléctricos, para herramientas eléctricas (por ejemplo taladros, alumbrado de emergencia y sistemas de energía solar).

Condiciones a tomar en cuenta para el montaje de la batería de 48 V:

- **Seguridad.-** Ubicamos en un lugar que no sea propenso a sufrir golpes, que no pudiere afectarse por la humedad, y que su sujeción sea sencilla.

- **Comodidad.-** Ubicada en un lugar en el cual sea de fácil acceso para su desmontaje.

3.3.1.2 Relé de alta corriente.- Ver sección 1.2.5.

3.3.1.3 Controlador.- Para consultar características, referirse a sección 1.3.8.

Está ubicado bajo el asiento.

Diagrama de conexión del conector del controlador, figura 3.11².

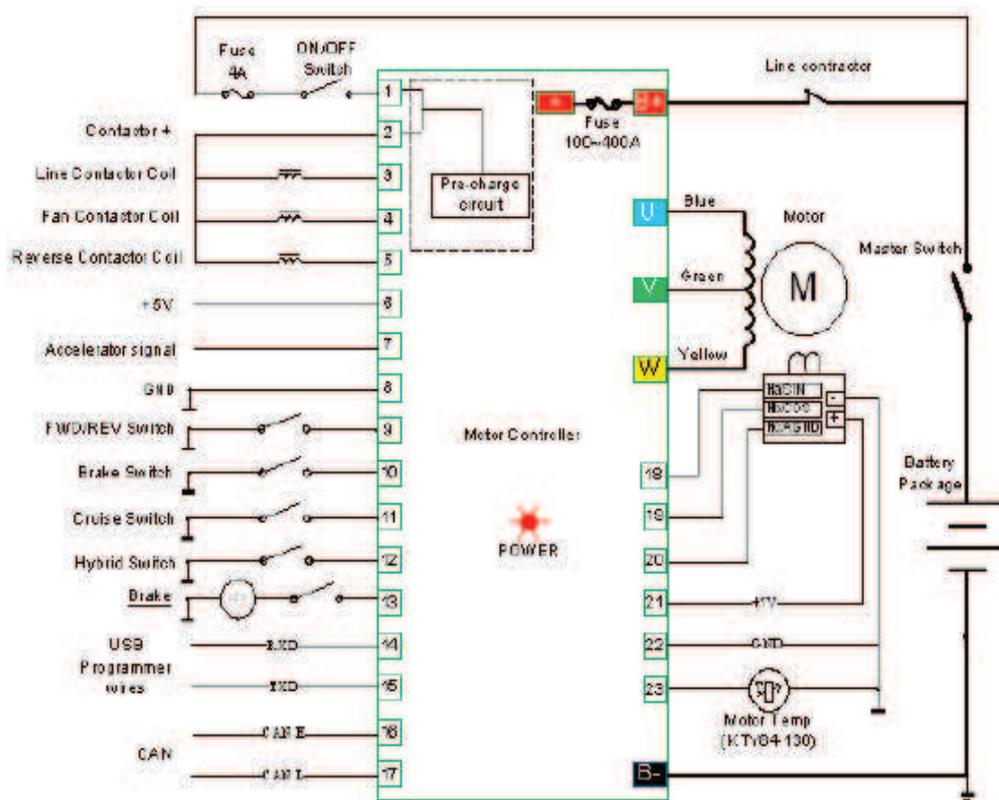


Figura 3.11. Diagrama de conexionado del controlador.

²<http://www.goldenmotor.com/HPC%20Series%20Controller%20User%20Guide.pdf> página 11-4.

Tabla de funciones de cada uno de los terminales del conector del controlador³.

Función	Pin	Símbolo	Valor numérico	Observaciones
Entrada de corriente	1	PWR	Voltaje de Batería	Precarga
Contractor +	2	CON	Voltaje de Batería	
Contactador de línea de control	3	CON1	24 - 48 V winding of line	Ipeak < 10 A
Fan Contactador control 2	4	CON2	24 - 48 V winding of contactor	Ipeak < 10 A
Reserve contactor control 3	5	CON3	24 - 48 V winding of contactor	Ipeak < 10 A
PWR	6	+5 PWR	+5 V	Ipeak < 10 A
Sensor de acelerador	7	Acc	Señal del Acelerador	
GND	8	GND	GND	
FWD/REV	9	FWD/REV	“GND” FWD	
Freno	10	BAK	“GND” True	
Control Crucero	11	Control Crucero	“GND” True	Botón interruptor
Control Híbrido	12	Control Híbrido	“GND” True	
Freno	13	BAK	“12 V” True	Entrada 0-15 V
RXD	14	RXD	RXD	

³<http://www.goldenmotor.com/HPC%20Series%20Controller%20User%20Guide.pdf> .página11-5.

TXD	15	TXD	TXD	
CAN H	16	CAN H	CAN H	
CAN L	17	CAN L	CAN L	
Sensor del motor	18	Ha/SIN	Ha/SIN	
Sensor del motor	19	Hb/COS	Hb/COS	
Sensor del motor	20	Hc/AGND	Hc/AGND	
PWR	21	+5 PWR	+5 V	I _{peak} < 1 A
GND	22	GND	GND	
Temperatura del Motor	23	Temperatura del Motor	Motor TEMP	Sensor de temperatura de silicio

Tabla 3.2. –Terminales en el conector del controlador

Medidas del Controlador, figura 3.12⁴.

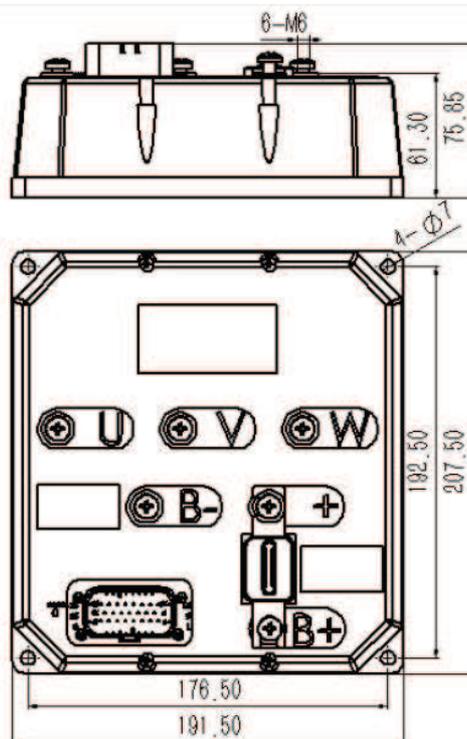


Figura 3.12. Medidas del Controlador.

⁴ <http://www.goldenmotor.com/HPC500H-Dimensions.jpg>.

Dimensiones del motor eléctrico.

- Diámetro 206 mm.
- Longitud 170 mm.
- Peso 17 Kg.
- U cable azul del motor.
- Y cable amarillo del motor.
- W cable verde del motor.

Tabla de los valores característicos del motor⁵.

Nº	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia de entrada (W)	Torque (N.m)	RPM	Potencia de salida (W)	Eficiencia (%)
1	48.05	16.365	786.33	0.5650	3928	232.39	29.6
2	48.05	16.555	795.48	0.1933	3927	79.50	10.0
3	48.05	17.376	834.92	0.3733	3925	153.44	18.4
4	48.05	18.896	907.95	0.8100	3920	332.48	36.6
5	48.05	21.493	1032.74	0.8267	3911	338.54	32.8
6	48.05	25.382	1219.61	1.5533	3900	634.35	52.0
7	48.05	30.625	1471.43	2.4167	3882	982.36	66.8
8	48.05	37.135	1784.20	3.7000	3862	1496.27	83.9
9	48.06	44.725	2149.48	4.0700	3841	1636.95	76.2
10	48.11	53.041	2551.98	5.1867	3820	2074.67	81.3
11	48.16	62.097	2990.40	6.3733	3797	2533.98	84.7
12	48.19	71.857	3462.55	7.6033	3772	3003.12	86.7
13	48.23	82.248	3966.55	8.8733	3746	3480.58	87.8
14	48.25	93.200	4497.19	10.227	3718	3981.44	88.5

⁵ [http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM10KW%20\(48V\)%20Data.pdf](http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM10KW%20(48V)%20Data.pdf).

15	48.30	104.476	5046.21	11.590	3692	4480.66	88.8
16	48.24	115.743	5583.46	13.023	3659	4989.78	89.4
17	48.09	127.607	6136.18	14.440	3618	5470.57	89.2
18	48.07	139.603	6710.73	15.927	3587	5982.09	89.1
19	48.07	151.700	7292.72	17.460	3558	6504.99	89.2
20	48.07	163.813	7874.51	18.933	3527	6992.45	88.8
21	48.07	175.563	8438.74	20.420	3500	7483.77	88.7
22	48.04	186.903	8979.46	21.817	3474	7936.24	88.4
23	47.99	197.253	9465.53	23.117	3448	8346.21	88.2
24	47.99	206.440	9887.10	24.213	3423	8678.77	87.8
25	47.81	214.020	10232.30	25.130	3402	8952.07	87.5
26	47.75	219.720	10492.36	25.837	3387	9163.22	87.3
27	47.70	224.270	10698.43	26.393	3374	9324.72	87.2
28	47.66	227.967	10864.89	26.883	3365	9454.89	87.0
29	47.61	231.223	11009.31	27.227	3355	9564.97	86.9
30	47.55	234.190	11136.52	27.563	3347	9660.15	86.7
31	47.50	236.767	11247.21	27.897	3339	9753.61	86.7
32	47.45	239.167	11347.66	28.190	3330	9829.60	86.6
33	47.37	241.447	11436.52	28.453	3321	9894.61	86.5
34	47.29	243.540	11517.01	28.697	3311	9949.18	86.4
35	47.21	245.120	11572.12	28.940	3304	10012.33	86.5

Tabla 3.3. Características del motor eléctrico.

Gráfico de Torque versus eficiencia, figura 3.13⁶.

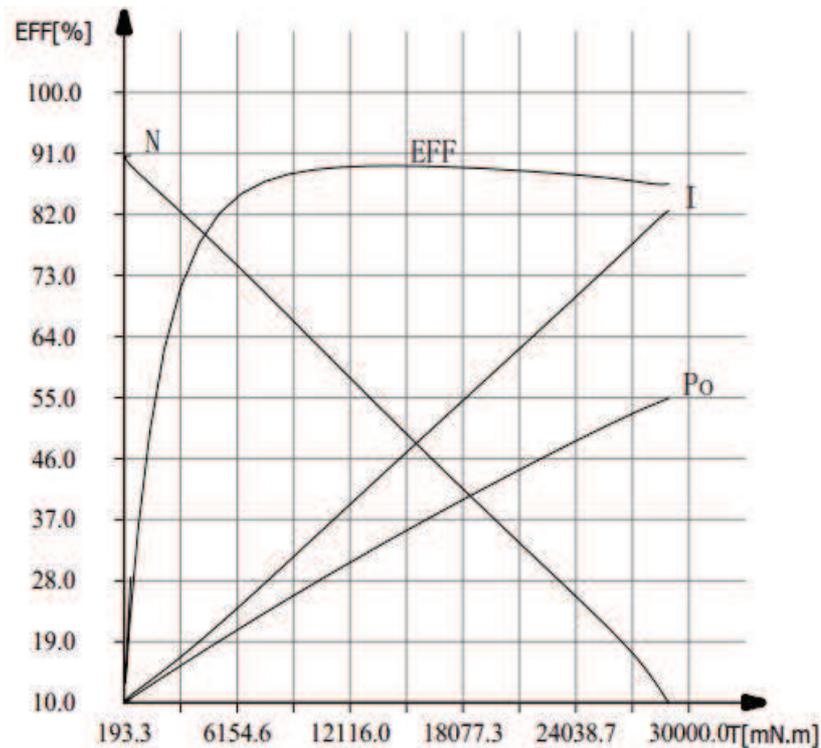


Figura 3.13. Gráfica de Torque y eficiencia.

3.4 Montaje del motor y su base.

Para montar la placa que soportara el motor eléctrico sobre el chasis original de la motocicleta, se hizo una muestra de cartón sobre la que se imprimió el diseño de la base ya diseñada, tal como se aprecia en la figura 3.14, con la finalidad de saber la posición exacta de los puntos de anclaje en el chasis. Posterior a ello, se mandó a construir dicha placa en acero A36 de 4mm de espesor. De los cuatro puntos que se diseñaron para fijar la placa al chasis, se usaran tres, circunferencia color amarillo en Figura 3.14, que originalmente eran soportes de caja de cambios, y para el cuarto, circunferencia color azul en figura, se soldará un ángulo al chasis, de tal manera que se disponga de cuatro puntos fijos.

⁶ [http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM10KW%20\(48V\)%20Curve.pdf](http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM10KW%20(48V)%20Curve.pdf).



Figura 3.14. Placa soporte de motor eléctrico.

