

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO, ADAPTACIÓN Y CONVERSIÓN DE UNA MOTOCICLETA DE 100 C.C. A GASOLINA EN ELÉCTRICA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**ABATTA JÁCOME LENIN RÓMULO**

**MOYA LLANO PAÚL SANTIAGO**

**DIRECTOR: ING. FERNANDO OLMEDO**

**CODIRECTOR: ING. WILSON YÉPEZ**

**Sangolquí, 2013 - 07**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

**El proyecto DISEÑO, ADAPTACIÓN Y CONVERSIÓN DE UNA MOTOCICLETA A GASOLINA DE 100 C.C. EN ELÉCTRICA fue realizado en su totalidad por Abatta Jácome Lenin Rómulo y Moya Llano Paúl Santiago, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.**

---

**Ing. Fernando Olmedo**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Wilson Yépez**

**CODIRECTOR**

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

### **DISEÑO, ADAPTACIÓN Y CONVERSIÓN DE UNA MOTOCICLETA DE 100 C.C. A GASOLINA EN ELÉCTRICA**

**ELABORADO POR:**

---

**ABATTA J. LENIN R.**

---

**MOYA LL. PAÚL S.**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

Ing. Ángelo Villavicencio  
DIRECTOR DE CARRERA

**Sangolquí, 2013-07**

## DEDICATORIA

Dedicado a Dios,  
Mis Padres Joffre y Marianita,  
Hermanos Francisco y Katherine,  
Quienes son mí apoyo.

LENIN ABATTA JÁCOME

## DEDICATORIA

A Dios y a la Virgencita por su protección, guía y por iluminarme en los momentos difíciles.

A mi abuelito Colón Llano que me enseñó tanto en tan corto tiempo, siete años bastaron para aprender que el esfuerzo da muchos frutos y que la familia es lo más importante que se tiene en la vida.

A mi abuelita Ruth Castellanos por su esfuerzo, comprensión y amor.

A mi madre por su paciencia, su infinito amor y por su enorme capacidad para educarme por sí sola, siempre será mi apoyo y mi fortaleza para seguir adelante.

A mi padre ya que gracias él pude sobresalir.

A mi hermana que siempre será mi consentida, siempre será mi mejor amiga.

Y a todos mis tíos, tías y primos.

PAÚL SANTIAGO MOYA LLANO

## AGRADECIMIENTOS

Ante todo Dios quien me ha dado la fortaleza de seguir siempre hacia delante, mediante mis padres Joffre y Marianita, quienes han sido mi luz y mi guía durante mi vida, a mis hermanos Francisco y Katherine por darme aliento cuando ya no he tenido fuerzas para continuar, a mis tíos y tías por decirme “no nos preocupamos por ti, confiamos en ti, tu eres el mejor” , a mi Abuelitos quienes siempre han estado orgullosos diciendo “ mi hijito ya va ser ingeniero..” Gracias a todos mis amigos, que saben que cuentan conmigo...

A mi compañero de tesis Paul Moya, con quien nos conocemos desde hace mucho tiempo y hemos realizados proyectos que nos han dado experiencia y ganas de seguir adelante por un Ecuador mejor...

A mi querida ESPE – ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, por compartirme sus conocimientos mediante sus Docentes. En especial a mi Director de Tesis Ing. Fernando Olmedo y a mi Co-Director Ing. Wilson Yépez.

LENIN RÓMULO ABATTA JÁCOME

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios y a la Virgen por bendecirme y darme fortaleza para seguir adelante, a mis abuelitos Colón Llano y Ruth Castellanos por ser mis primeros padres y enseñarme todo con paciencia y amor, a mis padres por darme la vida y confiar en mi durante 23 años gracias mamita Ruth y papito Santiago siempre serán mi todo, a mi hermana por cuidarme y por darme su cariño incondicional y sus consejos, a mis tíos, tías y primos por consentirme y darme los mejores consejos para ser un hombre respetuoso y aplicado.

Agradezco a todos los docentes que a lo largo de la carrera estuvieron dispuestos a enseñarme y facilitarme el aprendizaje con sus formas únicas de enseñanza. Gracias ingenieros por ser mis mentores y mis guías durante los 5 años de carrera universitaria.

Agradezco al Ingeniero Fernando Olmedo y al Ingeniero Wilson Yépez, por su colaboración en la tesis y por todo el apoyo en la aplicación de sus conocimientos cuando se complicó nuestra tesis.

De forma muy especial agradezco a mi amigo y compañero de tesis Lenin Abatta por su paciencia y apoyo durante toda la vida universitaria y sobre todo en el trabajo en la tesis.

PAÚL SANTIAGO MOYA LLANO

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv-v
AGRADECIMIENTO	v-vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix-xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii-xviii
ÍNDICE DE TABLAS	xix
RESUMEN	xxi

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### **CAPÍTULO 1- RESEÑA HISTÓRICA DE LAS MOTOCICLETAS**

1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA UTILIZADOS EN LAS MOTOCICLETAS.....	2
1.2.1. MOTORES 4 TIEMPOS- GASOLINA Y DIESEL.....	7
1.2.1.1. FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE 4 TIEMPOS A GASOLINA .....	7
1.2.2. MOTORES 2 TIEMPOS .....	9
1.3. MOTOCICLETA ELÉCTRICAS EN EL MUNDO .....	10
1.3.1. EFICIENCIA DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	14
1.4. ORIGEN DEL PROYECTO.....	15
1.4.1. CONSUMO Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN QUITO.....	16
1.5. INICIATIVAS CIENTÍFICAS SOBRE EL USO DE ENERGÍA ELEC.....	21
1.5.1. USO DE MOTOCICLETAS ELÉCTRICAS A NIVEL MUNDIAL .....	22

### **CAPÍTULO 2 - ESTUDIO DE CONVERSIÓN DE MOTOCICLETA A GASOLINA EN ELÉCTRICA**

2.1. MOTORES ELÉCTRICOS .....	26
2.1.1. MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA PARA MOTOCICLETAS ELÉCTRICAS .....	28
2.2. BATERÍAS .....	33
2.2.1. TIPOS DE BATERÍAS .....	34
2.2.1.1. BATERÍAS DE PLOMO .....	34
2.2.1.2. BATERÍAS DE NI-CD (NÍQUEL CADMIO) .....	35
2.2.1.3. BATERÍAS DE NI-MH (NÍQUEL METAL-HIDRURO) .....	35
2.2.1.4. BATERÍAS NI-ZN (NÍQUEL METAL-ZINC).....	36

2.2.1.5.	BATERÍAS ZEBRA (CLORURO DE SODIO).....	36
2.2.1.6.	BATERÍAS LITIO-ION.....	37
2.2.1.7.	BATERÍAS LI-PO (LITIO-POLÍMERO).....	37
2.3.	CONTROLADORES .....	38
2.3.1.	CONTROLADOR MULTISWITCHING .....	38
2.3.2.	CONTROLADORES DE ESTADO SÓLIDOS .....	39
2.3.3.	MODERNOS CONTROLADORES ELECTRÓNICOS.....	40
<b>CAPÍTULO 3 - FASE DE DISEÑO</b>		
3.1.	ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO DE POTENCIA.....	42
3.1.1.	ANÁLISIS FÍSICO - MECÁNICO DE REQUERIMIENTO DE POTENCIA .....	43
3.1.1.1.	PESO DE LA MOTOCICLETA ELÉCTRICA.....	44
3.1.1.2.	PESO Y ACELERACIÓN .....	44
3.1.1.3.	PESO Y ASCENSO DE PENDIENTES .....	44
3.1.1.4.	PESO Y VELOCIDAD.....	45
3.1.1.5.	PESO Y AUTONOMÍA.....	46
3.1.1.6.	FUERZA POR RESISTENCIA AERODINÁMICA .....	46
3.1.1.7.	VIENTO RELATIVO A LA FUERZA AERODINÁMICA .....	47
3.1.1.8.	RESISTENCIA A LA RODADURA.....	47
3.1.1.9.	EJEMPLO DE CÁLCULO .....	48
3.2.	SELECCIÓN DEL MOTOR.....	57
3.2.1.	PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO.....	57
3.2.1.1.	GEOMETRÍA .....	57
3.2.1.2.	POTENCIA Y TORQUE.....	58
3.2.1.3.	RESISTENCIA A AGENTES EXTERNOS.....	58
3.2.1.4.	PESO.....	58
3.2.1.5.	EFICIENCIA.....	59

3.2.1.6.	COSTO .....	59
3.2.1.7.	INFORMACIÓN .....	59
3.2.2.	SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO .....	60
3.3.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL .....	61
3.3.1.	PARÁMETROS DE SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL....	61
3.3.1.1.	COMPATIBILIDAD CON EL MOTOR .....	62
3.3.1.2.	DIMENSIONES.....	62
3.3.1.3.	PESO .....	62
3.3.2.	SELECCIÓN DEL CONTROLADOR.....	63
3.4.	SELECCIÓN DE BATERÍAS.....	64
3.4.1.	PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE BATERÍAS .....	64
3.4.1.1.	TENSIÓN Y CORRIENTE ELÉCTRICA.....	64
3.4.1.2.	PESO.....	65
3.4.1.3.	TECNOLOGÍA .....	65
3.4.1.4.	GEOMETRÍA .....	65
3.4.2.	SELECCIÓN DE BATERÍAS .....	65
3.5.	DISEÑO MECÁNICO.....	67
3.5.1.	DISEÑO DE PLACA SOPORTE DEL MOTOR .....	67
3.5.2.	DISEÑO DE SOPORTE DE BATERÍAS.....	72
3.5.3.	DISEÑO SOPORTE DE CONTROLADOR.....	79
3.5.4.	SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN.....	82
3.5.5.	ANÁLISIS DE VIBRACIONES .....	92
3.5.6.	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE SISTEMAS DINÁMICOS DE COCHIN Y PLASS.....	97
3.5.7.	DISEÑO TÉRMICO .....	109
3.6.	SISTEMA ELÉCTRICO.....	113
3.6.1.	PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR.....	114

3.6.2. CARGADOR.....	122
3.6.3. SISTEMA CON MOTOR DIESEL.....	123
<b>CAPÍTULO 4 - FASE DE CONSTRUCCIÓN</b>	
4.1. DESMONTAJE DE ACCESORIOS.....	127
4.2. DESMONTAJE DE MOTOR A GASOLINA.....	130
4.3. CONSTRUCCIÓN DE SOPORTE MOTOR .....	133
4.4. CONSTRUCCIÓN DE SOPORTES DE BATERÍAS .....	135
4.5. CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE DEL CONTROLADOR.....	139
4.6. ADAPTACIÓN - MAQUINADO DE CATALINAS.....	140
4.7. FABRICACIÓN DE CARGADOR .....	142
<b>CAPÍTULO 5 - EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO Y AUTONOMÍA</b>	
5.1. PRUEBAS DE AUTONOMÍA .....	144
5.2. PRUEBAS DE ACELERACIÓN .....	148
<b>CAPÍTULO 6 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1. CONCLUSIONES .....	150
6.2. RECOMENDACIONES .....	152

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Niveles de contaminación vehicular Quito .....	1
Figura 1.2 Yamaha PW 80.....	2
Figura 1.3. Suzuki Ax100.....	3
Figura 1.4. Suzuki Gs500 .....	3
Figura 1.5. Suzuki Gsxr 1000 .....	4
Figura 1.6. Honda Goldwing .....	4
Figura 1.7. Harley Davidson Sportster 883.....	5
Figura 1.8. Honda VFR.....	5
Figura 1.9. BMW R1200 classic.....	6
Figura 1.10. Cette Track T800 CDI.....	6
Figura 1.11. Funcionamiento del motor 4 tiempos gasolina.....	8
Figura 1.12. Motor diesel .....	8
Figura 1.13. Ciclo de trabajo teórico del motor dos tiempos. ....	9
Figura 1.14. Motocicleta eléctrica KTM.....	11
Figura 1.15. Motocicleta eléctrica BMW.....	12
Figura 1.16. Chasis de la Motocicleta eléctrica BMW .....	13
Figura 1.17. Motocicleta eléctrica ZERO .....	13
Figura 1.18 Motocicleta eléctrica Zero Streetfighter.....	14
Figura 1.19. Contaminación en Quito .....	17
Figura 1.20. Contaminantes en la ciudad de Quito .....	17
Figura 1.21. Monóxido de carbono .....	18
Figura 1.22. Dióxido de Azufre .....	18
Figura 1.23. Dióxido de Nitrógeno .....	19
Figura 1.24. Benceno .....	19
Figura 1.25. Ozono .....	20
Figura 1.26. Material Particulado .....	20
Figura 1.27 Motocicletas eléctricas en España.....	23
Figura 2.1. Motocicleta Suzuki Ax100.....	25
Figura 2.2. Tipos de motores de Corriente continua. ....	27
Figura 2.3. Comparación entre motores de combustión interna y eléctrico. ....	28
Figura 2.4. Advanced DC BL-4001 series motor.....	29
Figura 2.5. Típico motor Shunt.....	30

Figura 2.6. Curva característica de un motor Serie y un Compound .....	31
Figura 2.7. Motor básico de corriente continua – Imán permanente.....	32
Figura 2.8. Motor Brushless principio de funcionamiento .....	32
Figura 2.9. Batería de plomo, calcio, plata, ácido .....	34
Figura 2.10. Batería de Níquel Cadmio.....	35
Figura 2.11. Batería de Ni-Mh.....	35
Figura 2.12. Batería de Ni-Zn.....	36
Figura 2.13. Batería de cloruro de sodio.....	36
Figura 2.14. Batería de Litio-Ion.....	37
Figura 2.15. Batería de Li-Po.....	37
Figura 2.16. Sistema Multiswitching.....	38
Figura 2.17. Controlador solido tipo Curtis.....	39
Figura 2.18 - Controlador Programable .....	40
Figura 3.1. Motocicleta Suzuki Ax 100 año 2009 condición inicial.....	42
Figura 3.2. Ángulo de elevación por ascenso de pendientes.....	45
Figura 3.3. Coeficiente de resistencia aerodinámica .....	46
Figura 3.4. Motocicleta en Balanza digital – peso seco 130kg .....	48
Figura 3.5. Cálculo de área sin conductor (izq), con conductor (der).....	48
Figura 3.6. Fuerza requerida Vs. Velocidad de desplazamiento.....	54
Figura 3.7. Potencia requerida Vs. Velocidad de desplazamiento.....	54
Figura 3.8. Fuerza requerida Vs. Velocidad de desplazamiento.....	55
Figura 3.9. Potencia requerida Vs. Velocidad de desplazamiento.....	55
Figura 3.10. Fuerza requerida Vs. Velocidad de desplazamiento.....	56
Figura 3.11 Potencia requerida en función Vs. Velocidad de desplazamiento. 56	
Figura 3.12. Motor original Suzuki Ax 100 .....	57
Figura 3.13. Diámetro máximo posible para instalación de motor. ....	57
Figura 3.14. Motor original Suzuki Ax100 – 22 kg.....	58
Figura 3.15. Motor Golden Motor HPM-5000L.....	61
Figura 3.16. Motor Golden Motor HPM-5000L – Cables de conexión.....	62
Figura 3.17. Conexión de baterías en Serie. ....	64
Figura 3.18. Motor Golden Motor HPM5000L .....	67
Figura 3.19. Especificación geométrica del fabricante Golden Motor .....	68
Figura 3.20. Soportes del motor a gasolina .....	69

Figura 3.21. Diseño geométrico de placa soporte del motor - SolidWorks .....	69
Figura 3.22. Comprobación del diseño geométrico.....	69
Figura 3.23. Aplicación de cargas en SolidWorks.....	70
Figura 3.24. Análisis FEM Von Mises .....	70
Figura 3.25. Análisis FEM – Desplazamientos.....	71
Figura 3.26. Especificaciones Técnicas de Baterías MAC.....	72
Figura 3.27. Puntos de sujeción para soportes de baterías.....	73
Figura 3.28. Diseño geométrico ubicado en el Chasis – SolidWorks.....	74
Figura 3.29. Diseño geométrico ubicado en el Chasis con baterías – SolidWorks.....	74
Figura 3.30. Aplicación de cargas – soporte delantero .....	75
Figura 3.31. Análisis FEM Von Mises .....	75
Figura 3.32. Análisis FEM - Desplazamientos .....	76
Figura 3.33. Soporte Posterior sometido a cargas.....	77
Figura 3.34. Análisis FEM Von Mises .....	77
Figura 3.35. Análisis FEM - Desplazamientos .....	78
Figura 3.36. Especificaciones geométricas del controlador HPC300.....	79
Figura 3.37. Puntos para soporte de controlador.....	80
Figura 3.38. Diseño geométrico Ubicado en el Chasis – SolidWorks .....	80
Figura 3.39. Aplicación de cargas en SolidWorks.....	81
Figura 3.40. Análisis FEM Von Mises .....	81
Figura 3.41. Análisis FEM - Desplazamientos .....	82
Figura 3.42. Curva característica motor HPM5000L.....	83
Figura 3.43. Potencia requerida en función Vs. Velocidad de desplazamiento.....	83
Figura 3.44. Relación de transmisión con motor a Gasolina $i= 3$ .....	87
Figura 3.45. Catálogo de Cadenas Marca KANA.....	89
Figura 3.46. Dimensiones del eje del motor.....	90
Figura 3.47. Excitación de la base, modelo de masa $m$ que está excitado por un desplazamiento armónico establecido por un resorte y un amortiguador. ....	92
Figura 3.48. Modelo simple de una motocicleta viajando a una velocidad constante en una carretera que se aproxima a una función sinusoidal. ....	93
Figura 3.49. Sistema básico, equilibrio de fuerzas para el sistema de suspensión de motocicletas.....	98