3.4.1 Resultado del modelado de la placa base del motor eléctrico.

Análisis y resultados obtenidos mediante software “INVENTOR”

Stress Analysis Report

Analyzed File:	soporte motor.iam
Autodesk Inventor Version:	2012 (Build 160160000, 160)
Creation Date:	19/08/2012, 15:23
Simulation Author:	PREYES
Summary:	

Project Info (iProperties)

Summary

Author	PREYES
--------	--------

Project

Part Number	soporte motor
Designer	PREYES
Cost	\$ 0,00
Date Created	10/07/2012

Status

Design Status	WorkInProgress
---------------	----------------

Physical

Mass	4,27099 kg
Area	295758 mm ²
Volume	4129340 mm ³
Center of Gravity	x=333,039 mm y=8,14128 mm z=-49,7836 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

Soporte Motor

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	25/09/2012, 14:51
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

Advanced settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

Material(s)

Name	Steel	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³

	Yield Strength	207 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	210 GPa
	Poisson's Ratio	0,3 ul
	Shear Modulus	80,7692 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0,000012 ul/c
	Thermal Conductivity	56 W/(m K)
	Specific Heat	460 J/(kg c)
Part Name(s)	basemotor.ipt bloque motor.ipt soporte pernos 3.ipt soporte pernos 3.ipt soporte pernos 3.ipt soporte pernos 3.ipt	
Name	Stainless Steel, 440C	
General	Mass Density	7,75 g/cm ³
	Yield Strength	689 MPa
	Ultimate Tensile Strength	861,25 MPa
Stress	Young's Modulus	206,7 GPa
	Poisson's Ratio	0,27 ul
	Shear Modulus	81,378 GPa

Stress Thermal	Expansion Coefficient	0,0000104 ul/c
	Thermal Conductivity	24,23 W/(m K)
	Specific Heat	160,57 J/(kg c)
Part Name(s)	ISO 4014 M6 x 30	
	ISO 4014 M6 x 30	
	ISO 4014 M6 x 30	
	ISO 4014 M6 x 30	
	ISO 4014 M6 x 30	
	ISO 4014 M6 x 30	
	ISO 4014 M8 x 40	
	ISO 4014 M8 x 40	
	ISO 4014 M8 x 40	
	ISO 4014 M8 x 40	
	ISO 4032 M8	

Operating conditions

Force:1

Load Type	Force
Magnitude	170,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-170,000 N
Vector Z	0,000 N

Results

Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	39,4694 N	-15,0515 N	1,45034 N m	1,31964 N m
		28,4419 N		-0,601584 N m
		22,8549 N		0,0116837 N m
Fixed Constraint:2	71,96 N	24,5971 N	1,36984 N m	0,957433 N m
		49,7325 N		0,979584 N m
		45,8248 N		-0,0144413 N m
Fixed Constraint:3	48,379 N	10,7811 N	1,46795 N m	1,20056 N m
		39,3229 N		0,844673 N m
		-26,0385 N		0,00813807 N m
Fixed Constraint:4	70,617 N	-20,3266 N	1,44936 N m	0,681169 N m
		52,4945 N		-1,27922 N m
		-42,6371 N		-0,0153763 N m

Result Summary

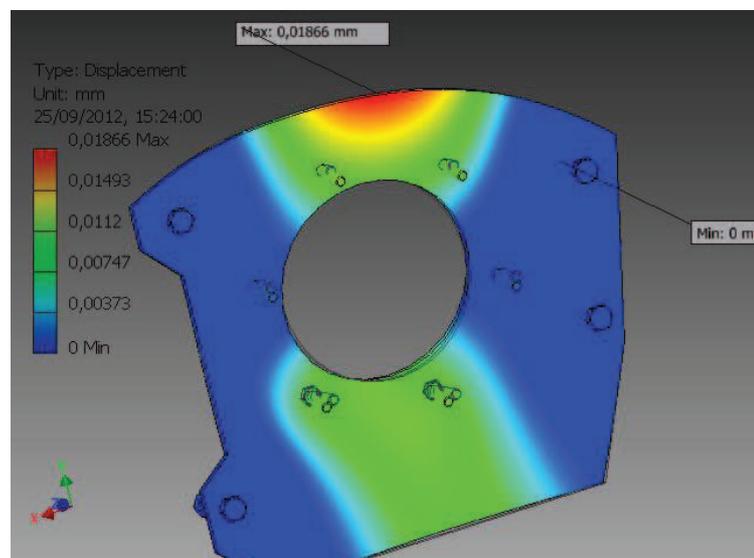
Name	Minimum	Maximum

Volume	4129340 mm ³	
Mass	32,4132 kg	
Von Mises Stress	0,00000729159 MPa	23,9451 MPa
1st Principal Stress	-11,8936 MPa	22,9065 MPa
3rd Principal Stress	-34,1183 MPa	6,85515 MPa
Displacement	0 mm	0,0246526 mm
Safety Factor	14,0464 ul	15 ul
Stress XX	-12,9109 MPa	10,5489 MPa
Stress XY	-2,21401 MPa	3,02192 MPa
Stress XZ	-4,98143 MPa	4,03447 MPa
Stress YY	-13,5818 MPa	11,1862 MPa
Stress YZ	-3,54642 MPa	3,77189 MPa
Stress ZZ	-32,5487 MPa	22,6807 MPa
X Displacement	-0,00149265 mm	0,00331849 mm
Y Displacement	-0,0210162 mm	0,00915305 mm
Z Displacement	-0,0186587 mm	0,0173994 mm
Equivalent Strain	0,0000000000300969 ul	0,000113902 ul
1st Principal Strain	-0,00000605191 ul	0,000098663 ul
3rd Principal Strain	-0,000137522 ul	0,00000184516 ul

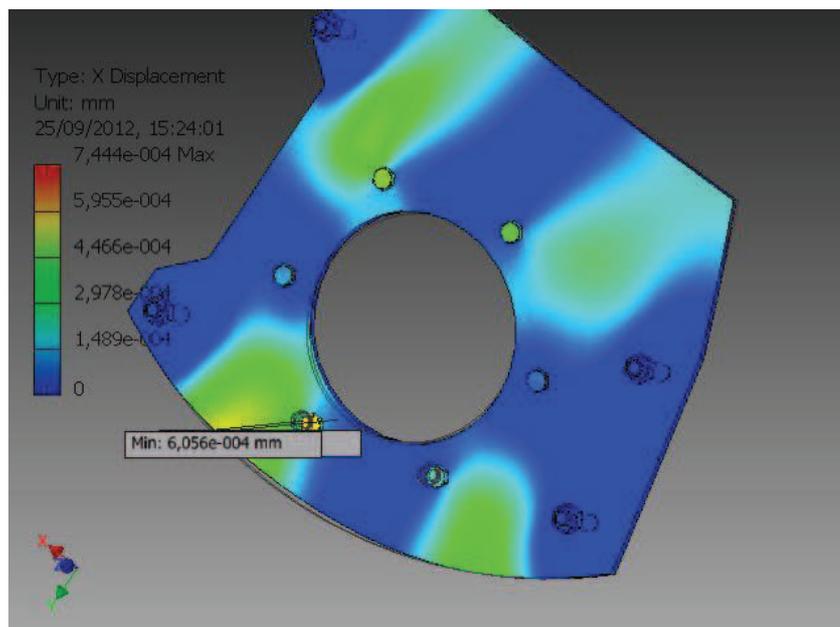
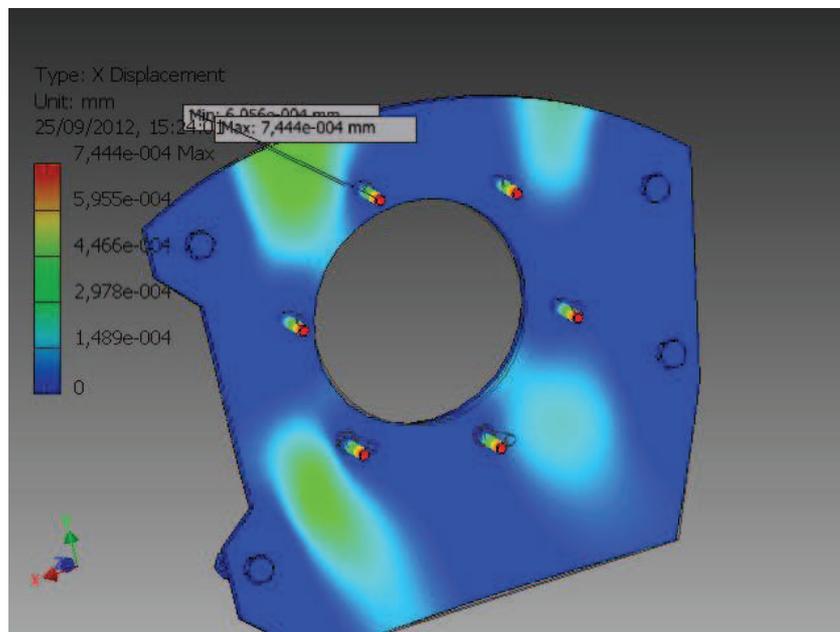
Strain XX	-0,0000411939 ul	0,0000377763 ul
Strain XY	-0,0000137058 ul	0,0000187071 ul
Strain XZ	-0,0000306068 ul	0,0000247885 ul
Strain YY	-0,000037777 ul	0,0000376396 ul
Strain YZ	-0,0000217898 ul	0,0000231751 ul
Strain ZZ	-0,000127878 ul	0,0000974988 ul
Contact Pressure	0 MPa	14,6114 MPa
Contact Pressure X	-8,29706 MPa	7,35825 MPa
Contact Pressure Y	-7,58236 MPa	9,05365 MPa
Contact Pressure Z	-14,6114 MPa	10,5444 MPa

Figures

Displacement



X Displacement



3.5. Montaje de piñones

3.5.1. Piñón Motriz.

El motor eléctrico está provisto de un eje de 53 mm de largo con chavetero para colocar el piñón motriz, el cual deberá estar correctamente alineado con respecto al piñón conducido, para dicho montaje proyectamos la línea de acción de la cadena, de esa manera podemos saber la posición del piñón conductor, y para ajustarlo se mandará a construir dos distanciales de poliamida, conocida como grilón, de longitudes “X” y “Y” como se aprecia en la figura. Para ajustar dichos distanciales se usará un perno sobre una rosca ya mecanizada de fábrica en sentido axial, flecha color azul en Figura 3.15.

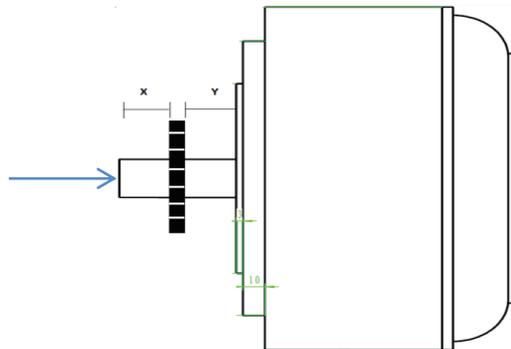


Figura 3.15. Vista lateral del motor eléctrico

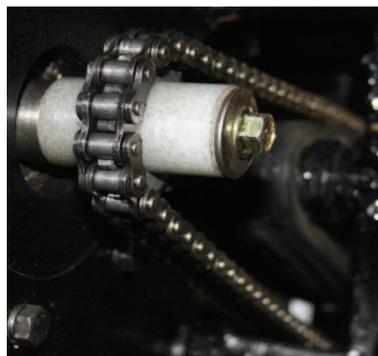


Figura 3.16. Distanciales y perno en piñón conductor

La figura 3.16 es una foto real de los distanciales y el piñón, ajustados por el perno, que no soporta ninguna carga, su función se limita a mantener fija la posición del piñón.

3.5.2. Piñón Conducido.

Conocido como “catalina”. Para su montaje bastará con abrir un seguro tipo “seger” y retirar 4 pernos para reemplazarla por otra de diferente número de dientes, en el cálculo obtuvimos una catalina de $n= 52$, al ser comerciales, se adquirirá una de dicho número de dientes para el reemplazo de la que originalmente era de 48.

3.6. Montaje de base de batería

Teniendo listo el diseño de la base que soportará la batería, se procede a su construcción, para la base como tal se usara angulo de $1 \times 1/16$ ” de acero A36, para los soportes de la base se usara platina de $1,5 \times 1/16$ ” de acero A36, unidos mediante soldadura, usando electrodo revestido E-6011. Para la sujecion al chasis se perforara éste para atravesar pernos que fijen los soportes de la base al chasis, flechas amarillas en figura. Si se observa en la figura 3.17 el rectángulo no esta completo, falta un cuarto lado, que servirá para poder desmontar la batería sin desmontar todo el soporte, mediante 2 pernos mostrados con las flechas azules en la figura 3.17.