Figura 3.50. Consideraciones Geometría para desplazamiento vertical vs. ángulo de rotación. ....	99
Figura 3.51. Diagrama de bloques del sistema de suspensión de motocicletas.....	102
Figura 3.52. Librería de Simulink para construcción de bloques.....	102
Figura 3.53. Identificación de Bloques en Simulink.....	103
Figura 3.54. Ensamble parcial de Bloques en Simulink. ....	104
Figura 3.55. Ensamble de Bloques en Simulink.....	104
Figura 3.56. Ensamble de Bloques en Simulink finalizado .....	104
Figura 3.57. Desplazamiento en Y motocicleta Gasolina.....	106
Figura 3.58. Ángulo motocicleta Gasolina. ....	106
Figura 3.59. Desplazamiento en Y motocicleta Eléctrica. ....	108
Figura 3.60. Ángulo motocicleta Eléctrica. ....	108
Figura 3.61. Radiador marca KEEWAY .....	109
Figura 3.62. Eficiencia del intercambiador de calor. <sup>[24]</sup> .....	112
Figura 3.63. Cambio de luces direccionales a 12v.....	114
Figura 3.64 Interfaz inicial del programa.....	114
Figura 3.65. Prueba en vacío.....	115
Figura 3.66. Parámetros de programación .....	116
Figura 3.67. Parámetros del motor .....	117
Figura 3.68. Parámetros del acelerador.....	117
Figura 3.69. Revisión de datos ingresados.....	118
Figura 3.70. Información de las baterías.....	118
Figura 3.71. Inicio de funcionamiento .....	119
Figura 3.72. Prueba de funcionamiento .....	120
Figura 3.73. Prueba de funcionamiento .....	120
Figura 3.74. Prueba de funcionamiento .....	121
Figura 3.75. Prueba de funcionamiento .....	122
Figura 3.76. Cargador 48 voltios 3 amperios .....	123
Figura 3.77. Sidecar con el sistema híbrido – despiece.....	125
Figura 3.78. Sistema híbrido ensamblado. ....	125
Figura 3.79. Motocicleta con bridas de conexión.....	126
Figura 4.1. Suzuki Ax100.....	127

Figura 4.2. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado el asiento.....	128
Figura 4.3. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado el Tanque de combustible.....	128
Figura 4.4. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado las cubiertas laterales.....	129
Figura 4.5. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado depurador y depósito de aceite 2T.....	129
Figura 4.6. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado el sistema de escape.....	130
Figura 4.7. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado la tapa del motor.....	131
Figura 4.8. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado la cadena de transmisión.....	131
Figura 4.9. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado cables de aceleración y ahogador.....	132
Figura 4.10. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado el motor.....	132
Figura 4.12. Torneado de placa – Soporte del motor.....	133
Figura 4.13. Perforación de esquinas placa del motor – soportes en el chasis.....	134
Figura 4.14. Rectificado de placa soporte del motor y machuelado M16.....	134
Figura 4.15. Comprobación geométrica de la placa soporte del motor.....	135
Figura 4.16. Soportes de baterías delanteros.....	135
Figura 4.17. Soportes de baterías posterior.....	136
Figura 4.18. Cajones soportes de baterías.....	136
Figura 4.19. Ubicación y comprobación del soporte de baterías posterior.....	137
Figura 4.20. Ubicación y comprobación de soporte de baterías delantero.....	137
Figura 4.21. Comprobación de la ubicación de baterías.....	138
Figura 4.22. Comprobación de la ubicación de baterías.....	138
Figura 4.23. Soportes del controlador.....	139
Figura 4.24. Ubicación del controlador en el chasis de la motocicleta.....	139
Figura 4.25. Comprobación del soporte con la ubicación del controlador.....	140
Figura 4.26. Maquinado de catalina conductora a diámetro del eje del motor.....	140
Figura 4.27. Comprobación de maquinado de la catalina conductora.....	141
Figura 4.28. Maquinado de catalina conducida.....	141
Figura 4.29. Caja del cargador de baterías.....	142
Figura 4.29. Caja del cargador de baterías.....	142
Figura 4.30. Cargador 48 voltios 3 amperios.....	143
Figura 4.31. Cargador 48 voltios 3 amperios - funcionamiento.....	143

Figura 5.1. Mapa de la ciudad de Quito.....	144
Figura 5.2. Pruebas - Recorrido por la avenida Amazonas. ....	145
Figura 5.3. Pruebas - Recorrido por la avenida Amazonas. ....	145
Figura 5.4. Prueba - Recorrido Simón Bolívar .....	146
Figura 5.5. Prueba - Recorrido entrada a Cumbayá. ....	146
Figura 5.6. Autonomía de la motocicleta eléctrica. ....	147

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Especificaciones caja de cambios - Suzuki Ax100 .....	43
Tabla3.2. Cálculo de requerimiento de torque y potencia para una pendiente del 0%.....	51
Tabla3.3. Cálculo de requerimiento de torque y potencia para una pendiente del 5,25%.....	52
Tabla3.4. Cálculo de requerimiento de torque y potencia para una pendiente del 10%.....	53
Tabla 3.5. Información técnica de los motores eléctricos. ....	60
Tabla 3.6. Matriz de selección del Motor. ....	61
Tabla 3.7. Información técnica de controladores. ....	63
Tabla 3.8. Matriz de selección del controlador.....	63
Tabla 3.9. Información técnica Baterías.....	66
Tabla 3.10. Matriz selección de baterías. ....	66
Tabla 3.11.Desempeno motor HPM5000L.....	84
Tabla 3.12. Requerimiento de torque en la rueda posterior pendiente del 0%. 85	
Tabla 3.13. Demanda de torque, capacidad de torque del Motor. ....	85
Tabla 3.14. Requerimiento de torque en la rueda posterior pendiente del 10% caso más crítico.....	86
Tabla 3.15. Demanda de torque, capacidad de torque del Motor. ....	86
Tabla 3.16. Factor de servicio <sup>[20]</sup> .....	87
Tabla 3.17. Cadenas según ANSI STANDARD CHAIN.....	88
Tabla 3.18. Catálogo de Cadenas Marca KANA.....	90
Tabla 3.19. Catálogo de catalinas según Cadena ANSI 40.....	91
Tabla 3.20. Comparación de fuerza y desplazamiento (vibración) entre motocicleta a gasolina y eléctrica. ....	97
Tabla 3.21. Coeficiente Global de Transferencia de calor para intercambiadores de calor en flujo cruzado. ....	111
Tabla 5.1 Prueba de aceleración de la motocicleta con motor a gasolina. ....	148
Tabla 5.2 Prueba de aceleración de la motocicleta Eléctrica.....	149

## NOMENCLATURA

CC – Centímetros cúbicos

PMS – Punto Muerto Superior

PMI – Punto Muerto Inferior

AAA - Adelanto de apertura de admisión

RCA - Retroceso al cierre de la admisión

AE – Avance de encendido

AAE - Adelanto la apertura de la válvula de escape

SCR - Rectificador controlado de silicio

ME - Motocicleta Eléctrica

EV – Vehículo Eléctrico

F – Fuerza requerida

Fa - Fuerza por efectos de aceleración

Ci - factor de masa

W - Peso

a - Aceleración

$F_h$  - Fuerza por ascenso de pendientes

$\phi$  - Angulo de inclinación de la pendiente

Hp – Potencia requerida en HP

Fd - Fuerza por resistencia aerodinámica

A - Área frontal de la motocicleta

V - Velocidad de la Motocicleta

Cd - Coeficiente de resistencia aerodinámica

Cw - Factor de viento relativo

w1 - velocidad del viento (mph)

Crw - coeficiente de viento relativo, para vehículos con bastante turbulencia y motocicletas

Fr - Fuerza por resistencia a la rodadura

$\phi$  - Ángulo de la pendiente

Cr - Factor de resistencia a la rodadura

T- Torque Nm

Ks – Factor de Servicio

r – Radio de la catalina conductora en metros

$u_1$  - Velocidad de La motocicleta  
 $T_1$  - Periodo de la superficie de la carretera  
 $K$  - Constante de Rigidez del Resorte  
 $m_1$  - Masa crítica de rueda posterior  
 $Y_a$  - Desplazamiento instantáneo del resorte delantero  
 $Y_b$  - Desplazamiento instantáneo del resorte posterior.  
 $Y(t)$  - Desplazamientos verticales individuales del resorte  
 $\theta(t)$  - Desplazamientos verticales individuales del resorte  
 $L_a$  - Consideraciones geométricas destacadas  
 $L_b$  - Consideraciones geométricas destacadas  
 $A_1$  - Área del disipador de calor  
 $T_1$  - Temperatura refrigerante  
 $T_2$  - Temperatura ambiente  
Caudal 1 - Caudal de la bomba  
 $D_1$  - Densidad del agua  
 $C_1$  - Caudal de másico de agua  
 $D_2$  - Densidad del aire  
 $V_2$  - velocidad del aire  
Caudal2 - Caudal de aire  
 $C_2$  - Caudal másico de aire  
Nut - Numero Nusselt  
 $Q$  - Calor disipado por el motor  
 $Z$  - Eficiencia del disipador  
 $\alpha$  - Eficiencia del motor  
 $\beta$  - Pérdidas de calor  
 $Q_1$  - Calor a disipar por parte del motor eléctrico  
 $I$  - Relación de transmisión

## RESUMEN

Al ser la contaminación de los automotores muy alta en nuestra ciudad, nace la idea de convertir una motocicleta a gasolina en eléctrica, la cual mejoraría la calidad del medio ambiente, sin contaminación, sin ruido y con bajo costo de operación.

Se selecciona un prototipo, el más contaminante y más empleado en la ciudad de Quito, la Motocicleta Suzuki Ax100 que tiene un motor de 2 tiempos.

Mediante un análisis mecánico se determina la capacidad del motor eléctrico a utilizar, se seleccionan partes y componentes necesarios para la conversión, diseñando nuevas partes y piezas que servirán para soportar el nuevo sistema con el cual trabajará la motocicleta.

Se determina el correcto funcionamiento de la suspensión de la motocicleta mediante un análisis de vibraciones utilizado software matemático y simuladores.

Se realiza un análisis térmico con el cual se determinan las pérdidas por calor generadas por el motor, las cuales se deben disipar con intercambiador de calor.

Al realizar pruebas de funcionamiento se obtiene un gran desempeño y autonomía, tanto en ciudad como carretera, siendo la motocicleta eléctrica un éxito.

# CAPÍTULO 1

## RESEÑA HISTÓRICA, LAS MOTOCICLETAS Y LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN QUITO

### 1.1. INTRODUCCIÓN

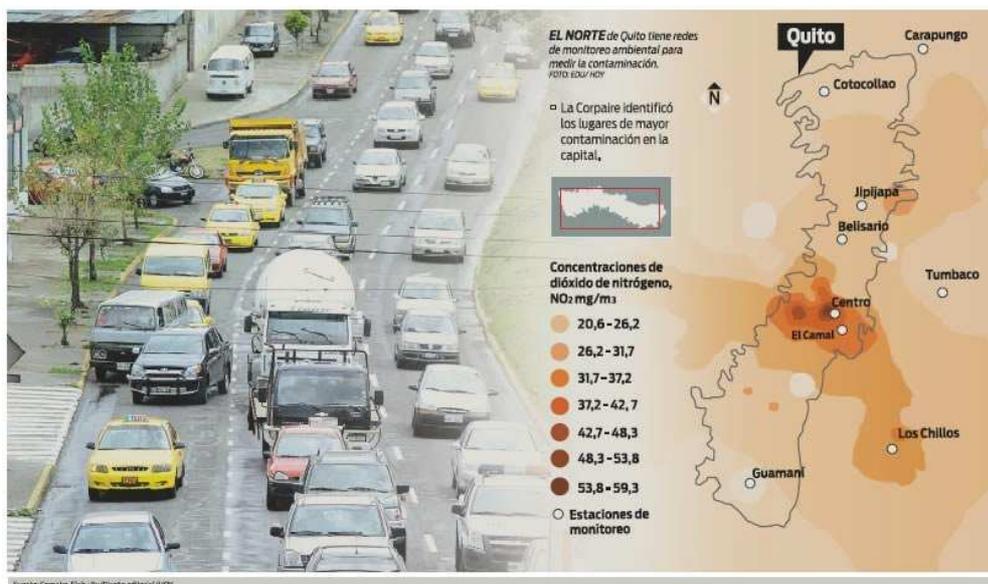


Figura 1.1 Niveles de contaminación vehicular Quito <sup>[1]</sup>

Las motocicletas han sido una aparente solución al tráfico existente en la ciudad de Quito, pero al poseer un motor de combustión interna, emiten sustancias contaminantes al medio ambiente (Ver Figura 1.1.).

En la ciudad de Quito alrededor del 5% del parque automotor (450.000 vehículos hasta Noviembre 2012) son motocicletas, es decir, alrededor de 22500 de estas circulan por las calles de Quito, por lo tanto son un grupo importante en la contaminación del medio ambiente.

La contaminación ambiental se define como la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad, el bienestar de la población,

<sup>1</sup> Fuente [www.hoy.com.ec](http://www.hoy.com.ec) - 09/Octubre/2010

también que puedan ser perjudiciales tanto para la vida vegetal como la animal, o impidan el uso normal de las propiedades, lugares de recreación y goce de los mismos.

La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar público.

## **1.2. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA UTILIZADOS EN LAS MOTOCICLETAS**

Los motores empleados en las motocicletas de las marcas más populares del mundo son de combustión interna refrigerados por aire o por un sistema de refrigeración con intercambiador de calor, entre los cuales se pueden destacar:

### **Motores de un solo cilindro horizontal**



Figura 1.2 Yamaha PW 80

Fue un motor bastante empleado desde 1980 hasta la actualidad (Figura 1.2) la gran mayoría de estos motores eran refrigerados por aire y su ciclo de funcionamiento de 2 carreras o 2 tiempos. La cilindrada va desde 50 hasta 200 c.c.

### **Motores de un solo cilindro vertical**



Figura 1.3. Suzuki Ax100

Este tipo de motores es comercializado actualmente (Figura 1.3), existen algunos tipos de variantes tal como el ciclo de funcionamiento, la disposición de válvulas y el tipo de refrigeración. La cilindrada va desde 80 hasta 650 cc.

Se puede decir que el 90% de las motocicletas que actualmente circulan en Ecuador poseen un motor mono cilíndrico vertical.

### **Motores de dos cilindros en línea**



Figura 1.4. Suzuki Gs500

Sus características son las mismas o muy similares a los dos cilindros en V. Podríamos decir que su motor estrella y su motocicleta más representativa es la Suzuki Gs500 (Figura 1.4), aunque no es la única ya que este motor es empleado en más motocicletas.

### **Motores de cuatro cilindros en línea**



Figura 1.5. Suzuki Gsxr 1000

Este es el motor más utilizado en motocicletas deportivas, tales como: Suzuki Gsxr1000 (Figura 1.5), Yamaha Facer, Kawasaki z750, Honda Varadero 1000 y en muchas otras motocicletas deportivas.

### **Motores de seis cilindros en línea**



Figura 1.6. Honda Goldwing

Existe una pequeña cantidad de motocicletas con este tipo de motor, ya que son de una categoría lujosa como es la Honda Goldwing (Figura 1.6), que incluso posee bolsas de aire como seguridad pasiva.

### **Motores de dos cilindros en V**



Figura 1.7. Harley Davidson Sportster 883

Este tipo de motor es muy popular en las motocicletas Harley Davidson (Figura 1.7) cuentan con un sistema de refrigeración por aire. Moto Guzzi, también lo utiliza y es famoso por colocar el motor en posición opuesta al sentido de la marcha. Haciendo que sobresalgan los cilindros.

### **Motores de cuatro cilindros en v**



Figura 1.8. Honda VFR

En la actualidad no existen muchas motocicletas con este tipo de motor, pero existen algunos modelos como es la Honda VFR (Figura 1.8), la desventaja de este tipo de motor es el espacio que ocupa, por lo que se ha visto más útil el uso de motores de cilindros en línea.

## Motores Boxter de dos cilindros



Figura 1.9. BMW R1200 classic

Estos motores son utilizados por la marca BMW y lo utiliza en la mayoría de sus motocicletas deportivas como: R1200 (Figura 1.9), la Boxter Cup, la K1200rs, etc.

## Motores Diesel



Figura 1.10. Cette Track T800 CDI

En el país no se tiene registros de motocicletas a diesel circulando por la calles, pero en otros países si existen, como por ejemplo la Cette Track T800 CDI (Figura 1.10), que es un moto muy popular.

## 1.2.1. MOTORES 4 TIEMPOS- GASOLINA Y DIESEL

En la actualidad debido a la posición ecológica en que se encuentran todos los países del mundo se ha visto conveniente la utilización de motores a gasolina de 4 tiempos en reemplazo a los motores de 2 tiempos debido a que son menos contaminantes.

### 1.2.1.1. FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE 4 TIEMPOS A GASOLINA

El motor a gasolina es tipo alternativo con encendido por chispa en el que se quema una mezcla de aire y combustible.

Durante la combustión se transforma la energía química de la gasolina en energía calorífica. Los conjuntos mecánicos del motor consiguen que la energía térmica o calorífica se transforme en energía mecánica que permite desplazar la motocicleta.

En los motores alternativos, el pistón se desplaza desde la parte más alta, denominada punto muerto superior (PMS) y la parte más baja, punto muerto inferior (PMI). Entre el PMS y el PMI, el cigüeñal realiza un giro de  $180^\circ$ , por lo que un ciclo de trabajo se realiza en cuatro fases o tiempos en dos vueltas del cigüeñal.

Los cuatro tiempos del ciclo (Figura 1.11) en el motor a gasolina son:

- *Primer tiempo:* admisión de gases frescos (mezcla de aire y combustible).
- *Segundo tiempo:* compresión de la mezcla de aire y combustible.
- *Tercer tiempo:* explosión (combustión de la mezcla de aire y combustible).
- *Cuarto tiempo:* escape de los gases quemados.

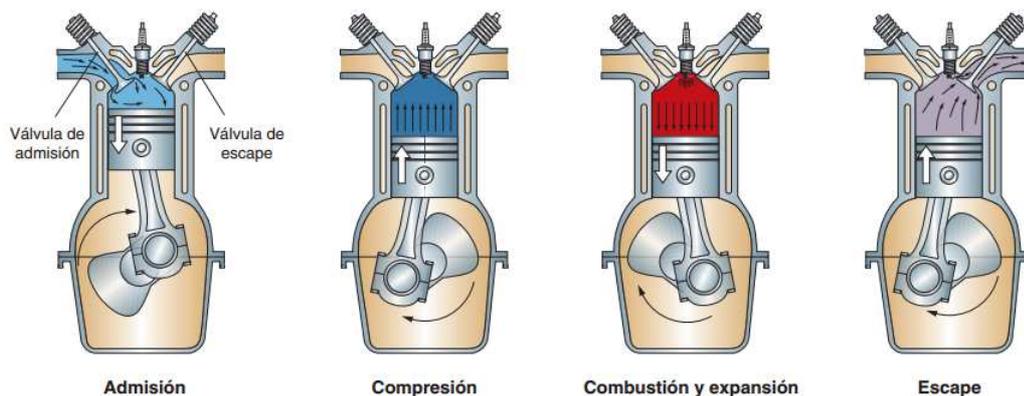


Figura 1.11. Funcionamiento del motor 4 tiempos gasolina

### 1.2.1.2. FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE 4 TIEMPOS A DIESEL

A diferencia del motor a gasolina, no necesita chispa eléctrica para realizar la combustión; es un motor térmico y alternativo cuya combustión se realiza al inyectar el diesel pulverizado a presión en la cámara o precámara.

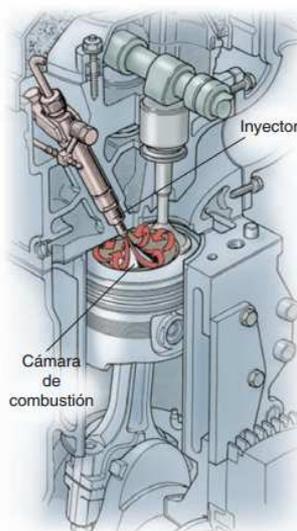


Figura 1.12. Motor diesel

El combustible inyectado (Figura 1.12) a gran presión en la parte superior de la cámara de compresión se atomiza y mezcla con el aire que se encuentra a alta temperatura y presión, debido a ello, la mezcla, se quema muy rápidamente ocasionando la expansión del gas contenido en la cámara e impulsa el pistón desde el punto muerto superior hacia el punto muerto inferior.

### 1.2.2. MOTORES 2 TIEMPOS

Este tipo de motor por su ligereza y costo, es ideal para motocicletas y vehículos de poca cilindrada.

Es un motor muy ligero, ya que, elimina gran parte de los elementos del motor de cuatro tiempos, entre ellos, los mecanismos de distribución.

El motor de 2 tiempos realiza su ciclo de trabajo en dos carreras del pistón (360°). Cada vez que el pistón alcanza el punto muerto superior se produce el encendido de la mezcla, por tanto, el pistón realiza un tiempo en la parte superior y otro tiempo por la inferior (Figura 1.13).

Los motores de dos tiempos no tienen válvulas, la entrada y salida de gases se realiza por lumbreras (aperturas en el cilindro que el pistón cierra y abre al desplazarse).

**Primer tiempo** el pistón sube desde el punto muerto inferior (PMI) al punto muerto superior (PMS) produciéndose el encendido antes de alcanzar el PMS, en la parte superior del pistón realiza la compresión y en la inferior se introduce la mezcla de combustible y aire en el cárter.

**Segundo tiempo**, el pistón se desplaza desde el punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI), los gases producidos durante la combustión se expanden empujando el pistón y descargando los gases quemados por la lumbrera de escape, en la parte inferior del pistón.

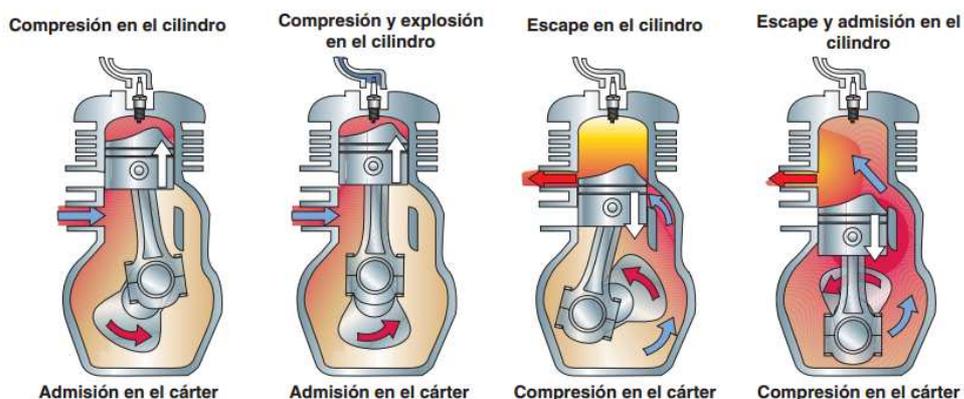


Figura 1.13. Ciclo de trabajo teórico del motor dos tiempos.

La mezcla entra en la parte alta del cilindro por la lumbrera de transferencia y se comprime en el cárter. El rendimiento de este motor es inferior al de 4 tiempos, ya que, la compresión no es enteramente efectiva hasta que el pistón cierra las lumbreras de transferencia y de escape durante su recorrido ascendente. Además, parte del volumen de mezcla sin quemar se pierde por la lumbrera de escape con los gases resultantes de la combustión.

Ventajas de los motores de 2 tiempos

- El motor de dos tiempos no precisa válvulas ni de los mecanismos que las gobiernan, por tanto es más liviano y de construcción más sencilla, por lo que resulta más económico.
- Pueden operar en cualquier orientación, ya que, el cárter no almacena lubricante.

Inconvenientes de los motores de 2 tiempos

- Este motor consume aceite, ya que, la lubricación se consigue incluyendo una parte de aceite en el combustible. Este aceite penetra con la mezcla en la cámara de combustión y se quema pudiendo producir emisiones contaminantes y suciedad dentro del cilindro que en el caso de afectar a la bujía, impidiendo el correcto funcionamiento.
- Durante la fase de potencia, parte del volumen de mezcla sin quemar (mezcla limpia), se pierde por la lumbrera de escape junto a los gases resultantes de la combustión provocando no solo una pérdida de rendimiento, sino más emisiones contaminantes.

### **1.3. MOTOCICLETA ELÉCTRICAS EN EL MUNDO**

Las motocicletas eléctricas se han ido desarrollando a partir del año 1900 aproximadamente, su evolución ha sido bastante rápida en los últimos años en el aspecto de motores y su control de velocidad, debido a los

avances tecnológicos, varias casas productoras de vehículos y motocicletas ha puesto interés en fabricar este tipo de medio de transporte.

La motocicleta eléctrica tiene un limitante como todos los vehículos eléctricos, que es la autonomía, debido a las baterías, ya que se dispone aún de baterías de baja densidad energética.

Entre las motocicletas eléctricas más populares tenemos a KTM, BMW y ZERO, quienes han invertido millones de dólares en desarrollar nueva tecnología, y nuevas baterías con una gran densidad energética.

## KTM



Figura 1.14. Motocicleta eléctrica KTM

El fabricante austríaco KTM tiene su motocicleta eléctrica, la E-SPEED (Figura 1.14). Con la E-SPEED, KTM dio sus primeros pasos en el campo de las motos eléctricas.

La motocicleta deportiva E-SPEED presenta una tecnología de propulsión eléctrica, compuesta por un motor síncrono que ofrece una potencia de casi 15 CV y un par de 36 Nm y puede alcanzar una velocidad de hasta 85 km/h.

La energía se almacena en un conjunto de avanzadas baterías de iones de litio con una capacidad de 4.36 kWh y se cargan completamente en dos horas en una toma de corriente de 220 V.

## **BMW**



Figura 1.15. Motocicleta eléctrica BMW

BMW desarrolla sus modelos de motocicletas eléctricas (Figura 1.15) con la mejor tecnología, el motor eléctrico es de última generación que se encuentra ubicado muy cerca del eje, por lo tanto tiene muy pocas oscilaciones al trabajar la suspensión. La refrigeración es por líquido, la transmisión final por medio de una correa dentada y piñón planetario.

La potencia nominal es de 11 kW y una potencia máxima de 35 kW. Está limitado a una velocidad máxima de 120 km/h con una autonomía mínima de hasta 100 kilómetros.

La batería es de alta tensión y gran capacidad (8 kWh) de la marca Samsung, con un innovador procedimiento de refrigeración por aire y un sistema inteligente de recuperación de energía durante las fases de deceleración y frenado. Su cuerpo principalmente está conformado por las baterías (Figura 1.16). Su peso es aproximadamente de 260 kg.



Figura 1.16. Chasis de la Motocicleta eléctrica BMW

## ZERO



Figura 1.17. Motocicleta eléctrica ZERO

Zero es una de las empresas con más futuro en el panorama “moto-eléctrica”. Tienen una gama amplia de modelos con diseños propios que poseen el chasis de aluminio más ligero de la industria de motocicletas.

Como por ejemplo la Zero Streetfighter se trata de una motocicleta ligera con una capacidad de batería, 6 Kwh ó 9 Kwh. Su precio aproximado es de 12.000 dólares y cuenta con una autonomía de 122Km en ciudad, con

una aceleración similar a una motocicleta a gasolina, desplazándose en silencio absoluto y con la ventaja que su motor es de par constante.

Zero emplea miles de dólares en desarrollo de tecnología, pero más aún en cómo mejorar la autonomía, desarrollando baterías con mayor densidad energética.

La Zero Streetfighter (Figura 1.18) es la motocicleta eléctrica más comprada en la zona urbana de países como Estados Unidos y España, etc.



Figura 1.18 Motocicleta eléctrica Zero Streetfighter

### 1.3.1. EFICIENCIA DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Es la relación entre la energía entregada por la máquina y la energía contenida en el combustible.

$$Eficiencia = \frac{Energía\ entregada\ por\ el\ motor}{Energía\ Química\ recibida\ del\ combustible} \quad 1.1$$

La eficiencia de los motores de combustión interna como el de queroseno, es del 20%, los motores a gasolina, es del 25 a 30% y de los motores diesel, es del 30 a 35%. Aproximadamente la eficiencia de los motores de combustión externa (máquinas de vapor) es de 10%.

La eficiencia de una máquina variará considerablemente con el diseño, ajustes y condiciones de operación.

Esto indica por ejemplo, para el motor a gasolina, que de 100 unidades de energía contenida en la gasolina, solamente 25 unidades se utilizan para producir movimiento y el 75 % restante se pierde.

Las pérdidas más importantes <sup>[2]</sup> son:

- 68% se pierde en los gases de escape, por la imposibilidad del aprovechamiento posterior de la expansión de los gases en el cilindro.
- 1,5% se pierde por la demora en el quemado, lo cual aumenta la temperatura de expulsión de gases.
- 1,6% por pérdidas directas de calor de los gases en el cilindro.
- 1,0% por pérdidas de mezcla y soplado, lo cual redundará en un aumento de la temperatura de los gases de escape.

#### **1.4. ORIGEN DEL PROYECTO**

Ante el constante crecimiento del parque automotor en la ciudad de Quito, se ha visto indispensable utilizar otro tipo de energía para mover los vehículos como también motocicletas. A principios del siglo XX, tres tipos de automóviles competían por el mercado: eléctricos, a vapor y a gasolina; sin embargo, en poco más de una década los automóviles a gasolina dominaron los próximos 100 años.

En la actualidad, los medios de transporte son los responsables del 50% de la contaminación total del planeta, esta cifra muestra el gran problema que presenta la contaminación ambiental.

---

<sup>2</sup> GILARDI, JAIME. Motores de combustión interna. Primera edición. Costa Rica. IICA. pp 45-44

Con el uso de medios alternativos de energía para el sistema de transporte se pueden reducir notablemente los índices de contaminación.

En la actualidad la mayoría de vehículos están diseñados para ser alimentados por un determinado combustible derivados del petróleo, estos vehículos tienen una limitación, la cual implica que si algún día llega a escasear este combustible, los vehículos que se movilizan a base de este recurso no podrán usarse de ninguna otra forma; para aplacar este inconveniente hoy en día se considera fundamental el uso de energías renovables.

Es muy común ver en nuestras calles como circulan vehículos con motor diesel arrojando una gran cantidad de humo negro y motores a gasolina que al pasar no sólo humean sino que también dejan un fuerte olor a combustible que incluso es irritante para nuestros ojos, estas evidencias no solo muestran una elevada cantidad de gases tóxicos en el ambiente, sino también una mala regulación del sistema de alimentación de estos vehículos.

Por lo que se deduce que de elevar el control por parte de las autoridades, se puede disminuir no solo la contaminación ambiental sino también dar un mejor uso al combustible disponible, pues un sistema de alimentación en mal estado trae consigo un consumo de combustible elevado.

#### **1.4.1. CONSUMO Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN QUITO**

En Quito el consumo promedio anual en galones de diesel automotriz es de 80 millones y de gasolina es de 150 millones.

Arrojando los siguientes resultados de contaminación ambiental en la ciudad de Quito.

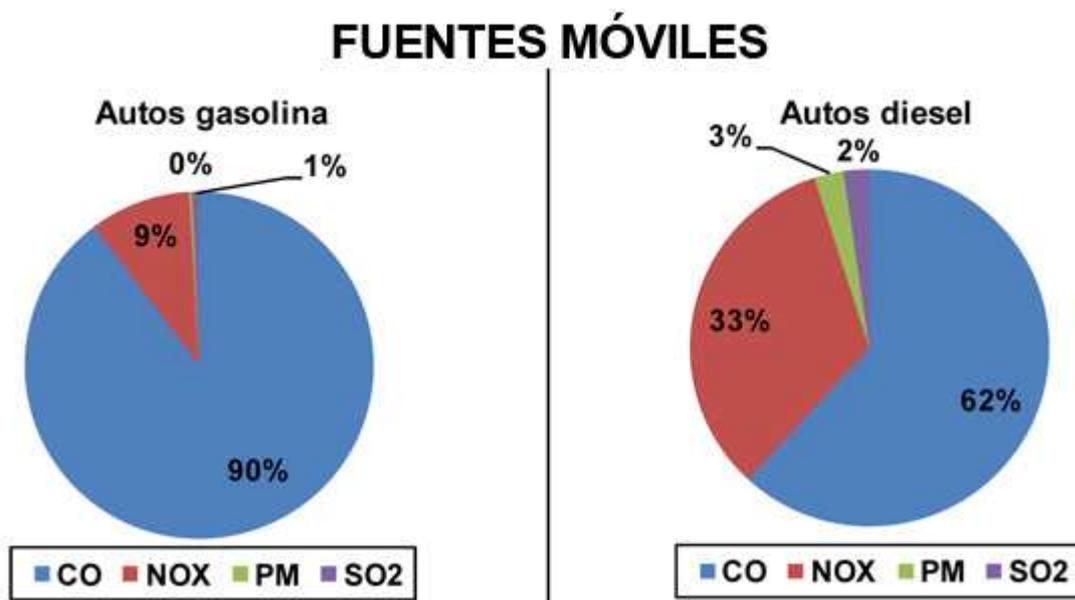


Figura 1.19. Contaminación en Quito <sup>[3]</sup>



Figura 1.20. Contaminantes en la ciudad de Quito <sup>[4]</sup>

Datos de la contaminación en Quito <sup>[5]</sup>:

- El 70% de la contaminación por  $\text{NO}_2$  es emitida por fuentes móviles y el 30% restante por diversas fuentes.
- El 90% de la contaminación por Monóxido de Carbono es emitida por fuentes móviles y el 10% restante por diversas fuentes.
- El 50% de  $\text{CO}_2$  de la contaminación de  $\text{SO}_2$  es emitida por fuentes móviles. Aquí también pesa el combustible de industrias (búnker), estas genera más material particulado que el diesel.