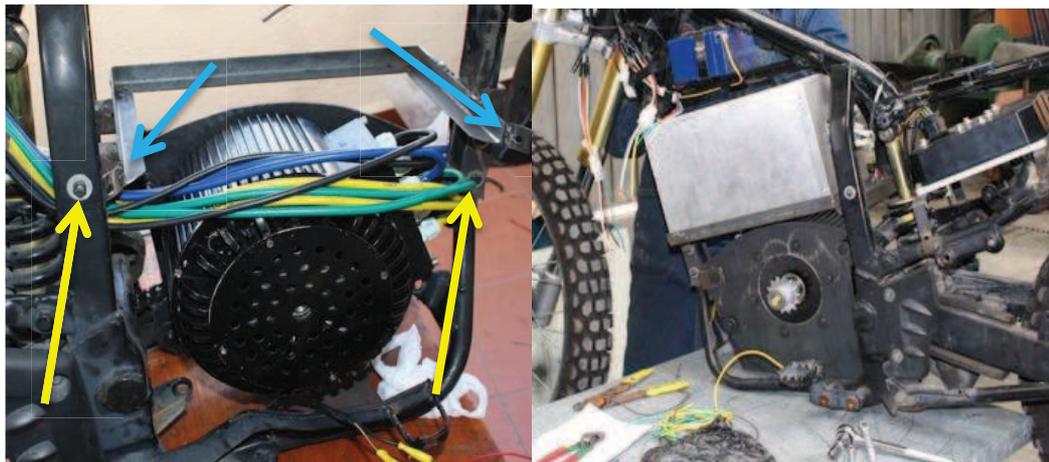


Figura 3.17. Base de batería y batería montada

3.6.1 Resultados del modelado del soporte de la batería de 48 V.

Análisis y resultados obtenidos mediante software “INVENTOR”

Stress Analysis Report

Analyzed File:	soporte bateria.iam
Autodesk Inventor Version:	2012 (Build 160160000, 160)
Creation Date:	14/08/2012, 9:22
Simulation Author:	PREYES
Summary:	

Project Info (iProperties)

Summary

Author	PREYES
--------	--------

Project

Part Number	soporte bacteria
Designer	PREYES
Cost	\$ 0,00
Date Created	14/08/2012

Status

Design Status	WorkInProgress
---------------	----------------

Physical

Mass	0,876448 kg
Area	279333 mm ²
Volume	829841 mm ³
Center of Gravity	x=151,12 mm

	y=-97,4693 mm
	z=0,750873 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

Soporte bateria

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	26/09/2012, 9:22
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

Advanced settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

Material(s)

Name	Steel	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	207 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	210 GPa
	Poisson's Ratio	0,3 ul

	Shear Modulus	0 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0,000012 ul/c
	Thermal Conductivity	56 W/(m K)
	Specific Heat	460 J/(kg c)
Part Name(s)	basebateria.ipt	
Name	Wood (Oak)	
General	Mass Density	0,56 g/cm ³
	Yield Strength	46,6 MPa
	Ultimate Tensile Strength	5,5 MPa
Stress	Young's Modulus	9,3 GPa
	Poisson's Ratio	0,35 ul
	Shear Modulus	0 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0,0000049 ul/c
	Thermal Conductivity	0,14 W/(m K)
	Specific Heat	1200 J/(kg c)
Part Name(s)	madera.ipt	
Name	Cast Steel	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	250 MPa
	Ultimate Tensile Strength	300 MPa
Stress	Young's Modulus	210 GPa
	Poisson's Ratio	0,3 ul
	Shear Modulus	0 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0,000012 ul/c
	Thermal Conductivity	50 W/(m K)
	Specific Heat	460 J/(kg c)
Part Name(s)	soporte pernos.ipt	

	soporte pernos 2.ipt soporte pernos 2.ipt	
Name	Stainless Steel, 440C	
General	Mass Density	7,75 g/cm ³
	Yield Strength	689 MPa
	Ultimate Tensile Strength	861,25 MPa
Stress	Young's Modulus	206,7 GPa
	Poisson's Ratio	0,27 ul
	Shear Modulus	81,378 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0,0000104 ul/c
	Thermal Conductivity	24,23 W/(m K)
	Specific Heat	160,57 J/(kg c)
Part Name(s)	ISO 4014 M6 x 35 ISO 4014 M6 x 35 ISO 4014 M6 x 40 ISO 4014 M6 x 40 ISO 4032 M6 ISO 4032 M6 ISO 4032 M6 ISO 4032 M6	

Operating conditions

Force:1

Load Type	Force
Magnitude	180,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	-180,000 N

Selected Face(s)

Results

Reaction Force and Moment on Constraints

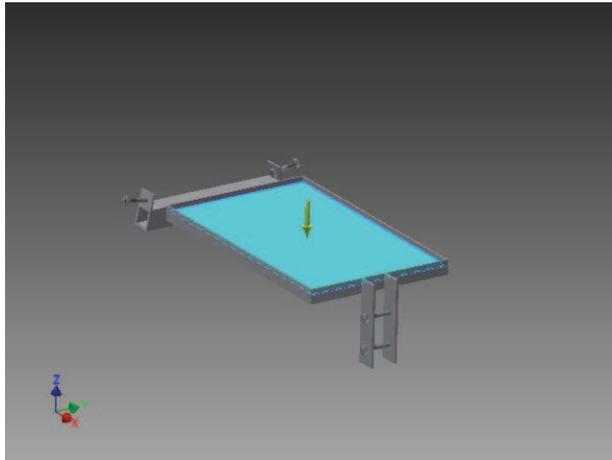
Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	102,723 N	30,3091 N	7,46034 N m	0,772787 N m
		-4,2479 N		7,4201 N m
		98,0582 N		0,040439 N m
Fixed Constraint:2	73,6662 N	-6,64867 N	2,32934 N m	0,0198845 N m
		-64,5589 N		-1,78547 N m
		34,8519 N		-1,49584 N m
Fixed Constraint:3	86,6677 N	-23,5181 N	2,14964 N m	-0,299048 N m
		68,8289 N		-1,76396 N m
		47,1251 N		1,19162 N m

Result Summary

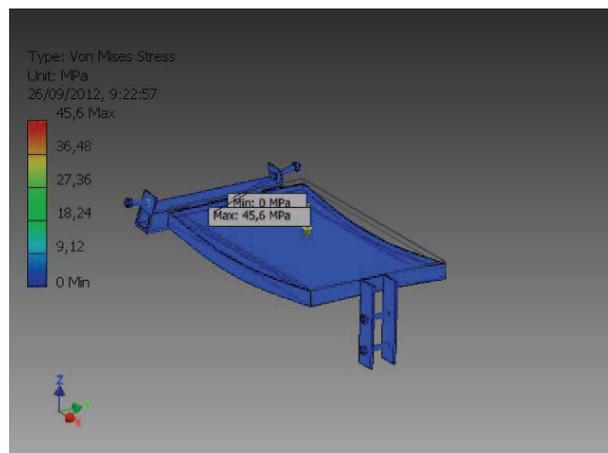
Name	Minimum	Maximum
Volume	829841 mm ³	
Mass	2,36398 kg	
Von Mises Stress	0,000033749 MPa	58,0653 MPa
1st Principal Stress	-2,09199 MPa	42,6224 MPa
3rd Principal Stress	-38,5807 MPa	1,00213 MPa
Displacement	0 mm	0,0489617 mm
Safety Factor	4,3055 ul	15 ul
Stress XX	-29,7153 MPa	27,9046 MPa

Stress XY	-16,9152 MPa	18,2387 MPa
Stress XZ	-24,3499 MPa	24,5559 MPa
Stress YY	-10,8797 MPa	13,1927 MPa
Stress YZ	-19,4992 MPa	18,3138 MPa
Stress ZZ	-28,6251 MPa	33,7992 MPa
X Displacement	-0,00949691 mm	0,00344701 mm
Y Displacement	-0,000919985 mm	0,0015087 mm
Z Displacement	-0,0489569 mm	0,00339642 mm
Equivalent Strain	0,000000000138768 ul	0,000239658 ul
1st Principal Strain	-0,00000306409 ul	0,000228106 ul
3rd Principal Strain	-0,000211895 ul	0,000000000108056 ul
Strain XX	-0,000178582 ul	0,000172397 ul
Strain XY	-0,000104713 ul	0,000112906 ul
Strain XZ	-0,000150738 ul	0,000152013 ul
Strain YY	-0,0000427062 ul	0,0000487506 ul
Strain YZ	-0,000120709 ul	0,000113371 ul
Strain ZZ	-0,000170523 ul	0,00020003 ul
Contact Pressure	0 MPa	17,9633 MPa
Contact Pressure X	-16,8083 MPa	16,8119 MPa
Contact Pressure Y	-5,75587 MPa	5,69309 MPa
Contact Pressure Z	-16,8751 MPa	17,6409 MPa

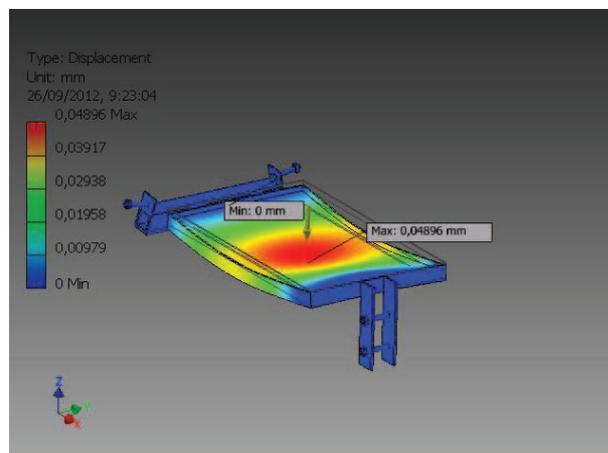
Selected Face(s)



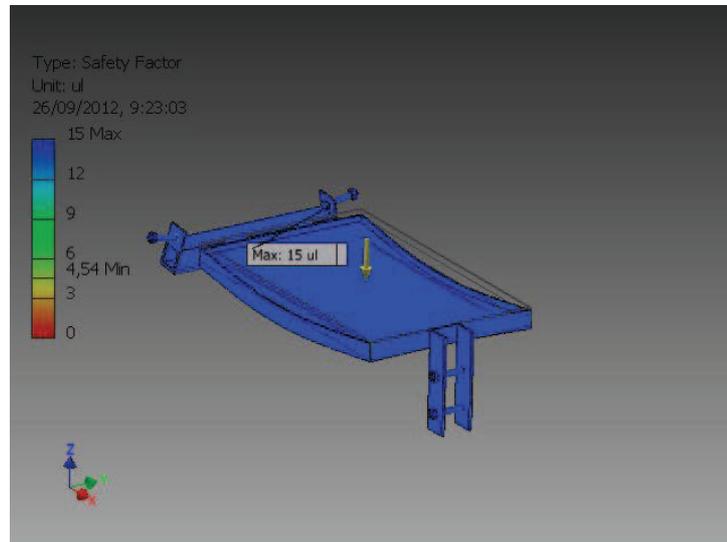
Von Mises Stress



Displacement



Safety Factor



CAPÍTULO IV

REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE LA MOTOCICLETA ELÉCTRICA.

4.1. Introducción.

Se demostrará cuan efectiva fue la implementación del motor eléctrico en el chasis de la motocicleta realizando las siguientes pruebas:

- Autonomía.
- Velocidad máxima.
- Aceleración máxima.
- Prueba de ascenso en rampa máxima.

Luego de la realización de las pruebas, podremos interpretar los resultados, y así llegar a concluir que tan factible fue la elaboración de éste producto de grado, obteniendo entre otras datos importantes, el tiempo de carga de la batería LiFePO₄, como el costo que significaría la carga, y el costo de operación de la motocicleta eléctrica.

4.2. Pruebas de ruta.

Con estas pruebas se obtendrán datos reales sobre el funcionamiento de la motocicleta eléctrica, en distintas circunstancias de manejo.

4.2.1 Prueba de ruta en Autopista.

Esta prueba de ruta la realizamos en la Autopista de la ciudad de Cuenca (vía a Azogues), el punto de partida fue el redondel de Gapal, hasta llegar al redondel del Hospital Del Instituto Ecuatoriano De Seguridad Social (IESS) y volviendo al punto de partida, registrando un recorrido de 7,4 Km, a manera de circuito. Dicho recorrido lo podemos observar en la figura 4.1.