<sup>3,4,5</sup> <http://especiales.elcomercio.com/2012/06/contaminacion/>

## Monóxido de carbono

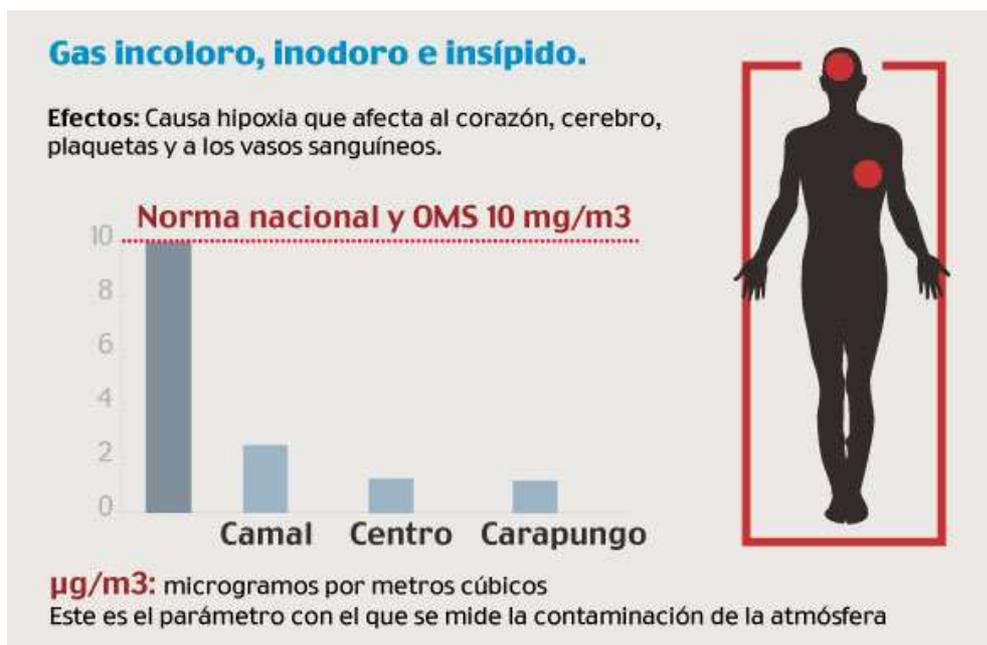


Figura 1.21. Monóxido de carbono <sup>[6]</sup>

## Dióxido de Azufre

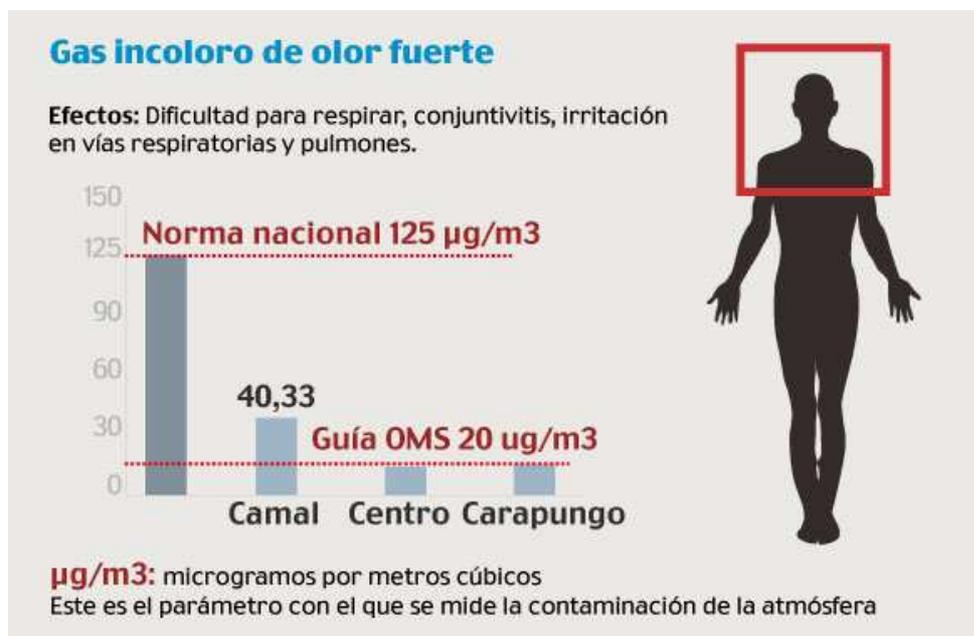


Figura 1.22. Dióxido de Azufre <sup>[7]</sup>

<sup>6,7</sup> <http://especiales.elcomercio.com/2012/06/contaminacion/>

## Dióxido de Nitrógeno

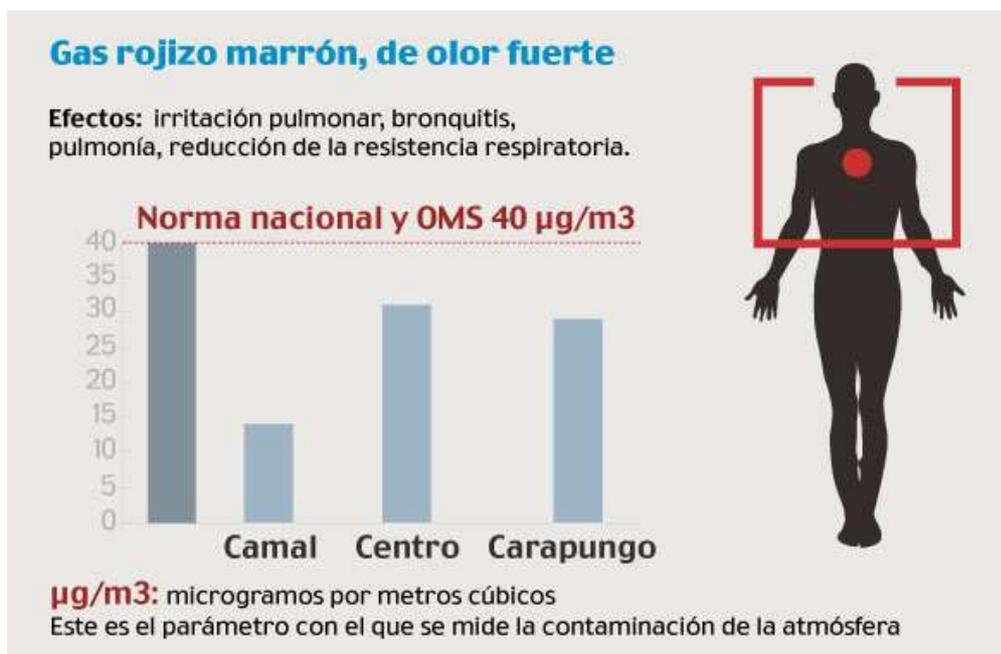


Figura 1.23. Dióxido de Nitrógeno <sup>[8]</sup>

## Benceno

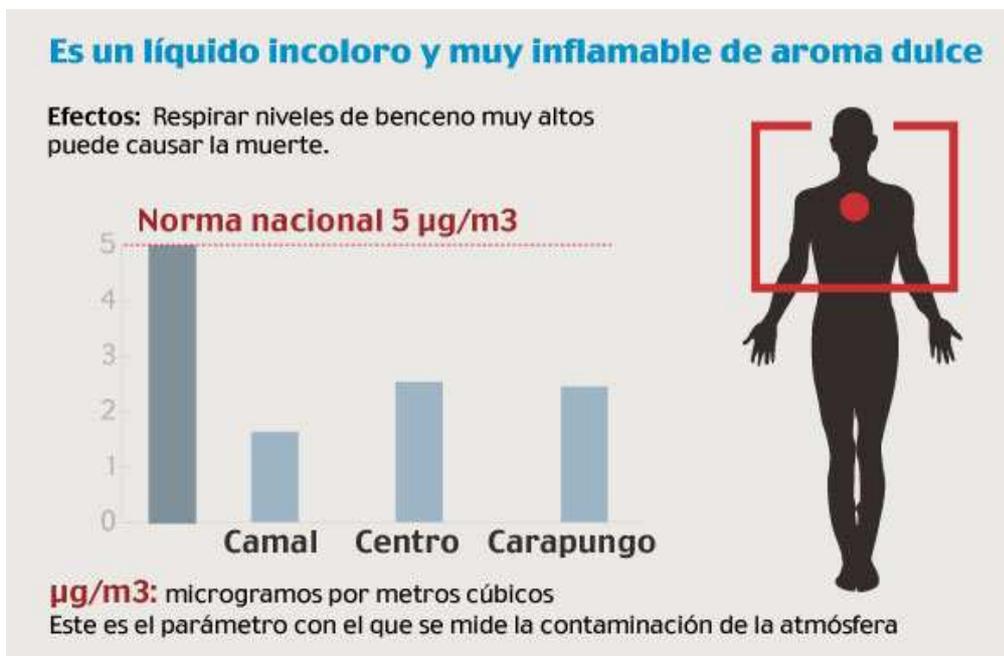


Figura 1.24. Benceno <sup>[9]</sup>

<sup>8,9</sup> <http://especiales.elcomercio.com/2012/06/contaminacion/>

## Ozono

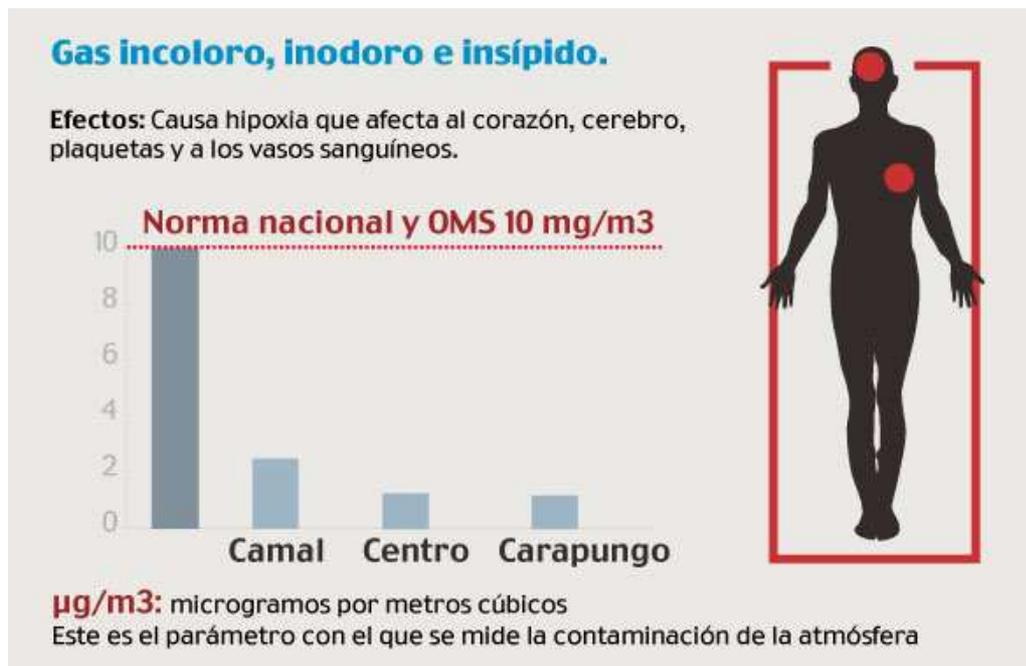


Figura 1.25. Ozono <sup>[10]</sup>

## Material Particulado

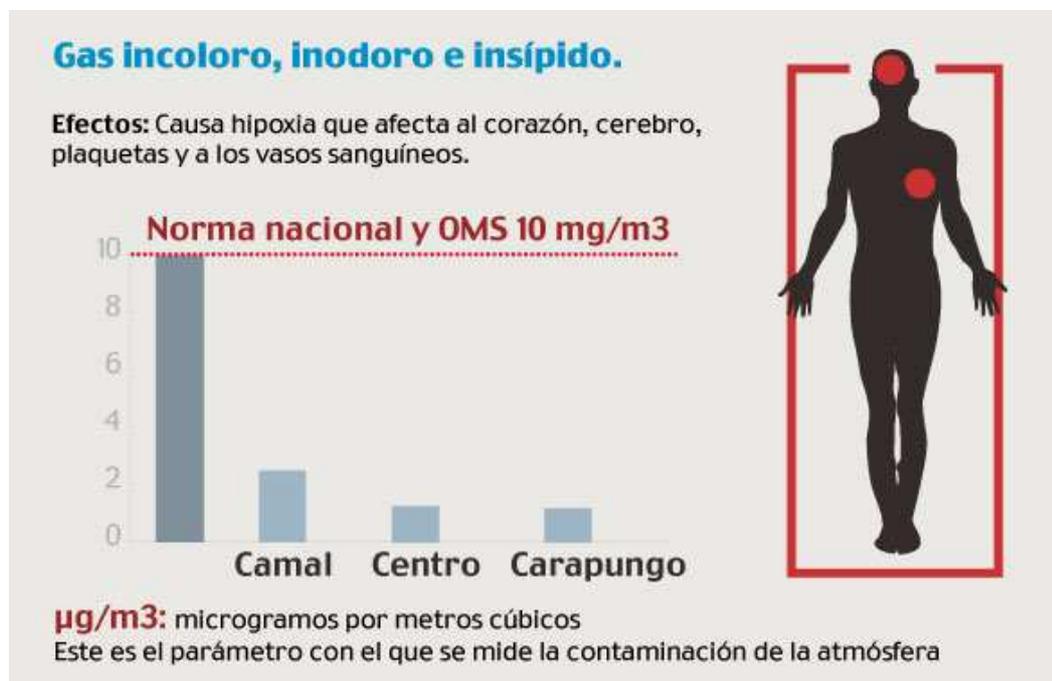


Figura 1.26. Material Particulado <sup>[11]</sup>

<sup>10,11</sup> <http://especiales.elcomercio.com/2012/06/contaminacion/>

## **1.5. INICIATIVAS CIENTÍFICAS SOBRE EL USO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

A principios de siglo nació el interés por los vehículos eléctricos, debido al incremento de los costos de los combustibles fósiles y su dependencia en los países más poderosos del mundo, junto con la reciente atención sobre el daño climático creado por los motores de combustión interna.

Los vehículos a gasolina son catalogados como fuente principal de contaminación del aire. Recientes estudios sitúan a Quito como una de las ciudades con los más altos índices de contaminación en Suramérica.

Los vehículos que se desarrollen de ahora en adelante deberán ser propulsados por una forma de energía de fácil distribución.

La única forma de energía que reúne esta condición es la electricidad, ya que, cualquier persona dispone de energía eléctrica en su domicilio, especialmente en áreas urbanas y suburbanas.

Utilizar medios de transporte eléctricos es una opción para combatir el problema de la contaminación, su funcionamiento es conveniente porque son silenciosos y no necesitan mantenimientos periódicos donde se incluyen cambios de aceite, etc.

Siendo el caso que exista un uso masivo de los vehículos eléctricos, en principio no obligaría a incrementar rápidamente la capacidad de generación eléctrica, ya que sus baterías se podrían cargar de noche, cuando la demanda de energía eléctrica disminuye.

Existen varias formas de cargar las baterías con mínimo impacto ambiental, una de estas formas es la carga solar, es decir, usar celdas fotovoltaicas para convertir la energía solar en energía eléctrica. Estas celdas pueden estar instaladas en el automotor o también pueden ser desmontables, dependiendo de las necesidades.

En países como Suiza, Alemania, Francia e Italia existe una red de energía solar llamada “Park & Charge” que utiliza el concepto de estaciones públicas para cargar los vehículos eléctricos.

El vehículo eléctrico “Jamais Contente” fue creado por el francés Jénatzy en 1889 con el cual pudo superar la barrera de los 100 kilómetros por hora. Consiguiendo en ese año dar los primeros pasos en la utilización de la energía eléctrica en vehículos.

En los países con mayor índice de transporte colectivo como trenes, tranvías, trolebuses y subterráneos, fueron los primeros en hacer la transformación de motor de combustión a eléctrico de forma masiva, esto gracias a que toda la energía eléctrica que usan estos transportes es mucho más barata y no tienen impacto en el ambiente.

Entre las ventajas más significativas que tienen los motores eléctricos con respecto a los motores de combustión interna, tenemos:

- Contaminación nula, ya que, no genera gases de escape.
- Sistema mecánico simple.
- Torque constante (incluso en el arranque).
- Alta eficiencia.
- Ruido nulo.
- No necesita mantenimiento y su costo de operación es bajo.
- Se pueden acoplar varias fuentes de energía renovable para mejorar su autonomía.

### **1.5.1. USO DE MOTOCICLETAS ELÉCTRICAS A NIVEL MUNDIAL**

La movilidad y el medio ambiente han mejorado en las principales ciudades de Estados Unidos, Europa, Asia, y pocos países de América Latina, gracias al uso motocicletas y vehículos eléctricos, cubriendo sus

necesidades de transitar en ciudades con altos niveles de congestión, a pesar de las limitaciones que tienen técnicamente como su autonomía, debido a la baja densidad energética de sus baterías. Alrededor del 60% de personas de estas ciudades se desplazan aproximadamente 60 km diarios a su lugar de trabajo, en un todo terreno, camioneta o furgoneta, consumiendo una gran cantidad de combustibles fósiles y emanando sustancias contaminantes al medio ambiente.

El uso de motocicletas eléctricas es una solución a la congestión de las grandes ciudades, aunque no se poseen datos de cuantas motocicletas y vehículos eléctricos se encuentran rodando alrededor del mundo, se puede dar un ejemplo, en España (Figura 1.27) se matricularon 171 motocicletas eléctricas hasta febrero del 2013, siendo una cifra alentadora del crecimiento del parque automotor de vehículos eléctricos.



Figura 1.27 Motocicletas eléctricas en España

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTUDIO DE CONVERSIÓN DE MOTOCICLETA A GASOLINA EN ELÉCTRICAS.**

El convertir una motocicleta a gasolina en eléctrica, implica un estudio y análisis de factores: físicos, mecánicos y eléctricos, mediante los cuales se puede realizar la conversión de la motocicleta.

- El estudio físico, involucra el análisis mediante la ecuación propuesta por la segunda ley de Newton, modificándola de tal manera que se ajuste a la realidad de la motocicleta y así determinar la potencia requerida por el motor.
- El estudio Mecánico, implica un análisis resistencia aerodinámica, resistencia por rodadura, además del cálculo de resistencia de materiales y diseño de elementos de máquina, componentes necesarios para la conversión.
- El estudio eléctrico, con el que se puede determinar la cantidad necesaria de energía proveniente de las baterías y nuevas conexiones eléctricas necesarias para la conversión.

Las motocicletas eléctricas aumentan su popularidad a medida que aumentan los precios de los combustibles fósiles.

Aunque el gran inconveniente de las motocicletas eléctricas son las baterías, la tecnología va mejorando continuamente haciendo más práctico este medio de transporte.

Ventajas de un motor eléctrico sobre uno a gasolina:

- Los costos de combustible para el motor eléctrico son aproximadamente el 20% del motor a gasolina

- Las motocicletas eléctricas son prácticamente silenciosas.
- Las motocicletas eléctricas no emiten contaminantes.
- No se necesitan viajes a la gasolinera. Se pueden recargar en casa.
- Mantenimiento reducido y económico, como por ejemplo, no es necesario cambiar el aceite.