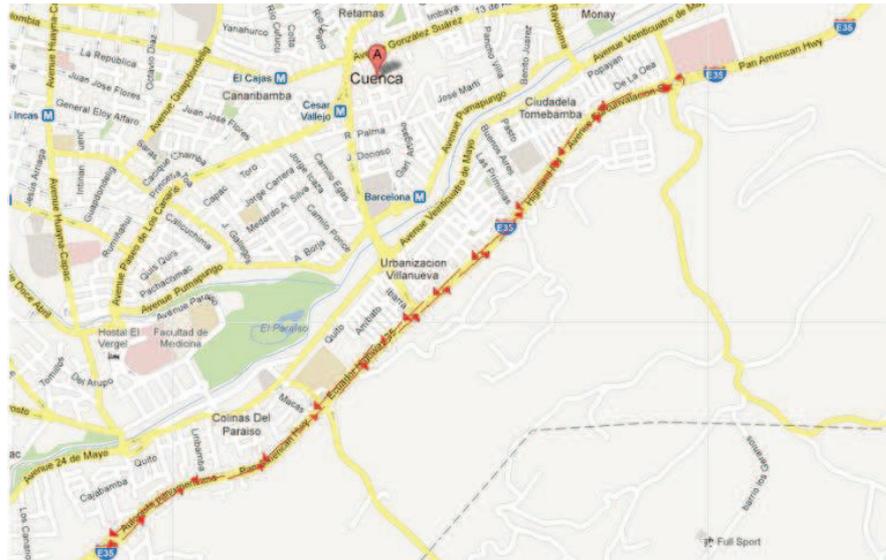


Figura 4.1. Recorrido en Autopista²⁰

4.2.2 Prueba de ruta en Ciudad.

Esta prueba se la realizo en el centro histórico de la ciudad de Cuenca, el punto de partida fue en la calle Vieja y Elia Liut, en el taller de Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, los tramos intermedios fueron las calles del centro histórico, hasta llegar nuevamente al punto de inicio, donde se completó la descarga de la batería. El recorrido se lo puede observar en la figura 4.2.

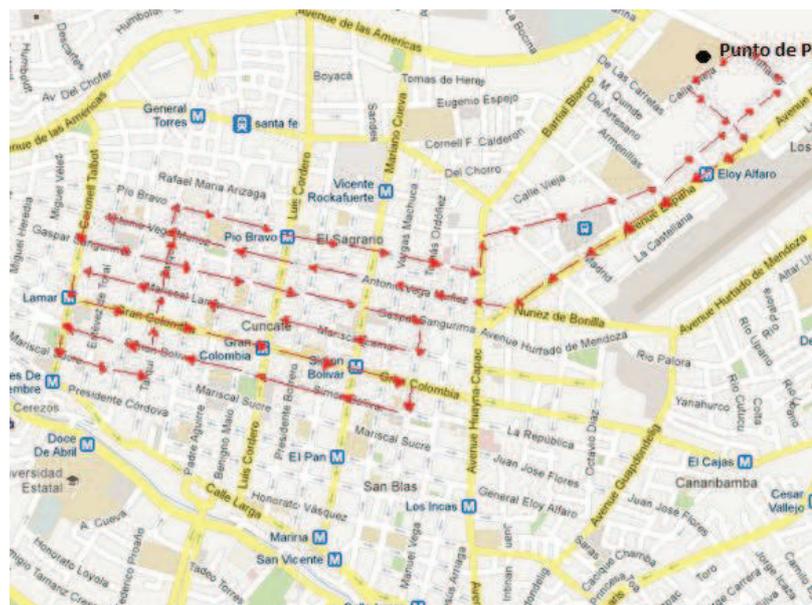


Figura 4.2. Recorrido en el centro histórico²⁰

4.3 Autonomía

Para esta prueba se tomara en cuenta los datos obtenidos en las pruebas anteriores.

4.3.1 Autopista.

4.3.1.1. Condiciones iniciales sin utilizar el freno regenerativo.

- Únicamente conductor a bordo de la moto.
- Batería LiFePO4 = 53,25 V.
- Batería gel = 13,08 V.
- Recorrido inicial en kilómetros = 3 Km.
- Realizamos en este recorrido porque carece de pendientes pronunciadas considerándolo como rodar sobre superficies sin ondulaciones, teniendo en cuenta que la máxima velocidad a la que se puede conducir en este tramo es de 90 Km/h.
- Esta prueba se realizó sin la utilización y/o activación del freno regenerativo, obteniendo un primer resultado, en la figura 4.1. se muestra el recorrido que se realizó

4.3.1.2. Condiciones iniciales con la utilización del freno regenerativo.

- Únicamente conductor a bordo de la moto.
- Batería LiFePO4 = 53.26 V.
- Batería 12 V = 13.19 V.
- Recorrido inicial en kilómetros = 39.8 Km.
- El recorrido fue el mismo que en la prueba sin freno regenerativo, para obtener una comparación entre ambas y apreciar la diferencia en usar o no el freno regenerativo.

4.3.1.3. Condiciones finales en la prueba sin la utilización de freno regenerativo.

- Batería LiFePO4 = 19.9 V.
- Batería Gel = 11.9 V.
- Recorrido final en kilómetros = 39.1 Km

Una vez culminada la prueba en la autopista sin la utilización del freno regenerativo se obtuvo un recorrido total de:

$$R_1 = 39.1 \text{ Km} - 3 \text{ Km}$$

$$R_1 = 36.1 \text{ Km}$$

Este recorrido se lo completo en 30 minutos, obteniendo una velocidad promedio de:

$$V_{P1} = \frac{36.1 \text{ Km}}{0.5 \text{ h}}$$

$$V_{P1} = 72.2 \text{ Km/h}$$

Se considera como aceptable la velocidad promedio obtenida.

4.3.1.4. Condiciones finales en la prueba con la utilización de freno regenerativo.

- Batería LiFePO4 = 19.8 V.
- Batería Gel = 12.03 V
- Recorrido final en kilómetros = 79.8 Km.

Una vez culminada la prueba en la autopista con la utilización del freno regenerativo tuvimos un recorrido total de:

$$R_2 = 79.9 \text{ Km} - 39.8 \text{ Km}$$

$$R_2 = 40.1 \text{ Km}$$

Este recorrido se lo hizo en un tiempo de 32 minutos, obteniendo una velocidad promedio de:

$$V_{P2} = \frac{40.1 \text{ Km}}{32 \text{ min}}$$

$$V_{P2} = 1.253125 \text{ Km/min}$$

$$V_{P2} = 75.1875 \text{ Km/h}$$

La velocidad promedio en esta prueba fue 5% mayor que en la anterior.

4.3.2 Ciudad.

4.3.2.1. Condiciones iniciales sin la utilización del freno regenerativo.

- Únicamente conductor a bordo de la moto
- Batería LiFePO4 = 53.15 V.
- Batería Gel = 13.21 V.
- Recorrido inicial en kilómetros = 85.5 Km
- Se recorrió este trayecto con la finalidad de tener el valor del kilometraje máximo alcanzado con carga del 100%, en un recorrido diario dentro de la ciudad figura 4.2 , considerando que la velocidad máxima permitida en este sector es de 50 Km/h.
- Al igual que la realizada en la autopista, en esta prueba no se utilizó freno regenerativo, para así ver la eficiencia de la motocicleta sin la aplicación de este sistema en ciudad

4.3.2.2. Condiciones iniciales con la utilización del freno regenerativo.

- Únicamente conductor a bordo de la moto.
- Batería LiFePO4 = 53.14 V.
- Batería Gel = 13.25 V.
- Recorrido inicial en kilómetros = 125.3 km
- Esta segunda prueba realizada en la ciudad se utilizó el freno regenerativo, para tener datos de la eficiencia q tenemos utilizando este sistema.

4.3.2.3. Condiciones finales sin la utilización del freno regenerativo.

- Batería LiFePO4 = 19.76 V
- Batería 12 V = 12.05 V

- Recorrido final en kilómetros = 121.5 Km

Una vez culminada la prueba en la ciudad sin haber utilizado el freno regenerativo se recorrió:

$$R_3 = 121.5 \text{ Km} - 85.5 \text{ Km}$$

$$R_3 = 36 \text{ Km}$$

Este recorrido se lo completó en 1 hora y 30 minutos, a una velocidad promedio de:

$$V_{P3} = \frac{36 \text{ Km}}{1.5 \text{ h}}$$

$$V_{P3} = 24 \text{ Km/h}$$

Cabe señalar que la hora en la que se realizó esta prueba es considerada como hora pico, siendo así imposible desarrollar velocidades mayores a 35 Km/h

4.3.2.4. Condiciones finales con la utilización del freno regenerativo.

- Batería LiFePO4 = 19.85 V
- Batería 12 V = 12.1 V
- Recorrido final en kilómetros = 163.3 Km

Una vez culminada la prueba dentro de la ciudad con la utilización del freno regenerativo se recorrió:

$$R_4 = 163.3 \text{ Km} - 125.3 \text{ Km}$$

$$R_4 = 38 \text{ Km}$$

Este recorrido se completó en 1 hora 20 minutos, obteniendo una velocidad promedio de:

$$V_{P4} = \frac{38 \text{ Km}}{80 \text{ min}}$$

$$V_{P4} = 0.475 \text{ Km/min}$$

$$V_{P4} = 28.5 \text{ Km/h}$$

Cabe señalar que la hora en la que se realizó esta prueba es considerada como hora pico, siendo así imposible desarrollar velocidades mayores a 35 Km/h

4.4 Prueba de Velocidad Máxima.

Se tomarán dos valores referenciales, el obtenido en las pruebas de carretera, y el valor máximo alcanzado en recta.

4.4.1 En recta.

Esta prueba se la realizó en las calles Obrero entre Armenillas y Alcabalas, ver figura 4.3, teniendo una superficie de rodadura sin curvas horizontales ni verticales, con una distancia de 100 m, obteniendo los siguientes resultados.

$$v \int_{t_0}^{t_1} dt = \int_{x_0}^{x_1} dx$$

$$v * (t_1 - t_0) = x_1 - x_0$$

$$v * (6.5 - 0) = 100 - 0$$

$$v = \frac{100 \text{ m}}{6.5 \text{ s}}$$

$$v = 15.385 \text{ m/s}$$

$$v = 55.38 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

4.4.2 Durante Pruebas

Durante el desarrollo de todas las pruebas, la motocicleta alcanzó una velocidad máxima de 83 Km/h, obtenida en la autopista vía a Azogues, figura 4.4.



Figura 4.4. Velocidad máxima alcanzada según velocímetro instalado.

4.5 Prueba de Aceleración Máxima.

Para la realización de esta prueba,, tomamos el valor obtenido en la autopista

a. Datos.

Tiempo inicial = 0 s.

Tiempo final = 20 s.

Velocidad inicial = 0.

Velocidad final = 83 Km/h = 23.06 m/s.

Cálculo de esta aceleración máxima empleamos:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$a \int_{t_0}^{t_1} dt = \int_{v_0}^{v_1} dv$$

$$a * (t_1 - t_0) = v_1 - v_0$$

$$a * (20 - 0) = 23.06 - 0$$

$$a = \frac{23.06\text{m/s}}{20\text{s}}$$

$$a = 1.153 \text{ m/s}^2$$

2. Condiciones iniciales de la segunda prueba en la pendiente.

- Batería LiFePO4 = 26.8 V.
- Tiempo = 14 s.

En la prueba con la batería a media carga, la moto tardo 4s mas subirá la misma pendiente y distancia, reflejando menor eficiencia de la motocicleta. Con las condiciones antes mencionadas.

4.7 Tiempo de carga de la batería de 48 V LIFePO4.

La carga de la batería de 48V, se la realiza mediante un cargador externo, figura 4.6, de corriente alterna que puede funcionar a 110V o 220V. para las pruebas, se usó tomacorriente de 110V pues a nivel doméstico con certeza se dispone de éstos.



Figura 4.6. Cargador externo de la batería de 48 V.

El tiempo de carga será, desde que la batería se encuentra con 0% de carga (15V) hasta cuando este en 100% de carga (52V), se sabrá de esta condición con exactitud por que el cargador dispone de un Led indicador que cambia su color de rojo a verde informando y apagándose, informando así del estado de carga de la batería

4.7.1 Cálculo de carga de la batería de 48 V por porcentaje y costo.

4.7.1.1 Porcentaje de Carga.

Se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Horas de carga} = \text{tamaño de la batería} * \frac{\% \text{ de carga necesario}}{\text{regulación del conjunto}} * 1.25$$

Donde:

- Tamaño de la batería, es la capacidad en Ah de la batería.
- % de carga necesario, es el porcentaje que necesita recargar la batería.
- Regulación del conjunto, es la cantidad de amperios que entrega el cargador.

a. Condiciones iniciales de carga.

- Batería LiFePO4 = 19.25 V.
- Porcentaje de carga necesario = 0.599.
- Entrada al cargador = 110/220 VAC.
- Salida del cargador = 58.4 VDC.
- Frecuencia = 50/60 Hz.
- Intensidad que nos da el cargador = 5 A.
- Tiempo inicial = 0 h.

$$\text{Horas de carga} = 30 * \frac{0.599}{5} * 1.25$$

$$\text{Horas de carga} = 4.4925 \text{ horas}$$

b. Condiciones finales de carga.

- Carga LiFePO4 = 53.25 V.
- Tiempo final = 4 h 29 min 33s.

Para completar el proceso de carga de la batería de 48 V, se necesitan 4 h, 29 min, 33 s.