Inconvenientes:

- Gasto inicial de conversión.
- Menor autonomía en comparación a una motocicleta a gasolina.
- Menor velocidad máxima.

Prototipo involucrado en la conversión:



Figura 2.1. Motocicleta Suzuki Ax100

La motocicleta (figura 2.1) es una Suzuki Ax100 del año 2009, matriculada en Ecuador, en excelente estado.

## Ficha técnica

Ficha técnica	
<p><b>Dimensiones y peso</b></p> <p>Largo total - 1865 mm            Ancho total - 725 mm            Alto total - 1050 mm            Distancia entre ejes - 1215 mm            Distancia al piso - 140 mm            Altura del asiento - 780 mm            Peso seco*** - 86 kg            Peso neto** - 94 kg</p> <p><b>Chasis, capacidades y otros</b></p> <p>Rin delantero - Rin de rayos            Rin trasero - Rin de rayos            Tanque de gasolina            incluida reserva - 12 litros            Reserva - 2 litros            Potencia* - 10.0 CV / 7500 rpm            Torque* - 0.97 kg-m / 6500 rpm            Consumos* - 32 km/l</p>	<p><b>Motor y transmisión</b></p> <p>Tipo de motor - Dos tiempos enfriado por aire            Número de cilindros - 1 cilindro            Diámetro por carrera - 50.0 mm x 50.0 mm            Desplazamiento - 98 cm<sup>3</sup>            Relación de compresión - 6.6 : 1            Carburación - MIKUNI VM20SS            Sistema de lubricación - Suzuki CCI            Embrague - Disco múltiple húmedo            Transmisión - 4 velocidades            Patrón de cambios - 4 abajo            Cadena transmisión final - Cadena D.I.D. 428D 112 eslabones            Suspensión delantera - Telescópica hidráulica con resorte            Suspensión trasera - Basculante con doble amortiguador, ajustable de 5 posiciones            Frenos delanteros - Tambor            Freno trasero - Tambor            Llanta delantera - 2.50-18 4PR            Llanta trasera - 2.75-18 4PR            Llanta trasera - 2.75-18 4PR</p>

Tabla 2.1. Ficha técnica Suzuki Ax 100 <sup>[12]</sup>

## 2.1. MOTORES ELÉCTRICOS

Estos motores son dispositivos que transforman la energía eléctrica en mecánica, mediante campos electromagnéticos. El motor es la parte central de las motocicletas eléctricas, existen una gran variedad de motores, de diferentes potencias y tamaños.

Los motores eléctricos tienen una eficiencia entre el 85 y 90%. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en eléctrica funcionando como generadores.

Los motores eléctricos son muy utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares.

Además pueden ser empleados para el transporte público (trolebús y vehículos híbridos).

<sup>12</sup> MANUAL DE USUARIO - Suzuki Ax100

## Ventajas

En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión:

- A igual potencia, su tamaño y peso son más reducidos.
- Tiene un torque elevado prácticamente constante, según el tipo de motor.
- Al tener el torque máximo prácticamente a cero revoluciones por minuto se descarta la utilización de la caja de cambios.

Con el objetivo de visualizar los diferentes tipos de motores eléctricos, (ver Figura 2.2) se presenta el árbol genealógico de los motores eléctricos de corriente continua.

Al ser la motocicleta eléctrica un vehículo pequeño de bajo costo lo más recomendable es emplear motores de corriente continua.

No se han incluido tipos de motores particulares, pues bien su aplicación está reducida o son empleados en casos específicos.

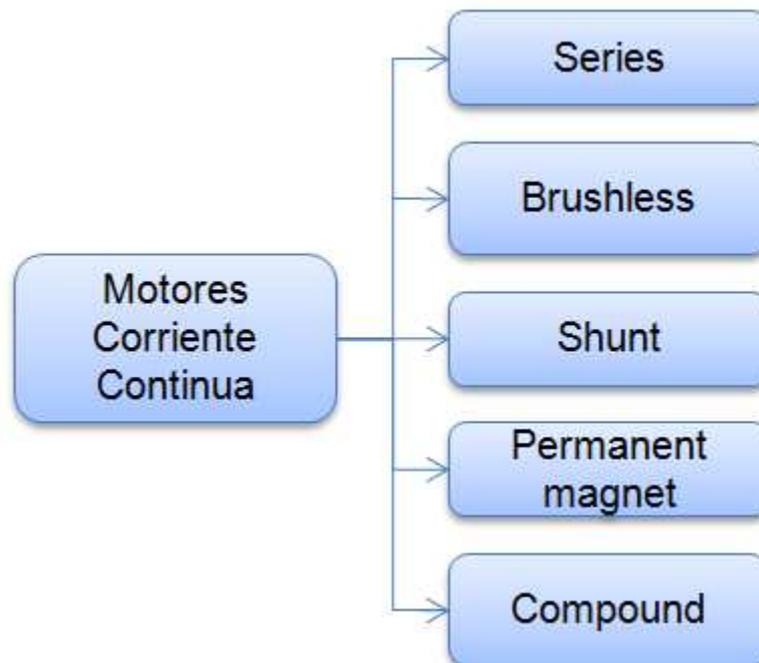


Figura 2.2. Tipos de motores de Corriente continua.

Los motores de corriente continua pueden considerarse como motores de ajuste fino y control preciso de la velocidad, por lo que son ampliamente utilizados en aplicaciones que exigen tales características.

Los motores de corriente continua últimamente pasaron a constituir una alternativa más atractiva en una serie de aplicaciones, gracias al avance electrónico que ha logrado conseguir motores más eficientes y potentes en tamaños reducidos.

### 2.1.1. MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA PARA MOTOCICLETAS ELÉCTRICAS

Estos motores son los más popularmente empleados en motocicletas eléctricas, este tipo de motor desarrolla un alto torque a bajas revoluciones (Figura 2.3), por esta razón este tipo de motor ha sido el más utilizado.

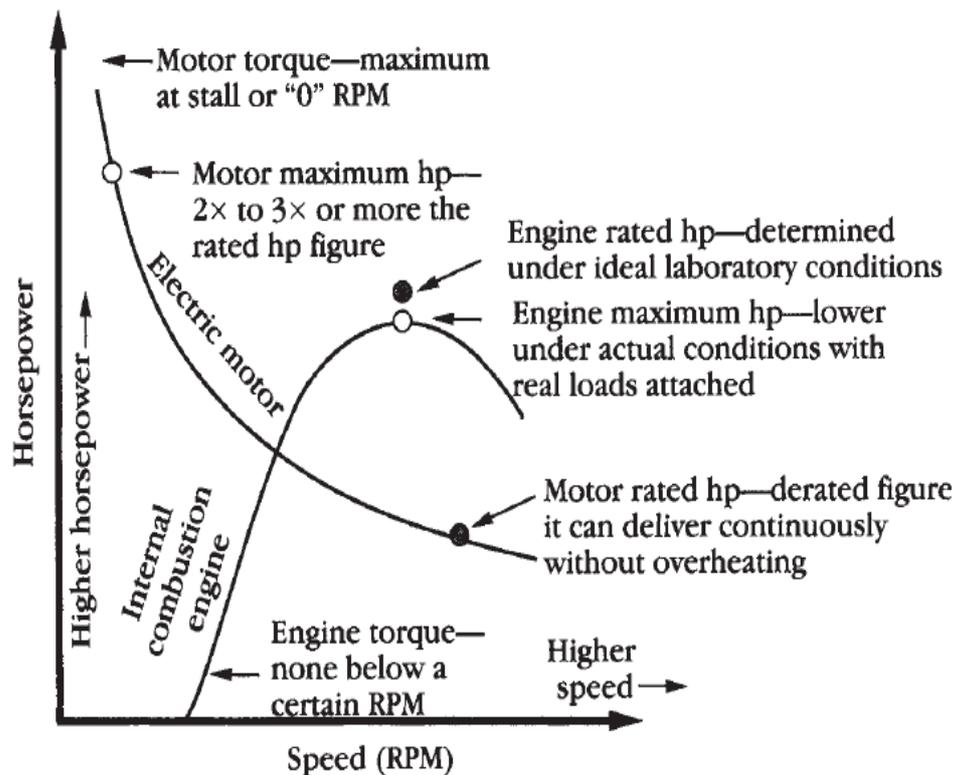


Figura 2.3. Comparación entre motores de combustión interna y eléctrico. <sup>[13]</sup>

<sup>13</sup> VOGEL, CARL. Build your own electric motorcycle. First Edition. McGraw-Hill

## Motores tipo Serie



Figura 2.4. Advanced DC BL-4001 series motor

El motor tipo Serie (Figura 2.4) es el más seleccionado para motocicletas eléctricas, porque desarrolla un gran torque en bajas revoluciones. El motor tipo Serie, adquiere el nombre porque su devanado de campo está conectado en serie con el inducido.

La corriente debe fluir a través de los devanados de campo y por la propia armadura. Como resultado, la corriente de campo y la corriente de armadura son iguales.

La mayor desventaja de este motor es la velocidad, cuando el motor está conectado y sin carga la velocidad del motor puede aumentar hasta el punto de dañar el motor.

Una ventaja de este motor es que puede invertir su sentido de giro cambiando la polaridad de la fuente, además este puede actuar como generador y puede ser utilizado para cargar las baterías.

## Motor tipo Shunt



Figura 2.5. Típico motor Shunt.

El motor Shunt (Figura 2.5) es de similar construcción que el motor tipo Serie, con excepción que este tiene devanados de campo y de armadura en conexión paralelo.

El motor está conectado en paralelo con el inducido, en lugar de en serie, puesto que el campo devanado se coloca en paralelo con el inducido, se llama un devanado en derivación.

El motor Shunt tiene características de funcionamiento algo diferente a los motores de tipo Serie. Posee alta resistencia eléctrica, por lo que no puede manejar una gran cantidad de corriente de excitación. Esto significa que el motor Shunt desarrolla bajo torque.

Con un bajo torque de arranque, tendrá que disminuir la carga del eje. La dirección de rotación de un motor Shunt de corriente continua puede ser invertida al cambiar la polaridad de cualquier bobina de la armadura o del campo.

El motor Shunt puede funcionar como un generador. De hecho, la mayoría de generadores son en derivación o también conocidos como Shunt.

## Motor Tipo Compound

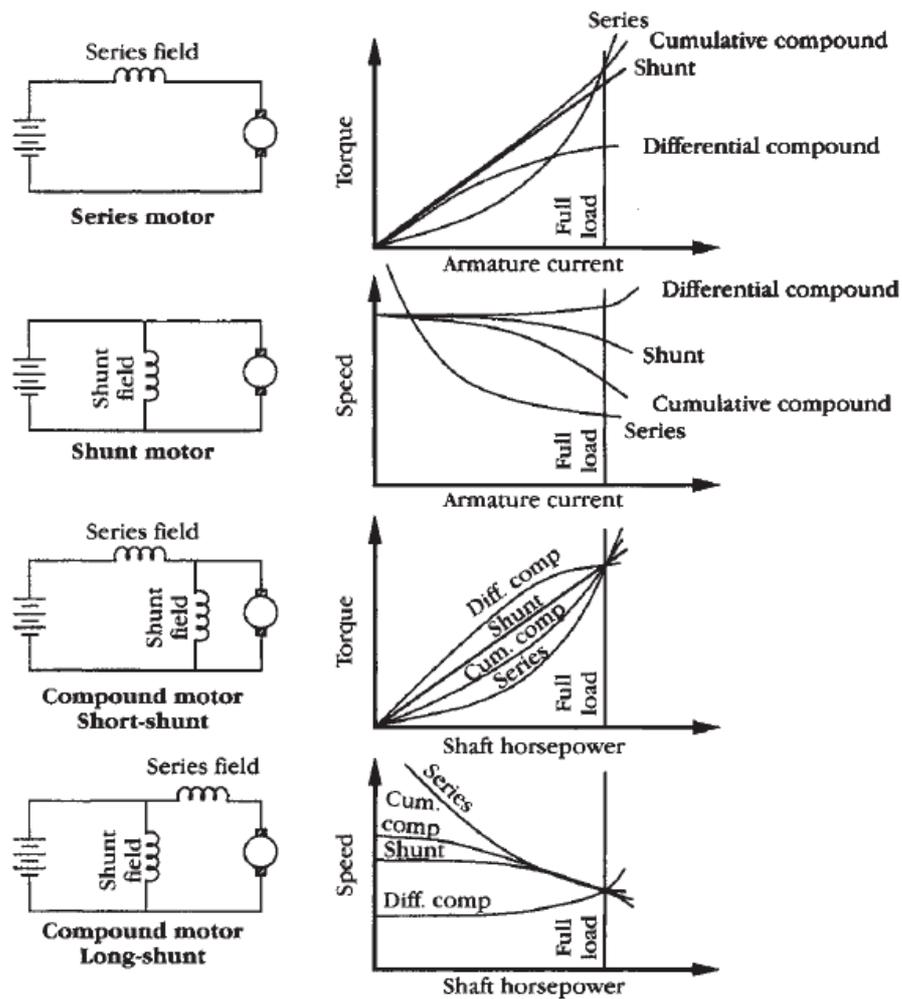


Figura 2.6. Curva característica de un motor Serie y un Compound

El motor tipo Compound es una combinación entre un motor de tipo Shunt y un motor tipo Serie (Figura 2.6), combinando características de ambos, obteniendo una característica híbrida.

El motor de corriente continua Compound tiene mayor torque que un motor Shunt, debido a la conexión en serie en el campo. Además, tiene velocidad constante debido al devanado de campo en derivación.

La velocidad de un motor compound puede cambiar muy fácilmente mediante el ajuste de la tensión aplicada a la misma.

Cada tipo de motor Compound puede invertir su sentido de giro cambiando la polaridad del devanado del inducido.

## Motor de imán permanente

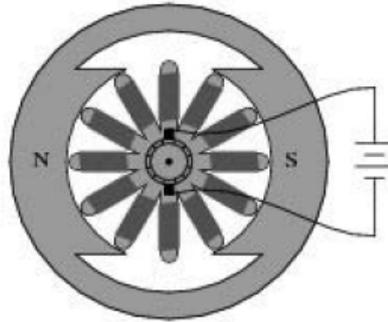


Figura 2.7. Motor básico de corriente continua – Imán permanente.

El motor de imán permanente representa la simplicidad de un motor eléctrico (Figura 2.7), donde el imán permanente produce un flujo magnético con una pequeña masa, los imanes son hechos a base de samarian y neodymium.

Este tipo de motor ha variado gracias a los avances tecnológicos que lo han hecho con nuevos y mejores materiales en su circuito magnético, llegando a ser un motor pequeño, ligero y muy potente, además de tener propiedades de similar velocidad, torque, reversibilidad y frenado regenerativo que un motor tipo Shunt.

## Motor Brushless

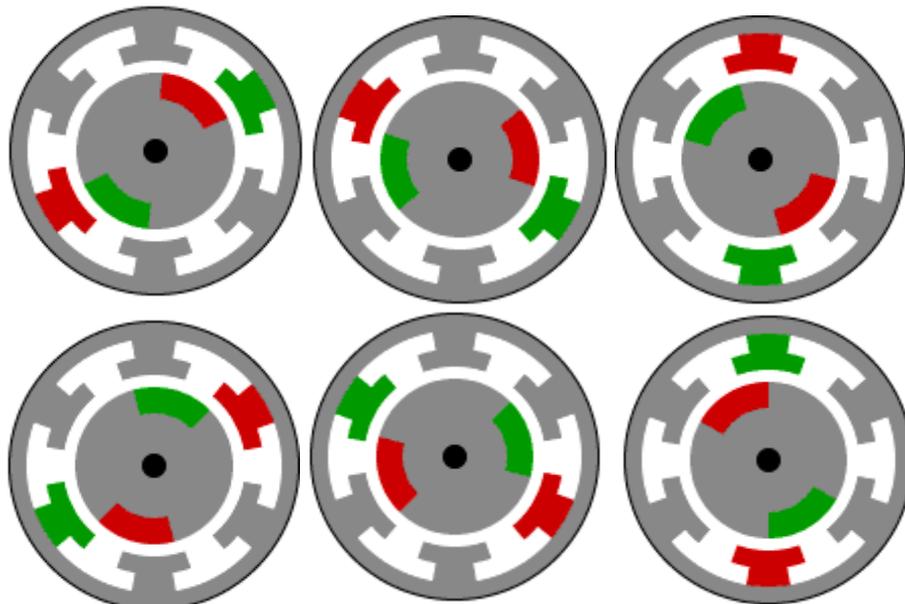


Figura 2.8. Motor Brushless principio de funcionamiento

El motor sin escobillas (Brushless - BLDC) (Figura 2.8) es conocido como: imán permanente sin escobillas, de imanes permanentes - motores de corriente alterna, motores síncronos de imanes etc. Esta confusión surge porque un motor DC sin escobillas no opera directamente desde una fuente de tensión de corriente continua.

Un BLDC tiene un rotor con imanes permanentes y un estator con bobinado, las escobillas y el colector han sido eliminados, los devanados están conectados a la electrónica de control, dicha electrónica reemplaza la función de energizar el devanado adecuado.

El devanado se energiza en un patrón que gira alrededor del estator. El estator devanado energizado lleva al imán del rotor, y conmuta al igual que el rotor que se alinea con el estator.

Las escobillas de un motor de corriente continua tienen varias limitaciones, ruido, limitada vida del colector, limitada velocidad máxima, entre otras. Los motores BLDC son potencialmente más limpios, más rápidos, más eficientes, menos ruidosos, más fiables y no producen chispas. Sin embargo, el motor BLDC requiere control electrónico.

Siendo este el motor BLDC el más apto para motocicletas eléctricas.

## **2.2. BATERÍAS**

Uno de los componentes fundamentales de la motocicleta eléctrica son las baterías ya que estas proveen de energía a todo el sistema.