4.7.1.2 Costo de carga

Para el cálculo del costo de carga vamos a tomar en cuenta el precio del kilovatio hora (Kw/h)

Datos:

Tiempo de carga = 4.4925 h.

Costo del Kwh = \$ 0.08.

Kwh consumidos = 4 Kwh.

$$\text{Costo de carga} = \text{Kwh consumidos} * \text{Costo del Kwh}$$

$$\text{Costo de carga} = (4\text{Kwh}) * (\$0.08)$$

$$\text{Costo de carga} = \$ 0.32$$

Éste es el precio que se paga por cargar la batería, es decir, por tener un rendimiento de 40 Km.

4.8 Cálculo de los costos de operación de la motocicleta.

4.8.1 Costo de operación de la motocicleta eléctrica.

4.8.1.1 Costos fijos

Dentro de los costos fijos (C_F) de la motocicleta eléctrica tenemos la depreciación.

El método que mejor refleja la depreciación de la motocicleta se basa en el kilometraje recorrido.

Datos.

- Costo de la motocicleta eléctrica = \$ 6000
- Vida útil de la motocicleta = Ciclos de carga * Km recorridos.

Considerando que la batería de LiFePO4 tiene una vida útil de 2000 ciclos de carga.

Vida útil de la motocicleta = (2000 ciclos) * (40Km)

Vida útil de la motocicleta = 80000 Km.

Teniendo:

$$D_U = \frac{\text{Costo de la ME}}{\text{Vida útil de la ME (Km)}}$$

Donde:

D_U = Depreciación por unidad.

ME = Motocicleta eléctrica.

$$D_U = \frac{\$ 6000}{80000 \text{ Km}}$$

$$D_U = 0.075 \text{ \$/Km}$$

Depreciación anual de la motocicleta eléctrica:

Se multiplicará el valor de la depreciación por unidad por el kilometraje recorrido anualmente

Primer año:

$$D_{A1} = D_U * 20000 \text{ Km}$$

$$D_{A1} = \left(0.075 \frac{\$}{\text{Km}}\right) * (20000 \text{ Km})$$

$$D_{A1} = \$ 1500$$

Segundo año:

$$D_{A2} = D_U * 20000 \text{ Km}$$

$$D_{A2} = \left(0.075 \frac{\$}{\text{Km}}\right) * (20000 \text{ Km})$$

$$D_{A2} = \$ 1500$$

Tercer año:

$$D_{A3} = D_U * 20000 \text{ Km}$$

$$D_{A3} = \left(0.075 \frac{\$}{\text{Km}}\right) * (20000 \text{ Km})$$

$$D_{A3} = \$ 1500$$

Cuarto Año:

$$D_{A4} = D_U * 20000 \text{ Km}$$

$$D_{A4} = \left(0.075 \frac{\$}{\text{Km}}\right) * (20000 \text{ Km})$$

$$D_{A4} = \$ 1500$$

Depreciación de la motocicleta al año 4:

Año	Depreciación anual (\$)	Depreciación acumulada (\$)	Valor final (\$)
1	1500	1500	4500
2	1500	3000	3000
3	1500	4500	1500
4	1500	6000	0

Tabla 4.1. Depreciación de la motocicleta eléctrica.

4.8.1.2 Costos variables.

Como costo variable (C_V) se considera el precio de los Kw/h consumidos durante los 80000 Km de vida útil, teniendo:

$$\frac{R}{\text{Costo electricidad}} = \frac{40 \text{ Km}}{\text{Costo 40 Km}}$$

$$\text{Costo electricidad} = \frac{R * \text{Costo } 40 \text{ km}}{40 \text{ Km}}$$

$$\text{Costo electricidad} = \frac{(80000 \text{ Km}) * (\$ 0.32)}{40 \text{ Km}}$$

$$\text{Costo electricidad} = \frac{\$ 25600}{40}$$

$$\text{Costo electricidad} = \$ 640$$

4.8.1.3 Costo total

Es la suma de los costos fijos y de los costos variables de la motocicleta eléctrica.

$$C_T = C_f + C_v$$

$$C_T = \$ 6000 + \$ 640$$

$$C_T = \$ 6640$$

4.8.1.4 Costo Unitario

Este es el cociente del costo total de la motocicleta eléctrica para el kilometraje total recorrido durante su vida útil.

$$C_U = \frac{C_T}{\text{Km recorridos}}$$

$$C_U = \frac{\$ 6640}{80000 \text{ Km}}$$

$$C_U = 0.083 \$/\text{Km}$$

Cada kilómetro que recorra la motocicleta durante su vida útil, tiene un costo de \$ 0.083, por lo que se puede afirmar que por cada 40km de rendimiento (autonomía) tendría un precio de \$3.32

4.8.2 Cálculo del costo de operación de la motocicleta de combustión interna.

4.8.2.1 Costos fijos

Se considera como costo fijo de la motocicleta de combustión interna a la depreciación.

Datos.

- Costo de la motocicleta de combustión interna = \$ 2700.
- Vida útil de la motocicleta (consideramos la misma que en la ME) = 80000 km.

La depreciación por unidad,:

$$D_U = \frac{\text{Costo de la motocicleta de combustión interna}}{\text{Vida útil}}$$

$$D_U = \frac{\$ 2700}{80000 \text{ Km}}$$

$$D_U = 0.03375 \frac{\$}{\text{Km}}$$

Depreciación anual de la motocicleta de combustión interna:

Primer año.

$$D_{A1} = D_U * 20000 \text{ Km}$$

$$D_{A1} = \left(0.03375 \frac{\$}{\text{Km}}\right) * (20000 \text{ Km})$$

$$D_{A1} = \$ 675$$

Segundo año.

$$D_{A2} = D_U * 20000 \text{ Km}$$

$$D_{A2} = \left(0.03375 \frac{\$}{\text{Km}}\right) * (20000 \text{ Km})$$

$$D_{A2} = \$ 675$$

Tercer año.

$$D_{A3} = D_U * 20000 \text{ Km}$$

$$D_{A3} = \left(0.03375 \frac{\$}{\text{Km}}\right) * (20000 \text{ Km})$$

$$D_{A3} = \$ 675$$

Cuarto año.

$$D_{A4} = D_U * 20000 \text{ Km}$$

$$D_{A4} = \left(0.03375 \frac{\$}{\text{Km}}\right) * (20000 \text{ Km})$$

$$D_{A4} = \$ 675$$

Depreciación de la motocicleta de combustión interna:

Año	Depreciación anual (\$)	Depreciación acumulada (\$)	Valor final (\$)
1	675	675	2025
2	675	1350	1350
3	675	2025	675
4	675	2700	0

Tabla 4.2. Depreciación de la motocicleta convencional.

4.8.2.2 Costos variables

Como costos variables se consideran:

- Combustible.
- Lubricante.
- Mantenimiento.

4.8.2.2.1 Combustible

Datos:

Costo combustible (extra) = \$ 1.48.

Capacidad del tanque = 1.4 gal.

Consumo de la motocicleta = consume 60 Km consume 1 gal.

Costo de llenado.

$$C_{II} = \text{Capacidad del tanque} * \text{Costo de combustible.}$$

Donde:

$$C_{II} = \text{Costo de llenado.}$$

$$C_{II} = 1.4 \text{ gal} * \$ 1.48$$

$$C_{II} = \$ 2.072$$

Con el tanque lleno la motocicleta puede recorrer:

$$R = \text{Consumo} * \text{Capacidad del tanque}$$

Dónde:

$$R = \text{Recorrido en Km.}$$

$$R = 60 \text{ Km} * 1.4 \text{ gal}$$

$$R = 84 \text{ Km}$$

El costo en 40 Km de recorrido, tomando como referencia el recorrido de la motocicleta eléctrica:

$$\frac{R}{C_{II}} = \frac{40 \text{ Km}}{\text{Costo a 40 Km}}$$

$$\text{Costo a 40 Km} = \frac{40 \text{ km} * C_{11}}{R}$$

$$\text{Costo a 40 Km} = \frac{40 \text{ Km} * \$ 2.072}{84 \text{ km}}$$

$$\text{Costo a 40 Km} = \$ 0.987$$

El costo a los 80000 Km de vida útil de la motocicleta:

$$\frac{R}{\text{Costo total}} = \frac{40 \text{ Km}}{\text{Costo a 40 Km}}$$

$$\text{Costo total} = \frac{R * \text{Costo a 40 Km}}{40 \text{ Km}}$$

$$\text{Costo total} = \frac{80000 \text{ km} * \$ 0.987}{40 \text{ Km}}$$

$$\text{Costo total} = \$1974$$

4.8.2.2.2 Lubricante.

Por cada 5000 Km el precio es \$ 5.25.

El costo total del cambio de aceite:

$$\text{Costo cambio de aceite total} = \text{Costo 5000 Km} * \# \text{ de cambios}$$

$$\text{Costo cambio de aceite total} = \$5.25 * 16$$

$$\text{Costo cambio de aceite total} = \$ 84.$$

4.8.2.2.3 Mantenimiento.

Se tomará el valor de mantenimiento de \$500, que contempla: cambio de pastillas, neumáticos, fluido de frenos, etc.

Costo variable total:

$C_V = \text{Costo de consumo de combustible} + \text{Costo cambio de aceite total}$
 $+ \text{Costo de mantenimiento.}$

$$C_V = \$ 1974 + \$ 84 + \$ 500$$

$$C_V = \$ 2558$$

4.8.2.3 Costo total

$$C_T = C_f + C_V$$

$$C_T = \$ 2700 + \$ 2558$$

$$C_T = \$ 5258$$

4.8.2.4 Costo unitario

Este es el cociente del costo total de la motocicleta eléctrica para los kilómetros recorridos durante su vida útil.

$$C_U = \frac{C_T}{\text{Km recorridos}}$$

$$C_U = \frac{\$ 5258}{80000 \text{ Km}}$$

$$C_U = 0.066 \text{ \$/Km}$$

Por cada kilómetro que recorra la motocicleta durante su vida útil tiene un costo de \$ 0.066, es decir, recorrer la distancia que la moto puede hacerlo con autonomía, tiene un costo de \$ 2.64.

4.9 Resultados obtenidos en todas las pruebas.

A continuación se presenta una tabla con los resultados de las pruebas realizadas en la motocicleta eléctrica:

Pruebas realizadas en funcionamiento de la motocicleta eléctrica, mostramos en la siguiente tabla:

	Autopista sin freno regenerativo	Autopista con freno regenerativo	Ciudad sin freno regenerativo	Ciudad con freno regenerativo
Recorrido (Km)	36.1	40.1	36	38
Tiempo	30 minutos	32 minutos	1 hora 30 minutos	1 hora 20 minutos
Velocidad promedio (Km/h)	72.2	75.1875	24	28.5

Tabla 4.3. Autonomía de la motocicleta eléctrica.

Tabla con las velocidades y aceleraciones alcanzadas por la motocicleta:

	Velocidad máxima en línea recta	Velocidad máxima alcanza	Aceleración máxima
Logrado	55.38 Km/h	83 Km/h	1.153 m/s ²
Tiempo	6.5 s	20 s	20 s

Tabla 4.4. Velocidades y aceleraciones.

Tabla comparativa entre los costos operativos de la motocicleta eléctrica y de la motocicleta de combustión interna.

	Costos fijos (C_f)	Costos variables (C_v)	Costo total (C_T)	Costo Unitario (C_U)	Costo por autonomía
Motocicleta eléctrica	\$ 6000	\$ 640	\$ 6640	0.083 \$/Km	\$ 3.32
Motocicleta de combustión interna	\$ 2700	\$ 2558	\$ 5258	0.066 \$/Km	\$ 2.64

Tabla 4.5. Costos comparativos entre motocicleta eléctrica y de combustión interna.

4.10 Análisis de los resultados obtenidos.

Una vez concluida con las pruebas en la motocicleta eléctrica procedemos a realizar un análisis de los resultados que obtuvimos de las mismas.

- La distancia recorrida en la autopista y en el centro de la ciudad son similares, teniendo un rendimiento parecido en ambos trayectos recorridos, por lo que afirmamos que la batería es independiente del trazado donde se recorra la motocicleta.
- La utilización del freno regenerativo tuvo un mejor rendimiento en la prueba realizada en la autopista, aquí se alcanzó mayor velocidad y por lo tanto el uso del freno regenerativo fue más eficiente.
- En las pruebas de velocidad y aceleración máxima, la motocicleta se mantiene a una velocidad aceptable, teniendo buena aceleración en distancias cortas.

- En la prueba de rampa máxima se comprobó que mientras la batería de 48 V se encuentre cargada completamente su capacidad para subir pendientes es notablemente mayor que cuando se encuentra por debajo de la mitad de carga.
- El precio de recarga de la batería es de \$0.32, un costo bajo, considerando lo que rinde la moto.
- El costo operativo de la motocicleta de combustión interna es menor debido a que el precio inicial de ésta motocicleta es menor que la motocicleta eléctrica.