La batería es un dispositivo electroquímico que transforma energía química en energía eléctrica y viceversa. El proceso de transformación es reversible, lo que significa que la batería puede ser cargada y descargada varias veces.

En las motocicletas eléctricas se sustituye el tanque de combustible por baterías y estas tienen como objetivo almacenar la mayor cantidad de energía en espacios reducidos.

### 2.2.1. TIPOS DE BATERÍAS

Existen varios tipos de baterías que se pueden emplear en las motocicletas eléctricas, entre las cuales se puede mencionar las siguientes:

- Plomo
- Níquel Cadmio
- Níquel Metal Hidruro
- Níquel I Zinc
- Zebra (cloruro de sodio)
- Litio Ion
- Litio Polímero

#### 2.2.1.1. BATERÍAS DE PLOMO



Figura 2.9. Batería de plomo, calcio, plata, ácido

Esta tecnología sigue siendo la más extendida, equipando a numerosos vehículos eléctricos particulares y utilitarios, existiendo diferentes tipos como:

*Plomo-Ácido:* utilizadas sobre todo en los automóviles convencionales como baterías de arranque, además existe una variante de esta batería, la cual

posee adicionalmente calcio y plata, prolongando la vida útil de la batería (Figura 2.9).

*Plomo-Gel:* Estas baterías son libres de mantenimiento, se utilizan mucho en los vehículos eléctricos, siendo el inconveniente el elevado costo.

### 2.2.1.2. BATERÍAS DE NI-CD (NÍQUEL CADMIO)



Figura 2.10. Batería de Níquel Cadmio

Se usaron en los vehículos europeos como: Peugeot, Renault y Citroën sin embargo la comercialización de estas baterías (Figura 2.10) se prohibió a causa de la nocividad del cadmio para el medio ambiente. Su principal característica es que su duración estaba alrededor de los 1000 ciclos de carga.

### 2.2.1.3. BATERÍAS DE NI-MH (NÍQUEL METAL-HIDRURO)



Figura 2.11. Batería de Ni-Mh

Se comercializaron a partir de 1990. Con una duración de aproximadamente 500 ciclos, estas baterías (Figura 2.11) se usan mucho en las bicicletas eléctricas, también se usan en distintos vehículos híbridos. Se caracterizan por ser baterías sin limitante de memoria y gran descarga de energía.

#### 2.2.1.4. BATERÍAS NI-ZN (NÍQUEL METAL-ZINC)



Figura 2.12. Batería de Ni-Zn

Sus características no contaminantes hacen de la batería Níquel-Zinc (Figura 2.12) un potencial competidor de las clásicas baterías de plomo e incluso las de Níquel Cadmio.

Son dos veces más caras que las baterías de plomo pero también ofrece una densidad energética doble comparada a la batería de plomo (80 Wh/kg para la de Ni-ZN y 30 Wh/kg para la de plomo).

#### 2.2.1.5. BATERÍAS ZEBRA (CLORURO DE SODIO)



Figura 2.13. Batería de cloruro de sodio

Su temperatura interna de funcionamiento va desde los 270°C hasta 350°C haciendo de la batería Zebra (Figura 2.13) la que tiene mayores inconvenientes con la disipación de calor. No tiene efecto memoria y ofrece una capacidad energética de 120 Wh/kg.

Se compone de materiales "renovables", sal (NaCl), níquel (cuando la batería esta descargada) y hierro, estos son almacenados al vacío en un contenedor sellado.

### 2.2.1.6. BATERÍAS LITIO-ION



Figura 2.14. Batería de Litio-Ion

Su utilización se extendió con el uso de los ordenadores portátiles y los móviles. Ahora esta tecnología se está empezando a usar en los vehículos eléctricos (Figura 2.14), su descarga es no es limitada en el tiempo y no tiene efecto memoria. Ofrece una densidad energética importante, del orden de 110 a 160 Wh/kg pero su precio es aún muy alto.

### 2.2.1.7. BATERÍAS LI-PO (LITIO-POLÍMERO)



Figura 2.15. Batería de Li-Po

Utilizadas en numerosos prototipos, ésta tecnología se instalará en los vehículos del mañana (Figura 2.15).

Su densidad energética es del orden de 100-110 Wh/kg y su durabilidad puede superar con facilidad los 1000 ciclos. Actualmente ésta tecnología es muy cara.

## 2.3. CONTROLADORES

El controlador es uno de los componentes más importantes conjuntamente con el motor y las baterías dentro de la motocicleta eléctrica, este ha tenido una importante evolución gracias a los avances tecnológicos en electrónica logrando controladores más eficientes y pequeños.

Las funciones del controlador son la regulación de velocidad y el par del motor eléctrico. En un principio el control se logró por medio de dispositivos multiswitching. El objetivo del controlador es limitar el arranque del motor eléctrico, ya que, este puede exigir enorme intensidad eléctrica, tanto como las baterías o la fuente de alimentación se lo permitan.

### 2.3.1. CONTROLADOR MULTISWITCHING

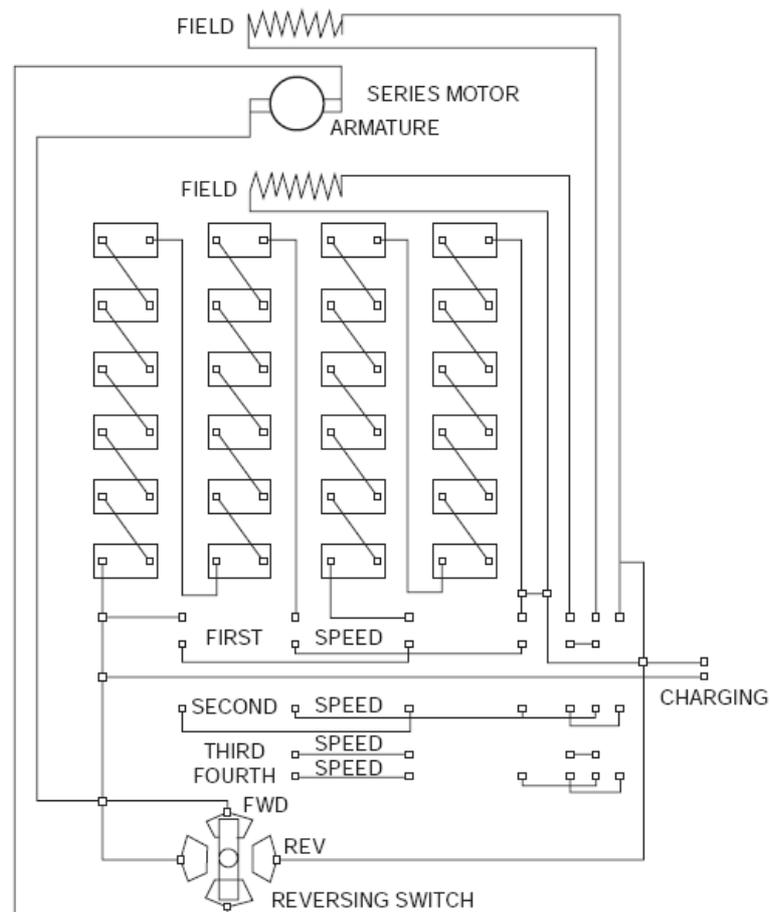


Figura 2.16. Sistema Multiswitching

Este tipo de controlador es el más simple en la limitación de velocidad. El controlador Multiswitching usa filas de baterías separadas por paquetes que suministran diversas tensiones. Por ejemplo, si nos fijamos en un paquete con un total de 120 V este puede ser separado en cuatro secciones, cada sección daría una tensión independiente de 30 V, en un inicio, una sección de baterías está activada, dando 30 V, lo que limita la tensión y la corriente en el comienzo. A medida que el vehículo comienza a desplazarse, otra sección de baterías se conecta añadiendo 30 V, este paquete de cuatro secciones (Figura 2.16) nos indica que el controlador tiene 4 velocidades.

### 2.3.2. CONTROLADORES DE ESTADO SÓLIDO



Figura 2.17. Controlador solido tipo Curtis

La tecnología en controladores ha avanzado a pasos agigantados. A finales de 1960, el rectificador de silicio (SCR) y la técnica de modulación por ancho de pulso fue la que provocó el desarrollo del controlador de estado sólido (Figura 2.17).

Estos productos electrónicos son usados para cambiar rápidamente de encendido a apagado para variar la velocidad del motor.

Los SCR fueron una gran mejora, pero funciona a una frecuencia de conmutación baja, por lo general alrededor de 400 Hz, lo que creó un sonido audible.

A finales de 1970, los moduladores de ancho de pulso fueron avanzando tecnológicamente en el desarrollo de controladores, principalmente de metal-óxido-semiconductor (MOSFET). Esto finalmente dio un funcionamiento de forma suave y eficiente para controlar el motor.

A diferencia de los controladores de SCR, estos suelen operar en 15,000 a 18,000 Hz, así por encima del rango de audición humana.

La frecuencia de conmutación más alta, crea una operación suave del motor. Esto hace que sean silenciosos, generalmente incluyen algún tipo de limitador de corriente para proteger el motor contra daños.

### 2.3.3. MODERNOS CONTROLADORES ELECTRÓNICOS.



Figura 2.18 - Controlador Programable

Hoy en día, el controlador PWM (modulación por ancho de pulso) es típico en la mayoría de los vehículos eléctricos (Figura 2.18). Se enciende y se apaga a velocidades muy altas para controlar la rapidez con que desea ir. Se trata de un dispositivo sólido que utiliza un modulador de ancho de pulso

que envía corto ráfagas de corriente al motor en pulsos a una tasa de 15 kHz. La mayoría de los controladores tienen seguridades por ellos mismos por ejemplo: sobrecorriente y condiciones de sobrecalentamiento, reduciendo la corriente de alimentación o incluso la desconexión temporal si es necesario.

### **Corte por baja tensión**

La mayoría de los controladores actualmente tienen la característica de corte por baja tensión, en algunos controladores, esta función se puede programar. Si se encuentra en una situación en la que el controlador comienza a cortar la energía, rápidamente debe encontrar un lugar seguro para parar y cargar las baterías. Si se encuentra en una situación de emergencia y el vehículo se detiene, la mayoría de baterías, si se deja pasar entre 15 a 20 minutos, volverán a la vida lo suficiente para poder rodar unos pocos kilómetros hasta conseguir un lugar seguro o una toma para poder cargarlas.

### **Sobretemperatura en el controlador**

El corte de energía por sobretemperatura es una característica de todos los controladores como medida de seguridad para no quemar el controlador o peor aún, provocar un incendio eléctrico.

El controlador cambia la frecuencia cuando existe sobretemperatura de 15 a 1 kHz, proporcionando un tono audible, alertando al operador de la sobre-temperatura. Al hacer esto, el controlador reduce la potencia, haciendo que la acumulación de calor alcance límites de funcionamiento normal. Si la temperatura sigue aumentando debido a un enfriamiento inadecuado y alcanza un límite extremo, se apagará completamente como una característica de instinto de conservación. Si el recorte de energía por sobretemperatura se produce con frecuencia en la operación normal del vehículo, el controlador es probablemente insuficiente para la aplicación.

## CAPÍTULO 3

### FASE DE DISEÑO

#### 3.1. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTO DE POTENCIA

El prototipo empleado es una motocicleta Suzuki Ax-100 (Figura 3.1) año de fabricación 2009, con las siguientes características:

- Motor: Mono cilíndrico 2 refrigerado por aire
- Cilindrada: 98 c.c.
- Relación de Compresión: 6.6 : 1
- Potencia Max.: 10 hp a 7.500 rpm
- Torque Max.: 0.99 Kg-m a 6.500 rpm
- Arranque: Patada
- Caja: 4 Velocidades
- Sistema Eléctrico: 6 voltios
- Peso vacío: 82 Kg. En seco
- Velocidad Máxima: 100 Km/h
- Consumo: 120Km/Gl



Figura 3.1. Motocicleta Suzuki Ax 100 año 2009 condición inicial.

El motor a gasolina de 2 tiempos cuenta con una potencia de 10 hp y un torque máximo de 0.99 kg-m, que es suficiente para mover la motocicleta utilizando una caja reductora de velocidad, que tiene las siguientes especificaciones:

SISTEMA DE CAMBIO DE VELOCIDAD	
Embrague	Estilo mojado, múltiples placas
Aparato cambio de velocidad	Cambio rueda dentada de 4 velocidades
Relación velocidad inicial	3.125
Relación velocidad última	3.000
Relación ruedas velocidad 1	2.909
Velocidad 2	1.800
Velocidad 3	1.277
Velocidad 4	0.954
Cadena de transmisión	08MB-1-112 ó producto nacional CHAOHUI 428, 112 eslabones

Tabla 3.1. Especificaciones caja de cambios - Suzuki Ax100

El torque máximo transmitido por el motor a la rueda, es cuando se encuentra en primera la marcha con una relación de transmisión 2,909 @ 6500 rpm (Tabla 3.1).

$$\text{Torque final} = \text{Torque inicial} * \text{relación de transmisión} \quad 3.1$$

$$\text{Torque final} = 0,99. \text{kg} - \text{m} * 2,909 = 2,8799 \text{kg} - \text{m}$$

$$\text{Torque final} = 28,799 \text{Nm}$$

El diámetro de la rueda es de 58 cm, por lo tanto la fuerza máxima para mover la motocicleta es de:

$$\text{Fuerza} = \frac{\text{Torque final}}{\text{distancia}} \quad 3.2$$

$$\text{Fuerza} = \frac{2,88 \text{kgm}}{0,29 \text{m}} = 9,93 \text{kg} = 99 \text{N}$$

### 3.1.1. ANÁLISIS FÍSICO - MECÁNICO DE REQUERIMIENTO DE POTENCIA

Los factores más importantes en el cálculo de requerimiento de potencia son:

- Peso
- Ascenso de pendientes
- La resistencia aerodinámica
- Resistencia a la rodadura
- Sistema de transmisión

### 3.1.1.1. PESO DE LA MOTOCICLETA ELÉCTRICA

En la conversión de la motocicleta eléctrica, el peso es lo más importante, y se debe reducir tanto como sea posible. Sin embargo, en una motocicleta, es difícil reducir el peso, ya que, posee pocos accesorios adheridos al chasis.

### 3.1.1.2. PESO Y ACELERACIÓN

El peso afecta directamente a la aceleración como se menciona en la segunda ley de Newton.

$$F = m * a \quad 3.3$$

F = fuerza

m = masa

a = aceleración

Para propósito de cálculo en motocicletas eléctricas, puede ser reescrita como:

$$F_a = C_i * W * a \quad 3.4$$

F<sub>a</sub> = fuerza (lb)

C<sub>i</sub> = factor de masa

W = peso (lb)

a = aceleración (21,94 mph/s)

C<sub>i</sub>, el factor de masa típicamente empleado en motocicletas es de 1,06 a 1,2<sup>[14]</sup>

### 3.1.1.3. PESO Y ASCENSO DE PENDIENTES

Al ascender una pendiente se genera una fuerza adicional que se debe considerar en los cálculos.

$$F_h = W * \sin (\phi) \quad 3.5$$

---

<sup>14</sup> VOGEL, CARL. Build your own electric motorcycle. First Edition. McGraw-Hill

$F_h$  = Fuerza por ascenso de pendientes (lb)

$W$  = Peso (lb)

$\phi$  = Ángulo de inclinación de la pendiente (ver Figura 3.2).



Figura 3.2. Ángulo de elevación por ascenso de pendientes.

### 3.1.1.4. PESO Y VELOCIDAD

La limitación de velocidad está determinada por varios factores, principalmente por el peso de la motocicleta eléctrica, como se describe en la siguiente ecuación.

$$Hp = \frac{F * V}{550} \quad 3.6$$

$F$  = fuerza (lb)

$V$  = velocidad (pies/segundo)

$Hp$  = caballos de potencia (Horse Power) <sup>[15]</sup>

Demostración de la relación entre peso y velocidad:

$$Hp = \frac{F * V}{550} \quad 3.7$$

$$F = m * a \quad 3.3$$

$$m = \frac{W}{g} \quad 3.8$$

$$a = \frac{Hp * 550 * g}{V * W} \quad 3.9$$

Despejando  $V$

$$V = \frac{Hp * 550 * g}{a * W} \quad 3.10$$

Por lo tanto la velocidad es inversamente proporcional al peso.

---

<sup>15</sup> VOGEL, CARL. Build your own electric motorcycle. First Edition. McGraw-Hill

### 3.1.1.5. PESO Y AUTONOMÍA

El peso afecta directamente a la autonomía de la motocicleta eléctrica, es decir mientras más ligera, más distancia recorre, por lo tanto es necesario eliminar la mayor cantidad de objetos innecesarios.

$$D = V * t \quad 3.11$$

$$D = \frac{Hp * 550 * g}{a * W} * t \quad 3.12$$

### 3.1.1.6. FUERZA POR RESISTENCIA AERODINÁMICA

La mayor fuerza por resistencia aerodinámica empieza aproximadamente cuando se supera los 60 km/h, además se debe considerar el viento contrario a la dirección de la motocicleta eléctrica, con la siguiente ecuación:

$$F_d = \frac{C_d * A * V^2}{391} \quad 3.13$$

$F_d$  = Fuerza por resistencia aerodinámica (Lb) <sup>[16]</sup>

$A$  = Área frontal de la motocicleta (Ft)

$V$  = Velocidad de la motocicleta eléctrica (mph)

$C_d$  = Coeficiente de resistencia aerodinámica

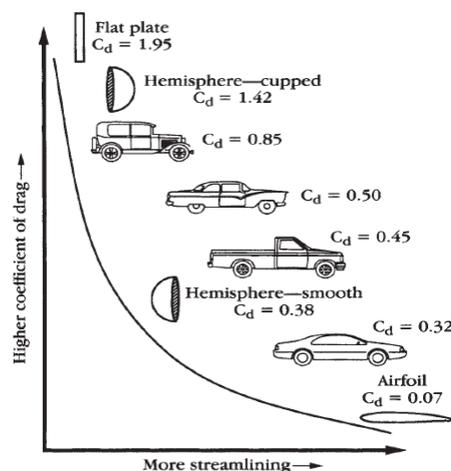


Figura 3.3. Coeficiente de resistencia aerodinámica

<sup>16</sup> VOGEL, CARL. Build your own electric motorcycle. First Edition. McGraw-Hill

El coeficiente de resistencia aerodinámica (Figura 3.3) queda a criterio del diseñador, el rango de variación para una motocicleta es de 0,5 a 1, siendo 0,6 el factor elegido para la motocicleta eléctrica Suzuki Ax 100.