Conclusiones:

Una vez culminado con la elaboración de nuestro producto de grado concluimos lo siguiente:

- Los elementos instalados en la motocicleta eléctrica obedecen a diseños previamente concebidos y de los que se estudió para tener un basto conocimiento, de tal manera que no se ha dejado al azar ningún aspecto de la motocicleta, desde la estética hasta la funcionalidad, empleando los conocimientos adquiridos a largo de la carrera universitaria, logrando así disponer de un vehículo con tecnología nueva y con prestaciones dignas de una motocicleta para ser usada en nuestro medio.
- La eficiencia de la motocicleta eléctrica depende del nivel de carga de la batería LiFePO₄ de 48V, cuando ésta se encuentre con carga completa la eficiencia de la motocicleta eléctrica será la máxima y las rampas serán superadas sin dificultad, a medida que la carga disminuya la eficiencia de la motocicleta eléctrica también disminuirá y habrá mayor dificultad para superar pendientes, hasta llegar al punto que solo se pueda rodar en superficies planas, debido al excesivo consumo de corriente.
- La realización de las pruebas de funcionamiento de la motocicleta eléctrica arrojaron como resultado que la eficiencia de la motocicleta eléctrica en conducción en el centro de la ciudad, como en vías periféricas, es la misma, 38 Km sin la utilización del freno regenerativo, la diferencia en usar o no el freno regenerativo radica en el rendimiento final, se alcanza 10% de kilometraje adicional al usar freno regenerativo, es decir 42 Km.
- Podemos considerar a éste vehículo como “económico” por los bajos costos que el mantenimiento representa. Cada kilómetro recorrido tiene un costo de \$0,083, si la comparamos con una motocicleta de combustión interna de características similares durante el mismo kilometraje, el costo de ésta es \$0.987, demostrando así la ventaja económica de usar ésta moto eléctrica versus una de combustión interna.

- Lejos del ahorro que se pueda tener al usar una motocicleta de estas características, consideramos como invaluable el “granito de arena” con el que aportamos como futuros profesionales a la conservación de medio ambiente que estamos en la obligación de proteger, así como promover el uso de tecnologías eficientes y amigables con nuestro entorno.

Recomendaciones:

Damos las siguientes recomendaciones una vez concluido con nuestro producto de tesis:

- Que en la Universidad motiven a todos los estudiantes a interesarse sobre las formas de energías renovables y no contaminantes al medio ambiente, con investigaciones y puestas en práctica durante la vida universitaria y su posterior puesta en práctica en su carrera profesional.
- Mayor interés por parte de todos los que conocemos acerca de la mecánica automotriz, para fomentar el desarrollo de nuestra área mediante el estudio de avances tecnológicos dentro de nuestra carrera en lo que se refiere al cuidado del medio ambiente y a la vez sobre la electrónica automotriz.
- Motivar a que los estudiantes continúen preparándose académicamente para poder dar mayor eficiencia y rendimiento a la motocicleta eléctrica, porque investigando se encontrarán que existen varias formas que se pueden aplicar para dar un mayor realce a este producto de tesis.
- Difundir los contenidos del trabajo realizado, para promover el no uso de combustibles fósiles.

GLOSARIO:

- **BLDC:** siglas en ingles de Brush Less Direct Current, que significa: Motor sin escobillas de corriente continua.
- **Cabriolet abierto:** Vehículo que es descapotable, también conocido como convertible. Carrocería de automóvil sin techo o bien puede plegarse
- **SOC:** siglas en ingles de State of Charge
- **Tixotropía.** Es la propiedad de algunos fluidos y pseudoplásticos que muestran un cambio dependiente del tiempo en su viscosidad; cuanto más se someta el fluido a esfuerzos más disminuye su viscosidad.
- **Tres Volúmenes:** Carrocería que cuenta con tres volúmenes, uno para el motor, otro para el habitáculo y el último para compartimiento de la carga.

BIBLIOGRAFÍA:

Formato impreso

- PEÑA ORDOÑEZ, Carlos. “Estudio de baterías para vehículos eléctricos”. Tutor: Jorge Pleite Guerra. Universidad Carlo III de Madrid, Departamento de Ingeniería Electrónica, 2011.
- ESCOBAR, Carlos; MARTINEZ, José y TELLEZ, German. “Control de un motor brushless con frenado regenerativo”. Director: Camilo Otálora. Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá. Departamento de Ingeniería Electrónica. 2005
- MEZQUITA, José Font; DOLS RUIZ, Juan Francisco. Tratado sobre automóviles tomo IV: Dinámica del automóvil. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. 2004
- APARICIO IZQUIERDO, Francisco; VERA ÁLVAREZ, Carlos y DÍAZ LÓPEZ, Vicente. Teoría de los vehículos automóviles, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 2001.
- FERRER, Julián y DOMINGUEZ, José. Sistemas de transmisión y frenado. Mantenimiento de vehículos autopropulsados. EDITEX. 2008
- BOSCH. Manual de la Técnica del automóvil, tercera edición. Editorial Reverté, S.A. 2005

Formato electrónico.

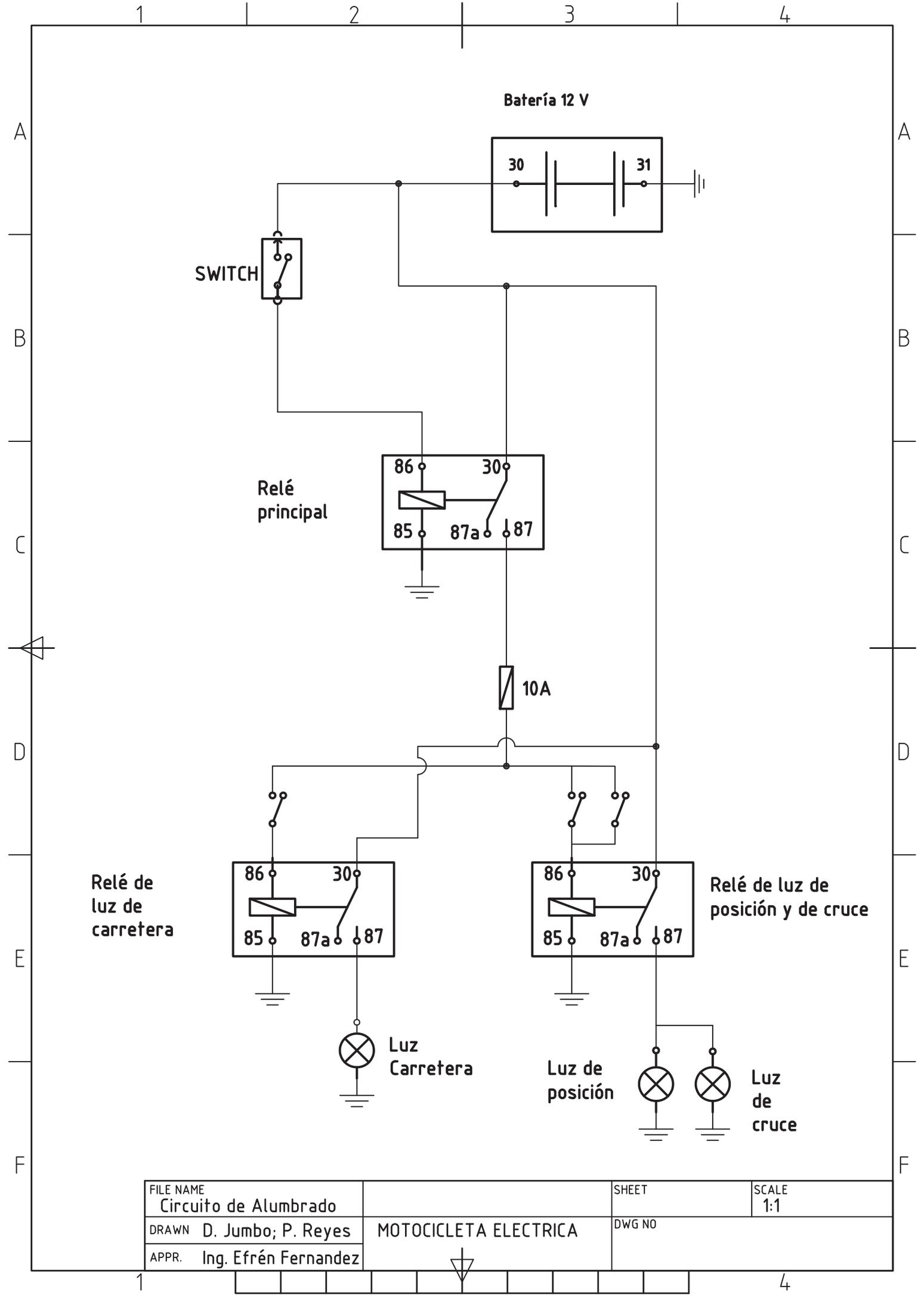
- Relés, Recuperado el 5 de marzo 2012
<http://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9>
- Recuperado el 13 de marzo del 2012
http://www.kinroad.net/index.php?main_page=product_info&cPath=3&products_id=39.
- Especificaciones de motor eléctrico, recuperado 12 de junio de 2012
[http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM10KW%20\(48V\)%20Data.pdf](http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM10KW%20(48V)%20Data.pdf).

- Sección de Cable eléctrico, recuperado 29 de junio de 2012
http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1lculo_de_secciones_de_l%C3%A9neas_el%C3%A9ctricas.
- Tabla de sección de cables, recuperado el 29 de junio de 2012
<http://www.comunidadelectronicos.com/articulos/awg.html>.
- Especificaciones de controlador, recuperado el 12 de junio de 2012
<http://www.goldenmotor.com/HPC%20Series%20Controller%20User%20Guide.pdf>.
- Especificaciones de controlador, recuperado el 12 de junio de 2012
<http://www.goldenmotor.com/HPC500H-Dimensions.jpg>.
- Curvas características del motor eléctrico, recuperado el 13 de junio de 2012
[http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM10KW%20\(48V\)%20Data.pdf](http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM10KW%20(48V)%20Data.pdf).
- Curvas características del motor eléctrico, recuperado el 13 de junio de 2012
[http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM10KW%20\(48V\)%20Curve.pdf](http://www.goldenmotor.com/eCar/HPM10KW%20(48V)%20Curve.pdf).
- Mapas de la ciudad de cuenca, recuperado el 2 de septiembre de 2012
<http://maps.google.com.ec/maps?hl=es&tab=wl>

ANEXOS

Anexo B.1

Circuito de alumbrado



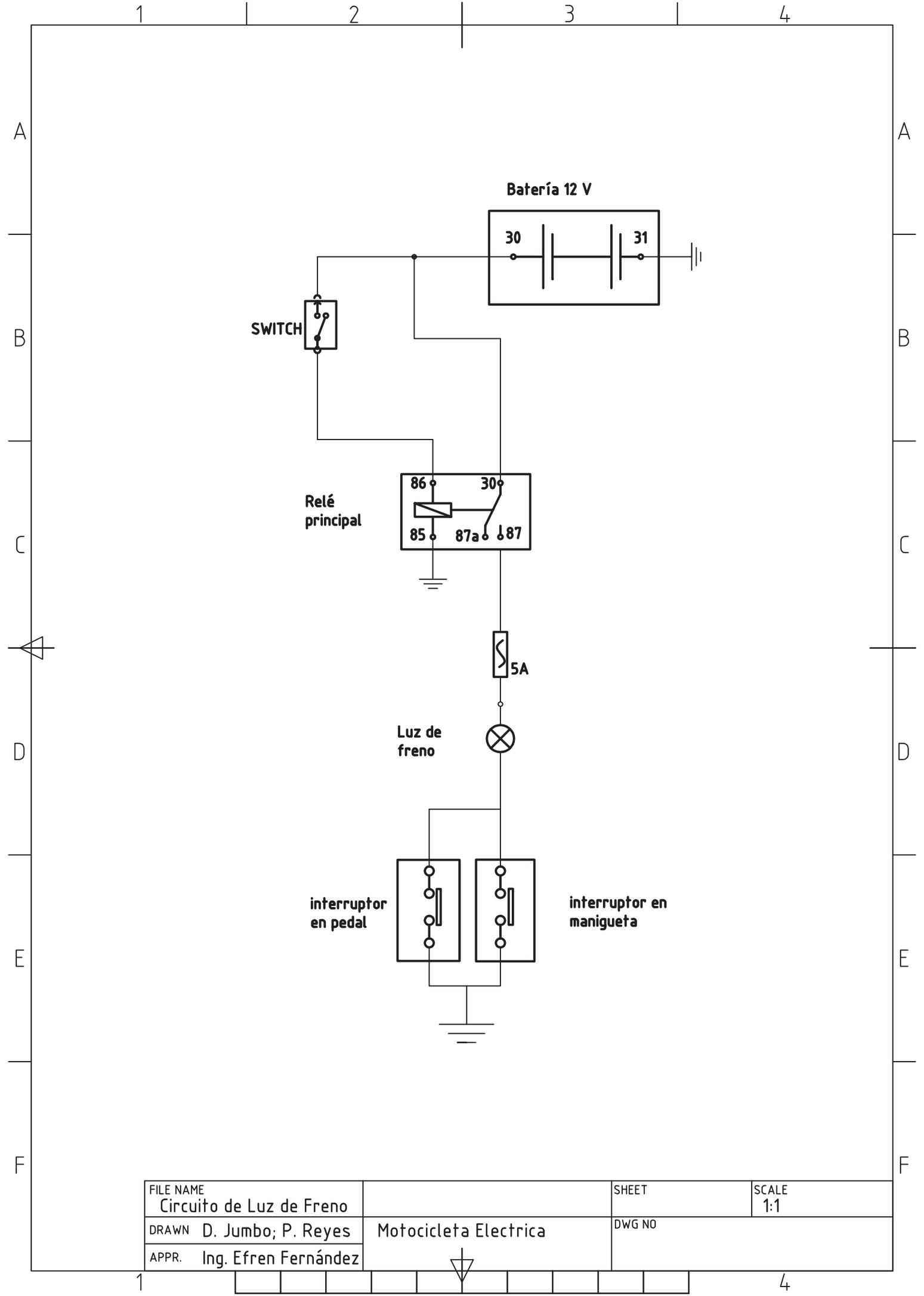
FILE NAME	Circuito de Alumbrado	SHEET	SCALE
DRAWN	D. Jumbo; P. Reyes	MOTOCICLETA ELECTRICA	1:1
APPR.	Ing. Efrén Fernandez	DWG NO	