### 3.1.1.7. VIENTO RELATIVO A LA FUERZA AERODINÁMICA

La fuerza relativa debido al arrastre del viento, es generada por la geometría de la motocicleta eléctrica, generando una turbulencia.  $C_w$  es un porcentaje adicional al valor de la fuerza por resistencia aerodinámica.

$$C_w = \left[ 0,98 * \left( \frac{w_1}{V} \right)^2 + 0,63 * \left( \frac{w_1}{V} \right) \right] * C_{rw} - 0,4 * \left( \frac{w_1}{V} \right) \quad 3.14$$

$C_w$  = factor de viento relativo <sup>[17]</sup>

$w_1$  = velocidad del viento (mph)

$C_{rw}$  = coeficiente de viento relativo, para vehículos con bastante turbulencia y motocicletas es 1.6. <sup>[18]</sup>

$V$  = velocidad de la Motocicleta eléctrica (mph)

### 3.1.1.8. RESISTENCIA A LA RODADURA

La resistencia a la rodadura está definida como:

$$F_r = C_r * w * \cos(\phi) \quad 3.15$$

$F_r$  = fuerza por resistencia a la rodadura (Lb)

$\phi$  = ángulo de la pendiente

$C_r$  = factor de resistencia a la rodadura <sup>[19]</sup>; es aproximadamente:

- 0,006-0,01 sobre una superficie dura (hormigón)
- 0,02 en una superficie de dureza media
- 0,30 sobre una superficie blanda (arena)

---

<sup>17,18,19</sup> VOGEL, CARL. Build your own electric motorcycle. First Edition. McGraw-Hill

### 3.1.1.9. EJEMPLO DE CÁLCULO

*Datos para el cálculo*

#### **Peso de la motocicleta (Figura 3.4)**



Figura 3.4. Motocicleta en Balanza digital – peso seco 130kg

Peso del conductor = 70 kg

Peso total 200 kg = 440.925 lb

#### **Área frontal para estudio aerodinámico (Figura 3.5)**

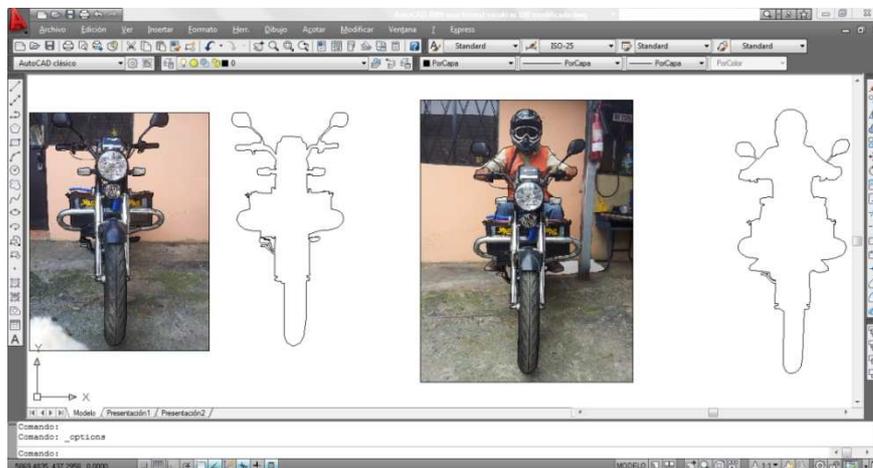


Figura 3.5. Cálculo de área sin conductor (izquierda), con conductor (derecha).

Área frontal sin conductor =  $0.282 \text{ m}^2 = 3.04 \text{ ft}^2$

Área frontal con conductor =  $0.3853 \text{ m}^2 = 4.15 \text{ ft}^2$

## EJEMPLO DE CÁLCULO CON PENDIENTE DEL 10% A 40 MPH

Peso de la motocicleta eléctrica con el conductor

$$'W := 440.925 \text{ lb}$$

### Fuerza por ascenso de pendientes

Pendiente del 10%

$$\phi := 5.71 \cdot \frac{\pi}{180} = 0.1$$

$$F_h := 'W \cdot \sin(\phi) = 43.869 \text{ lb}$$

### Fuerza por acción aerodinámica

Coefficiente de fuerza aerodinámica

$$C_d := 0.60$$

Área frontal de la motocicleta

$$A := 4.15 \text{ Ft}^2 \quad \text{área frontal con el conductor}$$

Velocidad de la motocicleta eléctrica

$$'V := 40 \text{ mph}$$

Fuerza por acción aerodinámica

$$F_d := \frac{(C_d \cdot A \cdot 'V^2)}{391} = 10.189 \text{ lb}$$

Viento relativo por fuerza aerodinámica

$$w_1 := 15 \text{ mph}$$

$$C_{rw} := 1.6$$

$$C_w := \left[ 0.98 \cdot \left( \frac{w_1}{'V} \right)^2 + 0.63 \cdot \left( \frac{w_1}{'V} \right) \right] \cdot C_{rw} - 0.4 \cdot \left( \frac{w_1}{'V} \right) = 0.449$$

### Fuerza por acción a la resistencia de rodadura

Factor de resistencia a la rodadura

$$C_2 := 0.02 \quad \text{superficies medias, menor calidad que el concreto}$$

$$F_r := C_2 \cdot 'W \cdot \cos(\phi) = 8.775 \text{ lb}$$

$$F_t := F_h + F_d + F_r + F_r \cdot C_w = 66.769 \text{ lb}$$

### Potencia necesaria

$$H_p := \frac{(F_t \cdot V)}{375} = 7.122 \text{ Hp}$$

$$K_w := H_p \cdot 0.745999 = 5.313 \text{ Kw}$$

### Torque requerido en la rueda

$$V = 40 \text{ mph}$$

Diámetro de la rueda

$$Dia := 23 \text{ plg}$$

Perímetro de la rueda

$$Per := Dia \cdot \pi \cdot (0.0254) = 1.835$$

Torque requerido

$$\text{Torque} := F_t \cdot \frac{Dia}{2 \cdot 12} = 63.987 \text{ Lb} \cdot \text{pie}$$

$$\text{TorqueNm} := \text{Torque} \cdot 1.383 = 88.493 \text{ Nm}$$

Coefficient drag	Frontal area ft <sup>2</sup>	Speed wind mph	Speed mph	Tire Diameter inches	Speed ft/s	Rolling resistance factor	Relative wind factor	Wind factor	Vehicle weight pounds	Angle of inclination in degree	Wheel rpm	Aerodynamic drag force lb	ADF/wind factor	Angle of inclination force pounds	Rolling resistance force	Force required	Hp required	Kw Required	Requested torque at rear wheel/lb.ft
0.60	4.15	15.00	0.25	23.00	0.37	0.02	5881.28	1.60	440.93	0.00	3.65	0.00	2.26	0.00	8.82	11.08	0.01	0.01	10.02
0.60	4.15	15.00	0.50	23.00	0.73	0.02	1429.44	1.60	440.93	0.00	7.31	0.00	2.40	0.00	8.82	11.22	0.01	0.01	10.75
0.60	4.15	15.00	1.00	23.00	1.47	0.02	361.92	1.60	440.93	0.00	14.61	0.00	2.43	0.00	8.82	11.25	0.03	0.02	10.79
0.60	4.15	15.00	2.00	23.00	2.93	0.02	92.76	1.60	440.93	0.00	29.23	0.00	2.49	0.00	8.82	11.34	0.06	0.05	10.86
0.60	4.15	15.00	3.00	23.00	4.40	0.02	42.24	1.60	440.93	0.00	43.84	0.06	2.55	0.00	8.82	11.43	0.09	0.07	10.95
0.60	4.15	15.00	4.00	23.00	5.87	0.02	24.33	1.60	440.93	0.00	58.46	0.11	2.61	0.00	8.82	11.54	0.12	0.09	11.06
0.60	4.15	15.00	5.00	23.00	7.33	0.02	15.94	1.60	440.93	0.00	73.07	0.16	2.67	0.00	8.82	11.66	0.16	0.12	11.17
0.60	4.15	15.00	6.00	23.00	8.80	0.02	11.32	1.60	440.93	0.00	87.69	0.24	2.74	0.00	8.82	11.80	0.19	0.14	11.30
0.60	4.15	15.00	7.00	23.00	10.27	0.02	8.50	1.60	440.93	0.00	102.30	0.33	2.80	0.00	8.82	11.94	0.22	0.17	11.45
0.60	4.15	15.00	8.00	23.00	11.73	0.02	6.65	1.60	440.93	0.00	116.92	0.43	2.86	0.00	8.82	12.11	0.26	0.19	11.60
0.60	4.15	15.00	9.00	23.00	13.20	0.02	5.37	1.60	440.93	0.00	131.53	0.54	2.92	0.00	8.82	12.28	0.29	0.22	11.77
0.60	4.15	15.00	10.00	23.00	14.67	0.02	4.44	1.60	440.93	0.00	146.15	0.67	2.98	0.00	8.82	12.47	0.33	0.25	11.95
0.60	4.15	15.00	11.00	23.00	16.13	0.02	3.74	1.60	440.93	0.00	160.76	0.81	3.04	0.00	8.82	12.67	0.37	0.28	12.14
0.60	4.15	15.00	12.00	23.00	17.60	0.02	3.21	1.60	440.93	0.00	175.37	0.97	3.10	0.00	8.82	12.89	0.41	0.31	12.35
0.60	4.15	15.00	13.00	23.00	19.07	0.02	2.79	1.60	440.93	0.00	189.99	1.13	3.16	0.00	8.82	13.12	0.45	0.34	12.57
0.60	4.15	15.00	14.00	23.00	20.53	0.02	2.45	1.60	440.93	0.00	204.60	1.32	3.22	0.00	8.82	13.36	0.50	0.37	12.80
0.60	4.15	15.00	15.00	23.00	22.00	0.02	2.18	1.60	440.93	0.00	219.22	1.51	3.29	0.00	8.82	13.61	0.54	0.41	13.05
0.60	4.15	15.00	16.00	23.00	23.47	0.02	1.95	1.60	440.93	0.00	233.83	1.72	3.35	0.00	8.82	13.88	0.59	0.44	13.31
0.60	4.15	15.00	17.00	23.00	24.93	0.02	1.76	1.60	440.93	0.00	248.45	1.94	3.41	0.00	8.82	14.17	0.64	0.48	13.58
0.60	4.15	15.00	18.00	23.00	26.40	0.02	1.60	1.60	440.93	0.00	263.06	2.17	3.47	0.00	8.82	14.46	0.69	0.52	13.86
0.60	4.15	15.00	19.00	23.00	27.87	0.02	1.46	1.60	440.93	0.00	277.68	2.42	3.53	0.00	8.82	14.77	0.75	0.56	14.16
0.60	4.15	15.00	20.00	23.00	29.33	0.02	1.34	1.60	440.93	0.00	292.29	2.68	3.59	0.00	8.82	15.10	0.81	0.60	14.47
0.60	4.15	15.00	21.00	23.00	30.80	0.02	1.23	1.60	440.93	0.00	306.91	2.96	3.65	0.00	8.82	15.43	0.86	0.64	14.79
0.60	4.15	15.00	22.00	23.00	32.27	0.02	1.14	1.60	440.93	0.00	321.52	3.25	3.71	0.00	8.82	15.78	0.93	0.69	15.12
0.60	4.15	15.00	23.00	23.00	33.73	0.02	1.06	1.60	440.93	0.00	336.14	3.55	3.78	0.00	8.82	16.14	0.99	0.74	15.47
0.60	4.15	15.00	24.00	23.00	35.20	0.02	0.99	1.60	440.93	0.00	350.75	3.87	3.84	0.00	8.82	16.52	1.06	0.79	15.83
0.60	4.15	15.00	25.00	23.00	36.67	0.02	0.93	1.60	440.93	0.00	365.36	4.19	3.90	0.00	8.82	16.91	1.13	0.84	16.21
0.60	4.15	15.00	26.00	23.00	38.13	0.02	0.87	1.60	440.93	0.00	379.98	4.54	3.96	0.00	8.82	17.31	1.20	0.90	16.59
0.60	4.15	15.00	27.00	23.00	39.60	0.02	0.82	1.60	440.93	0.00	394.59	4.89	4.02	0.00	8.82	17.73	1.28	0.95	16.99
0.60	4.15	15.00	28.00	23.00	41.07	0.02	0.78	1.60	440.93	0.00	409.21	5.26	4.08	0.00	8.82	18.16	1.36	1.01	17.41
0.60	4.15	15.00	29.00	23.00	42.53	0.02	0.73	1.60	440.93	0.00	423.82	5.64	4.14	0.00	8.82	18.61	1.44	1.07	17.83
0.60	4.15	15.00	30.00	23.00	44.00	0.02	0.70	1.60	440.93	0.00	438.44	6.04	4.20	0.00	8.82	19.06	1.53	1.14	18.27
0.60	4.15	15.00	31.00	23.00	45.47	0.02	0.66	1.60	440.93	0.00	453.05	6.45	4.27	0.00	8.82	19.53	1.61	1.21	18.72
0.60	4.15	15.00	32.00	23.00	46.93	0.02	0.63	1.60	440.93	0.00	467.67	6.87	4.33	0.00	8.82	20.02	1.71	1.27	19.18
0.60	4.15	15.00	33.00	23.00	48.40	0.02	0.60	1.60	440.93	0.00	482.28	7.31	4.39	0.00	8.82	20.52	1.81	1.35	19.66
0.60	4.15	15.00	34.00	23.00	49.87	0.02	0.57	1.60	440.93	0.00	496.90	7.76	4.45	0.00	8.82	21.03	1.91	1.42	20.15
0.60	4.15	15.00	35.00	23.00	51.33	0.02	0.55	1.60	440.93	0.00	511.51	8.22	4.51	0.00	8.82	21.55	2.01	1.50	20.65
0.60	4.15	15.00	36.00	23.00	52.80	0.02	0.53	1.60	440.93	0.00	526.12	8.70	4.57	0.00	8.82	22.09	2.12	1.58	21.17
0.60	4.15	15.00	37.00	23.00	54.27	0.02	0.50	1.60	440.93	0.00	540.74	9.19	4.63	0.00	8.82	22.64	2.23	1.67	21.70
0.60	4.15	15.00	38.00	23.00	55.73	0.02	0.48	1.60	440.93	0.00	555.35	9.69	4.69	0.00	8.82	23.20	2.35	1.75	22.24
0.60	4.15	15.00	39.00	23.00	57.20	0.02	0.47	1.60	440.93	0.00	569.97	10.21	4.76	0.00	8.82	23.78	2.47	1.85	22.79
0.60	4.15	15.00	40.00	23.00	58.67	0.02	0.45	1.60	440.93	0.00	584.58	10.74	4.82	0.00	8.82	24.37	2.60	1.94	23.36
0.60	4.15	15.00	41.00	23.00	60.13	0.02	0.43	1.60	440.93	0.00	599.20	11.28	4.88	0.00	8.82	24.98	2.73	2.04	23.94
0.60	4.15	15.00	42.00	23.00	61.60	0.02	0.42	1.60	440.93	0.00	613.81	11.84	4.94	0.00	8.82	25.60	2.87	2.14	24.53
0.60	4.15	15.00	43.00	23.00	63.07	0.02	0.40	1.60	440.93	0.00	628.43	12.41	5.00	0.00	8.82	26.23	3.01	2.24	25.14
0.60	4.15	15.00	44.00	23.00	64.53	0.02	0.39	1.60	440.93	0.00	643.04	12.99	5.06	0.00	8.82	26.87	3.15	2.35	25.75
0.60	4.15	15.00	45.00	23.00	66.00	0.02	0.38	1.60	440.93	0.00	657.66	13.59	5.12	0.00	8.82	27.53	3.30	2.47	26.38
0.60	4.15	15.00	46.00	23.00	67.47	0.02	0.36	1.60	440.93	0.00	672.27	14.20	5.18	0.00	8.82	28.20	3.46	2.58	27.03
0.60	4.15	15.00	47.00	23.00	68.93	0.02	0.35	1.60	440.93	0.00	686.89	14.83	5.24	0.00	8.82	28.89	3.62	2.70	27.69
0.60	4.15	15.00	48.00	23.00	70.40	0.02	0.34	1.60	440.93	0.00	701.50	15.46	5.31	0.00	8.82	29.59	3.79	2.83	28.36
0.60	4.15	15.00	49.00	23.00	71.87	0.02	0.33	1.60	440.93	0.00	716.11	16.11	5.37	0.00	8.82	30.30	3.96	2.95	29.04
0.60	4.15	15.00	50.00	23.00	73.33	0.02	0.32	1.60	440.93	0.00	730.73	16.78	5.43	0.00	8.82	31.03	4.14	3.09	29.73

Tabla3.2. Cálculo de requerimiento de torque y potencia para una pendiente del 0%.