Anexo B.2

Circuito de luces intermitentes

Anexo B.3

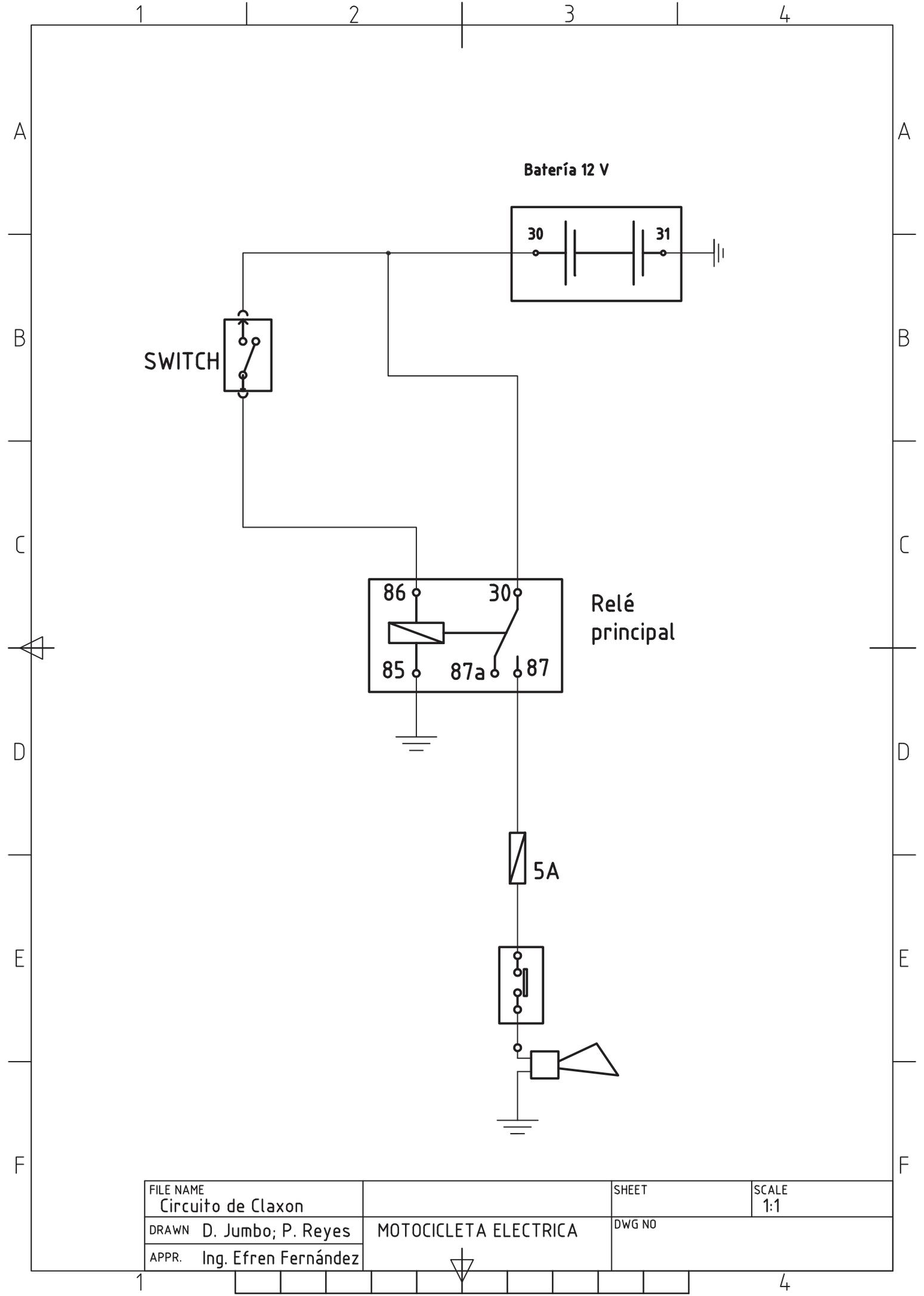
Circuito de luz de freno



FILE NAME	Circuito de Luz de Freno	SHEET	SCALE
DRAWN	D. Jumbo; P. Reyes	Motocicleta Electrica	DWG NO
APPR.	Ing. Efren Fernández		

Anexo B.4

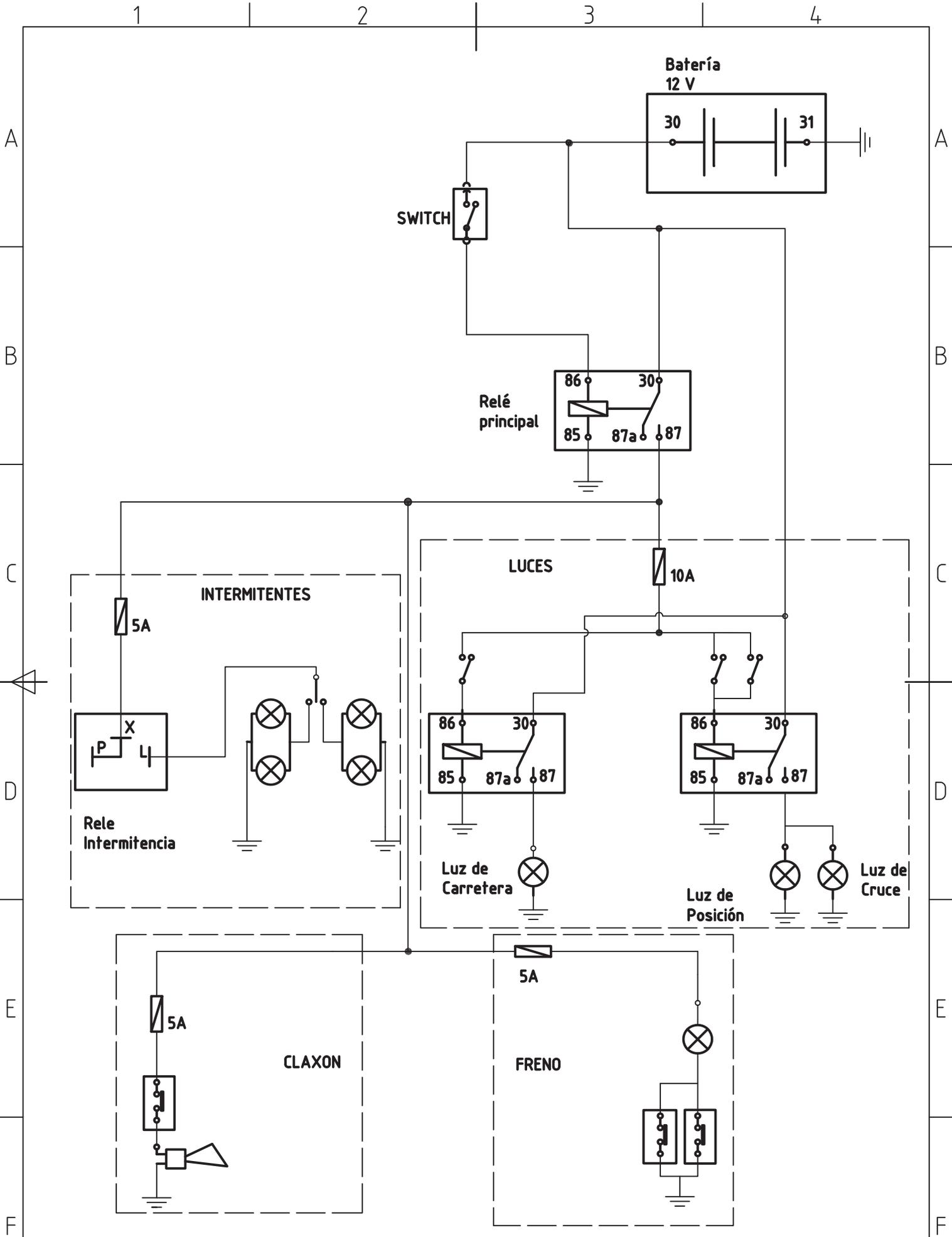
Circuito de claxon



FILE NAME	Circuito de Claxon	SHEET	SCALE
DRAWN	D. Jumbo; P. Reyes	MOTOCICLETA ELECTRICA	1:1
APPR.	Ing. Efren Fernández	DWG NO	

Anexo B.5

Circuito completo de 12V



FILE NAME	Circuito Completo de 12V	SHEET	SCALE
DRAWN	D. Jumbo; P. Reyes	MOTOCICLETA ELECTRICA	1:1
APPR.	Ing. Efren Fernández	DWG NO	

Anexo C.1

Curva característica del motor eléctrico

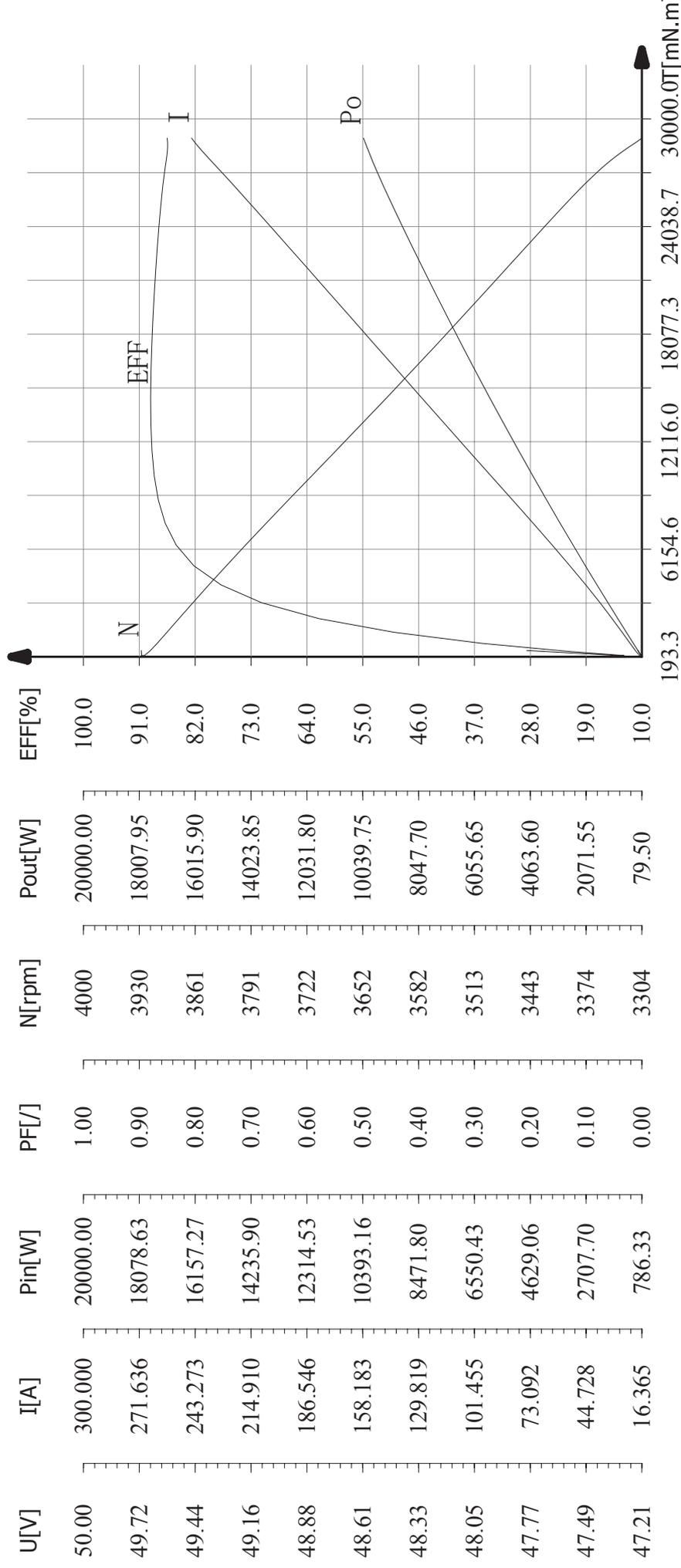
型号: 001

编号: 545646

操作人员: 001

测试日期: 2011-3-10

1电机特性曲线



项目 (Descriptor)	电压 (V)	电流 (A)	输入功率 (W)	转矩 (mN.m)	转速 (RPM)	输出功率 (W)	效率 (%)
空载点 (No_Load)	48.05	16.365	786.33	565.0	3928	232.39	29.6
最高效率点 (Max_Eff)	48.25	128.253	6176.96	14546.5	3622	5508.88	89.2
最大输出功率点 (Max_Pout)	47.21	245.063	11571.87	28933.8	3304	10011.95	86.5
最大转矩点 (Max_Torque)	47.21	245.063	11571.87	28933.8	3304	10011.95	86.5
结束点 (End)	47.21	245.120	11572.12	28940.0	3304	10012.33	86.5
额定转速点 (Rated)	47.21	245.063	11571.87	28933.8	3304	10011.95	86.5

Anexo C.2

Especificaciones del motor eléctrico

动态测试

生产公司: 1
电机型号: 001 额定电压: 1 V
电机编号: 545646 额定电流: 1 A
测试人员: 001 额定功率: 1 W
测试日期: 2011-3-10 额定转速: 1 RPM

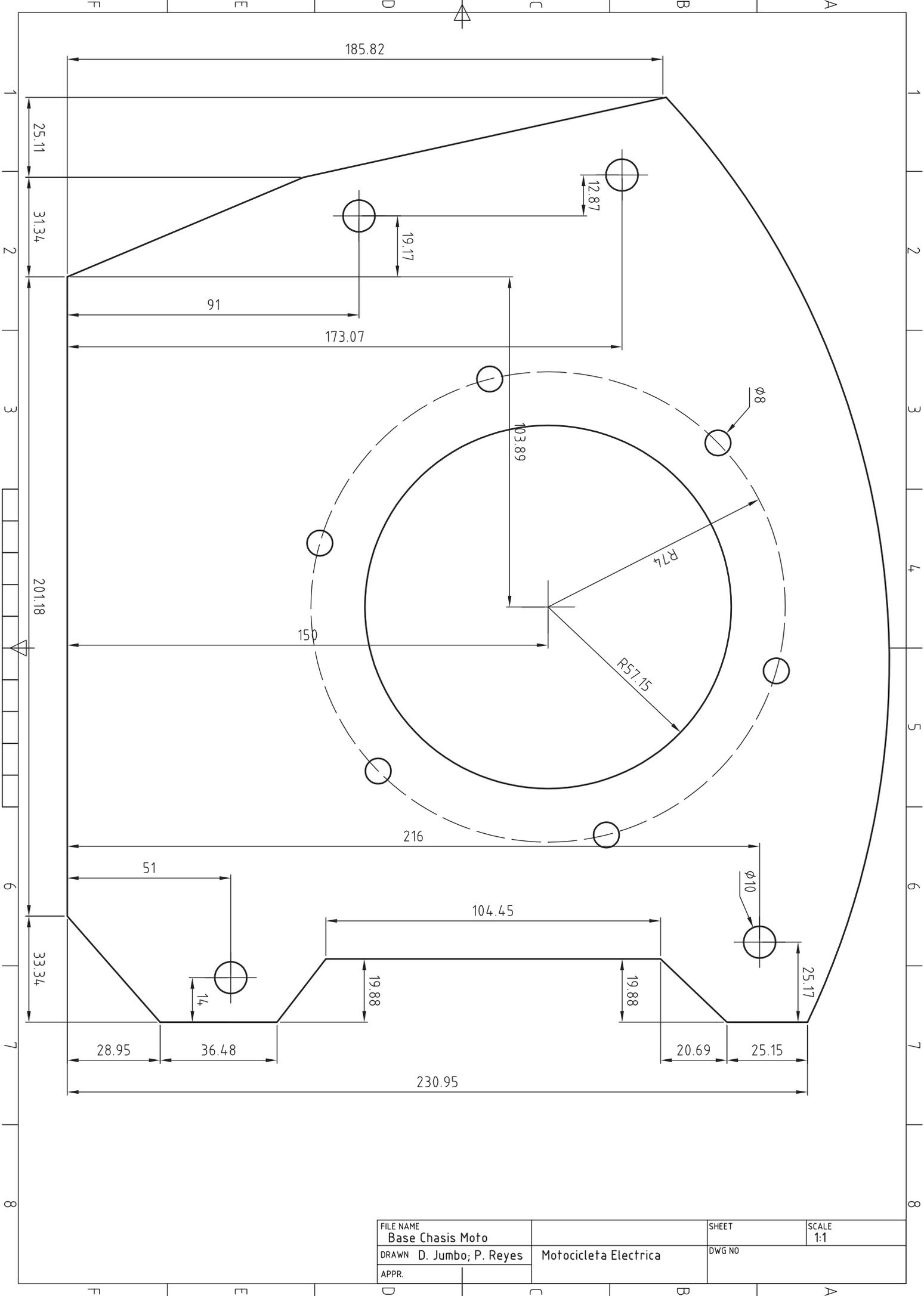
项次 NO.	电压 V	电流 A	输入功率 W	功率因数 PF	频率 Hz	转矩 mN.m	转速 rpm	输出功率 W	效率 %
1	48.05	16.365	786.33	1.000	0.00	565.0	3928	232.39	29.6
2	48.05	16.555	795.48	1.000	0.00	193.3	3927	79.50	10.0
3	48.05	17.376	834.92	1.000	0.00	373.3	3925	153.44	18.4
4	48.05	18.896	907.95	1.000	0.00	810.0	3920	332.48	36.6
5	48.05	21.493	1032.74	1.000	0.00	826.7	3911	338.54	32.8
6	48.05	25.382	1219.61	1.000	0.00	1553.3	3900	634.35	52.0
7	48.05	30.625	1471.43	1.000	0.00	2416.7	3882	982.36	66.8
8	48.05	37.135	1784.20	1.000	0.00	3700.0	3862	1496.27	83.9
9	48.06	44.725	2149.48	1.000	0.00	4070.0	3841	1636.95	76.2
10	48.11	53.041	2551.98	1.000	0.00	5186.7	3820	2074.67	81.3
11	48.16	62.097	2990.40	1.000	0.00	6373.3	3797	2533.98	84.7
12	48.19	71.857	3462.55	1.000	0.00	7603.3	3772	3003.12	86.7
13	48.23	82.248	3966.55	1.000	0.00	8873.3	3746	3480.58	87.8
14	48.25	93.200	4497.19	1.000	0.00	10226.7	3718	3981.44	88.5
15	48.30	104.476	5046.21	1.000	0.00	11590.0	3692	4480.66	88.8
16	48.24	115.743	5583.46	1.000	0.00	13023.3	3659	4989.78	89.4
17	48.09	127.607	6136.18	1.000	0.00	14440.0	3618	5470.57	89.2
18	48.07	139.603	6710.73	1.000	0.00	15926.7	3587	5982.09	89.1
19	48.07	151.700	7292.72	1.000	0.00	17460.0	3558	6504.99	89.2
20	48.07	163.813	7874.51	1.000	0.00	18933.3	3527	6992.45	88.8
21	48.07	175.563	8438.74	1.000	0.00	20420.0	3500	7483.77	88.7
22	48.04	186.903	8979.46	1.000	0.00	21816.7	3474	7936.24	88.4
23	47.99	197.253	9465.53	1.000	0.00	23116.7	3448	8346.21	88.2
24	47.89	206.440	9887.10	1.000	0.00	24213.3	3423	8678.77	87.8
25	47.81	214.020	10232.30	1.000	0.00	25130.0	3402	8952.07	87.5
26	47.75	219.720	10492.36	1.000	0.00	25836.7	3387	9163.22	87.3
27	47.70	224.270	10698.43	1.000	0.00	26393.3	3374	9324.72	87.2

客户名称:

P: 1

Anexo C.3

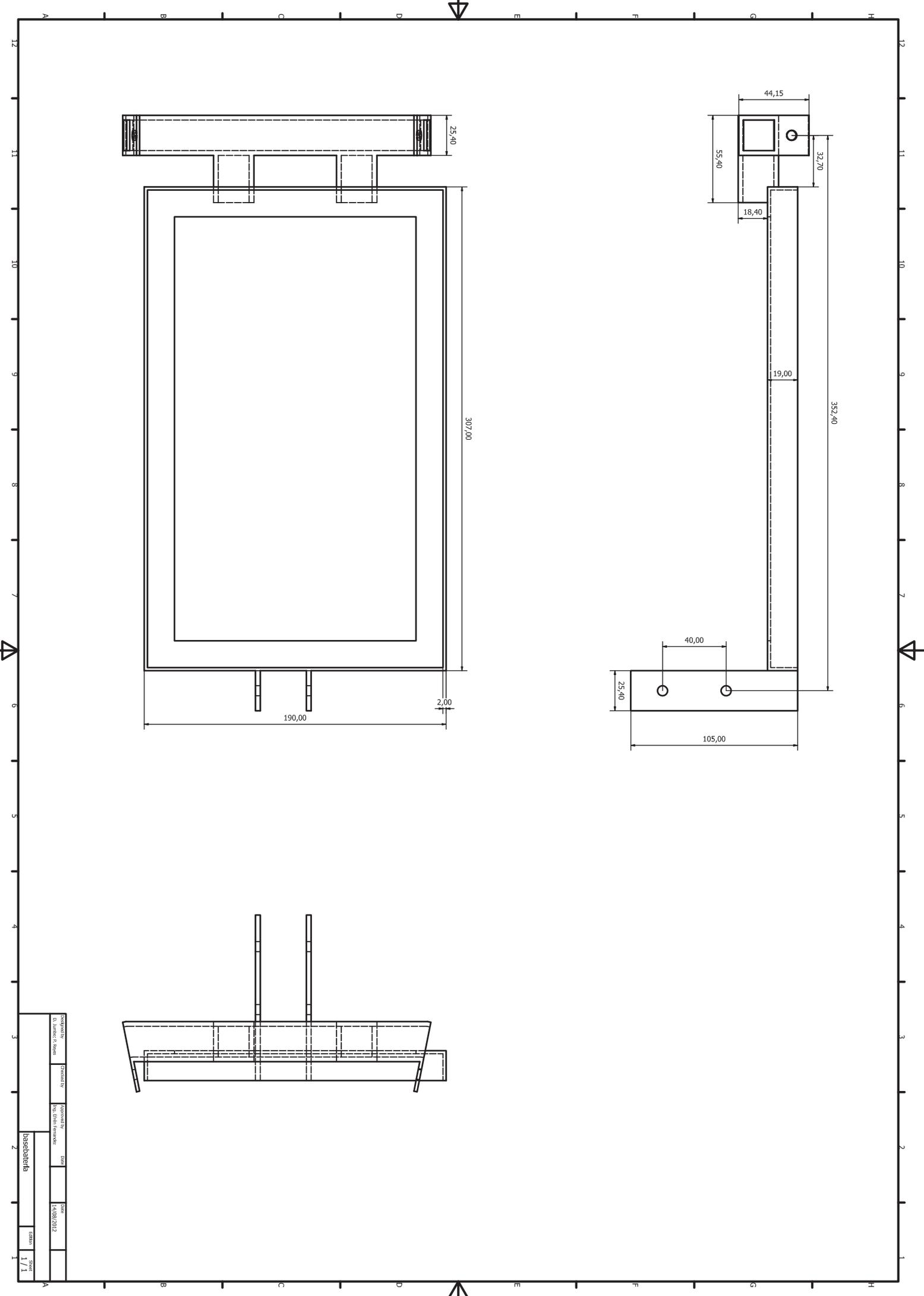
Soporte de Motor electrico



FILE NAME Base Chasis Moto	SHEET	SCALE 1:1
DRAWN D. Jumbo; P. Reyes	Motocicleta Electrica	DWG NO
APPR.		

Anexo C.4

Soporte de batería de 48V



Disegnato da: Arch. Roberto S. Basso	Progettato da: Roberto S. Basso	Approvato da: Roberto S. Basso	Data: 14/08/2012	Foglio: 1/1
			Edizione: 1/1	Stato: 1/1
Barchesetti				