Coefficient drag	Frontal area Ft <sup>2</sup>	Speed wind mph	Speed mph	Tire Diameter inches	Speed ft/s	Rolling resistance factor	Relative wind factor	Wind factor	Vehicle weight pounds	Angle of inclination in degree	Wheel rpm	Aerodynamic drag force lb	ADP/wind factor	Angle of inclination force pounds	Rolling resistance force	Force required	Hp required	Kw Required	Required torque at rear wheel lb-ft
0.60	4.15	15.00	0.25	23.00	0.37	0.02	5681.28	1.60	440.93	3.00	3.65	0.00	2.26	23.08	8.81	34.14	0.02	0.02	32.72
0.60	4.15	15.00	0.50	23.00	0.73	0.02	1429.44	1.60	440.93	3.00	7.31	0.00	2.40	23.08	8.81	34.28	0.05	0.03	32.85
0.60	4.15	15.00	1.00	23.00	1.47	0.02	361.92	1.60	440.93	3.00	14.61	0.01	2.43	23.08	8.81	34.32	0.09	0.07	32.89
0.60	4.15	15.00	2.00	23.00	2.93	0.02	92.76	1.60	440.93	3.00	29.23	0.03	2.49	23.08	8.81	34.40	0.18	0.14	32.97
0.60	4.15	15.00	3.00	23.00	4.40	0.02	42.24	1.60	440.93	3.00	43.84	0.06	2.55	23.08	8.81	34.49	0.28	0.21	33.06
0.60	4.15	15.00	4.00	23.00	5.87	0.02	24.33	1.60	440.93	3.00	58.46	0.11	2.61	23.08	8.81	34.60	0.37	0.28	33.16
0.60	4.15	15.00	5.00	23.00	7.33	0.02	15.94	1.60	440.93	3.00	73.07	0.17	2.67	23.08	8.81	34.72	0.46	0.35	33.28
0.60	4.15	15.00	6.00	23.00	8.80	0.02	11.23	1.60	440.93	3.00	87.69	0.24	2.74	23.08	8.81	34.86	0.56	0.42	33.41
0.60	4.15	15.00	7.00	23.00	10.27	0.02	8.50	1.60	440.93	3.00	102.30	0.33	2.80	23.08	8.81	35.01	0.65	0.49	33.55
0.60	4.15	15.00	8.00	23.00	11.73	0.02	6.65	1.60	440.93	3.00	116.92	0.43	2.86	23.08	8.81	35.17	0.75	0.56	33.70
0.60	4.15	15.00	9.00	23.00	13.20	0.02	5.37	1.60	440.93	3.00	131.55	0.54	2.92	23.08	8.81	35.35	0.85	0.63	33.87
0.60	4.15	15.00	10.00	23.00	14.67	0.02	4.44	1.60	440.93	3.00	146.15	0.67	2.98	23.08	8.81	35.53	0.95	0.71	34.05
0.60	4.15	15.00	11.00	23.00	16.13	0.02	3.74	1.60	440.93	3.00	160.76	0.81	3.04	23.08	8.81	35.74	1.05	0.78	34.25
0.60	4.15	15.00	12.00	23.00	17.60	0.02	3.21	1.60	440.93	3.00	175.37	0.97	3.10	23.08	8.81	35.95	1.15	0.86	34.45
0.60	4.15	15.00	13.00	23.00	19.07	0.02	2.79	1.60	440.93	3.00	189.99	1.13	3.16	23.08	8.81	36.18	1.25	0.94	34.67
0.60	4.15	15.00	14.00	23.00	20.53	0.02	2.45	1.60	440.93	3.00	204.60	1.32	3.22	23.08	8.81	36.42	1.36	1.01	34.91
0.60	4.15	15.00	15.00	23.00	22.00	0.02	2.18	1.60	440.93	3.00	219.22	1.51	3.29	23.08	8.81	36.68	1.47	1.09	35.15
0.60	4.15	15.00	16.00	23.00	23.47	0.02	1.95	1.60	440.93	3.00	233.83	1.71	3.35	23.08	8.81	36.95	1.58	1.18	35.41
0.60	4.15	15.00	17.00	23.00	24.93	0.02	1.76	1.60	440.93	3.00	248.45	1.94	3.41	23.08	8.81	37.23	1.69	1.26	35.68
0.60	4.15	15.00	18.00	23.00	26.40	0.02	1.60	1.60	440.93	3.00	263.06	2.17	3.47	23.08	8.81	37.53	1.80	1.34	35.96
0.60	4.15	15.00	19.00	23.00	27.87	0.02	1.46	1.60	440.93	3.00	277.68	2.42	3.53	23.08	8.81	37.84	1.92	1.43	36.26
0.60	4.15	15.00	20.00	23.00	29.33	0.02	1.34	1.60	440.93	3.00	292.29	2.68	3.59	23.08	8.81	38.16	2.04	1.52	36.57
0.60	4.15	15.00	21.00	23.00	30.80	0.02	1.23	1.60	440.93	3.00	306.91	2.96	3.65	23.08	8.81	38.50	2.16	1.61	36.89
0.60	4.15	15.00	22.00	23.00	32.27	0.02	1.14	1.60	440.93	3.00	321.52	3.25	3.71	23.08	8.81	38.85	2.28	1.70	37.23
0.60	4.15	15.00	23.00	23.00	33.73	0.02	1.06	1.60	440.93	3.00	336.14	3.55	3.78	23.08	8.81	39.21	2.40	1.79	37.58
0.60	4.15	15.00	24.00	23.00	35.20	0.02	0.99	1.60	440.93	3.00	350.75	3.87	3.84	23.08	8.81	39.59	2.53	1.89	37.94
0.60	4.15	15.00	25.00	23.00	36.67	0.02	0.93	1.60	440.93	3.00	365.36	4.19	3.90	23.08	8.81	39.98	2.67	1.99	38.31
0.60	4.15	15.00	26.00	23.00	38.13	0.02	0.87	1.60	440.93	3.00	379.98	4.54	3.96	23.08	8.81	40.38	2.80	2.09	38.70
0.60	4.15	15.00	27.00	23.00	39.60	0.02	0.82	1.60	440.93	3.00	394.59	4.89	4.02	23.08	8.81	40.80	2.94	2.19	39.10
0.60	4.15	15.00	28.00	23.00	41.07	0.02	0.78	1.60	440.93	3.00	409.21	5.26	4.08	23.08	8.81	41.23	3.08	2.30	39.51
0.60	4.15	15.00	29.00	23.00	42.53	0.02	0.73	1.60	440.93	3.00	423.82	5.64	4.14	23.08	8.81	41.67	3.22	2.40	39.93
0.60	4.15	15.00	30.00	23.00	44.00	0.02	0.70	1.60	440.93	3.00	438.44	6.04	4.20	23.08	8.81	42.13	3.37	2.52	40.37
0.60	4.15	15.00	31.00	23.00	45.47	0.02	0.66	1.60	440.93	3.00	453.05	6.45	4.27	23.08	8.81	42.60	3.52	2.63	40.82
0.60	4.15	15.00	32.00	23.00	46.93	0.02	0.63	1.60	440.93	3.00	467.67	6.87	4.33	23.08	8.81	43.08	3.68	2.74	41.29
0.60	4.15	15.00	33.00	23.00	48.40	0.02	0.60	1.60	440.93	3.00	482.28	7.31	4.39	23.08	8.81	43.58	3.83	2.86	41.76
0.60	4.15	15.00	34.00	23.00	49.87	0.02	0.57	1.60	440.93	3.00	496.90	7.76	4.45	23.08	8.81	44.09	4.00	2.98	42.25
0.60	4.15	15.00	35.00	23.00	51.33	0.02	0.55	1.60	440.93	3.00	511.51	8.22	4.51	23.08	8.81	44.61	4.16	3.11	42.76
0.60	4.15	15.00	36.00	23.00	52.80	0.02	0.53	1.60	440.93	3.00	526.12	8.70	4.57	23.08	8.81	45.15	4.33	3.23	43.27
0.60	4.15	15.00	37.00	23.00	54.27	0.02	0.50	1.60	440.93	3.00	540.74	9.19	4.63	23.08	8.81	45.70	4.51	3.37	43.80
0.60	4.15	15.00	38.00	23.00	55.73	0.02	0.48	1.60	440.93	3.00	555.35	9.69	4.69	23.08	8.81	46.27	4.69	3.50	44.34
0.60	4.15	15.00	39.00	23.00	57.20	0.02	0.47	1.60	440.93	3.00	569.97	10.21	4.76	23.08	8.81	46.85	4.87	3.64	44.89
0.60	4.15	15.00	40.00	23.00	58.67	0.02	0.45	1.60	440.93	3.00	584.58	10.74	4.82	23.08	8.81	47.44	5.06	3.78	45.46
0.60	4.15	15.00	41.00	23.00	60.13	0.02	0.43	1.60	440.93	3.00	599.20	11.28	4.88	23.08	8.81	48.04	5.25	3.92	46.04
0.60	4.15	15.00	42.00	23.00	61.60	0.02	0.42	1.60	440.93	3.00	613.81	11.84	4.94	23.08	8.81	48.66	5.45	4.07	46.63
0.60	4.15	15.00	43.00	23.00	63.07	0.02	0.40	1.60	440.93	3.00	628.43	12.41	5.00	23.08	8.81	49.29	5.65	4.22	47.24
0.60	4.15	15.00	44.00	23.00	64.53	0.02	0.39	1.60	440.93	3.00	643.04	12.99	5.06	23.08	8.81	49.94	5.86	4.37	47.86
0.60	4.15	15.00	45.00	23.00	66.00	0.02	0.38	1.60	440.93	3.00	657.66	13.59	5.12	23.08	8.81	50.60	6.07	4.53	48.49
0.60	4.15	15.00	46.00	23.00	67.47	0.02	0.36	1.60	440.93	3.00	672.27	14.20	5.18	23.08	8.81	51.27	6.29	4.69	49.13
0.60	4.15	15.00	47.00	23.00	68.93	0.02	0.35	1.60	440.93	3.00	686.89	14.83	5.24	23.08	8.81	51.95	6.51	4.86	49.79
0.60	4.15	15.00	48.00	23.00	70.40	0.02	0.34	1.60	440.93	3.00	701.50	15.46	5.31	23.08	8.81	52.65	6.74	5.03	50.46
0.60	4.15	15.00	49.00	23.00	71.87	0.02	0.33	1.60	440.93	3.00	716.11	16.11	5.37	23.08	8.81	53.36	6.97	5.20	51.14
0.60	4.15	15.00	50.00	23.00	73.33	0.02	0.32	1.60	440.93	3.00	730.73	16.78	5.43	23.08	8.81	54.09	7.21	5.38	51.84

Tabla3.3. Cálculo de requerimiento de torque y potencia para una pendiente del 5,25%.

Coefficient drag	Frontal area Ft <sup>2</sup>	Speed wind mph	Speed mph	Tire Diameter inches	Speed ft/s	Rolling resistance factor	Relative wind factor	Wind factor	Vehicle weight pounds	Angle of inclination in degree	Wheel rpm	Aerodynamic drag force lb	AD7/wind factor	Angle of inclination force pounds	Rolling resistance force	Force required	Hp required	Kw Required	Requested torque at rear wheel lbf.ft
0.60	4.15	15.00	23.00	0.25	0.37	0.02	5684.28	1.60	440.93	5.71	3.65	0.00	2.26	43.87	8.77	54.91	0.04	0.03	52.62
0.60	4.15	15.00	23.00	0.50	0.73	0.02	1428.44	1.60	440.93	5.71	7.31	0.00	2.28	43.87	8.77	54.92	0.07	0.05	52.62
0.60	4.15	15.00	1.00	23.00	1.47	0.02	361.92	1.60	440.93	5.71	14.61	0.01	2.30	43.87	8.77	54.96	0.15	0.11	52.67
0.60	4.15	15.00	2.00	23.00	2.93	0.02	92.76	1.60	440.93	5.71	29.23	0.03	2.36	43.87	8.77	55.03	0.29	0.22	52.74
0.60	4.15	15.00	3.00	23.00	4.40	0.02	42.24	1.60	440.93	5.71	43.84	0.06	2.42	43.87	8.77	55.12	0.44	0.33	52.83
0.60	4.15	15.00	4.00	23.00	5.87	0.02	24.33	1.60	440.93	5.71	58.46	0.10	2.48	43.87	8.77	55.22	0.59	0.44	52.92
0.60	4.15	15.00	5.00	23.00	7.33	0.02	15.94	1.60	440.93	5.71	73.07	0.16	2.54	43.87	8.77	55.34	0.74	0.55	53.02
0.60	4.15	15.00	6.00	23.00	8.80	0.02	11.32	1.60	440.93	5.71	87.69	0.23	2.60	43.87	8.77	55.47	0.89	0.66	53.16
0.60	4.15	15.00	7.00	23.00	10.27	0.02	8.50	1.60	440.93	5.71	102.30	0.31	2.65	43.87	8.77	55.61	1.04	0.77	53.29
0.60	4.15	15.00	8.00	23.00	11.73	0.02	6.65	1.60	440.93	5.71	116.92	0.41	2.71	43.87	8.77	55.76	1.19	0.89	53.44
0.60	4.15	15.00	9.00	23.00	13.20	0.02	5.37	1.60	440.93	5.71	131.53	0.52	2.77	43.87	8.77	55.93	1.34	1.00	53.60
0.60	4.15	15.00	10.00	23.00	14.67	0.02	4.44	1.60	440.93	5.71	146.15	0.64	2.83	43.87	8.77	56.11	1.50	1.12	53.77
0.60	4.15	15.00	11.00	23.00	16.13	0.02	3.74	1.60	440.93	5.71	160.76	0.77	2.89	43.87	8.77	56.30	1.65	1.23	53.95
0.60	4.15	15.00	12.00	23.00	17.60	0.02	3.21	1.60	440.93	5.71	175.37	0.92	2.94	43.87	8.77	56.50	1.81	1.35	54.15
0.60	4.15	15.00	13.00	23.00	19.07	0.02	2.79	1.60	440.93	5.71	189.99	1.08	3.00	43.87	8.77	56.72	1.97	1.47	54.36
0.60	4.15	15.00	14.00	23.00	20.53	0.02	2.45	1.60	440.93	5.71	204.60	1.25	3.06	43.87	8.77	56.95	2.13	1.59	54.58
0.60	4.15	15.00	15.00	23.00	22.00	0.02	2.18	1.60	440.93	5.71	219.22	1.43	3.12	43.87	8.77	57.19	2.29	1.71	54.81
0.60	4.15	15.00	16.00	23.00	23.47	0.02	1.95	1.60	440.93	5.71	233.83	1.63	3.18	43.87	8.77	57.45	2.45	1.83	55.06
0.60	4.15	15.00	17.00	23.00	24.93	0.02	1.76	1.60	440.93	5.71	248.45	1.84	3.23	43.87	8.77	57.72	2.62	1.95	55.31
0.60	4.15	15.00	18.00	23.00	26.40	0.02	1.60	1.60	440.93	5.71	263.06	2.06	3.29	43.87	8.77	58.00	2.78	2.08	55.58
0.60	4.15	15.00	19.00	23.00	27.87	0.02	1.46	1.60	440.93	5.71	277.68	2.30	3.35	43.87	8.77	58.29	2.95	2.20	55.86
0.60	4.15	15.00	20.00	23.00	29.33	0.02	1.34	1.60	440.93	5.71	292.29	2.55	3.41	43.87	8.77	58.60	3.13	2.33	56.16
0.60	4.15	15.00	21.00	23.00	30.80	0.02	1.23	1.60	440.93	5.71	306.91	2.81	3.47	43.87	8.77	58.92	3.30	2.46	56.46
0.60	4.15	15.00	22.00	23.00	32.27	0.02	1.14	1.60	440.93	5.71	321.52	3.08	3.52	43.87	8.77	59.25	3.48	2.59	56.78
0.60	4.15	15.00	23.00	23.00	33.73	0.02	1.06	1.60	440.93	5.71	336.14	3.37	3.58	43.87	8.77	59.60	3.66	2.73	57.11
0.60	4.15	15.00	24.00	23.00	35.20	0.02	0.99	1.60	440.93	5.71	350.75	3.67	3.64	43.87	8.77	59.95	3.84	2.86	57.45
0.60	4.15	15.00	25.00	23.00	36.67	0.02	0.93	1.60	440.93	5.71	365.36	3.98	3.70	43.87	8.77	60.32	4.02	3.00	57.81
0.60	4.15	15.00	26.00	23.00	38.13	0.02	0.87	1.60	440.93	5.71	379.98	4.30	3.76	43.87	8.77	60.71	4.21	3.14	58.18
0.60	4.15	15.00	27.00	23.00	39.60	0.02	0.82	1.60	440.93	5.71	394.59	4.64	3.81	43.87	8.77	61.10	4.40	3.28	58.56
0.60	4.15	15.00	28.00	23.00	41.07	0.02	0.78	1.60	440.93	5.71	409.21	4.99	3.87	43.87	8.77	61.51	4.59	3.43	58.95
0.60	4.15	15.00	29.00	23.00	42.53	0.02	0.73	1.60	440.93	5.71	423.82	5.36	3.93	43.87	8.77	61.93	4.79	3.57	59.35
0.60	4.15	15.00	30.00	23.00	44.00	0.02	0.70	1.60	440.93	5.71	438.44	5.73	3.99	43.87	8.77	62.36	4.99	3.72	59.77
0.60	4.15	15.00	31.00	23.00	45.47	0.02	0.66	1.60	440.93	5.71	453.05	6.12	4.05	43.87	8.77	62.81	5.19	3.87	60.19
0.60	4.15	15.00	32.00	23.00	46.93	0.02	0.63	1.60	440.93	5.71	467.67	6.52	4.11	43.87	8.77	63.27	5.40	4.03	60.63
0.60	4.15	15.00	33.00	23.00	48.40	0.02	0.60	1.60	440.93	5.71	482.28	6.94	4.16	43.87	8.77	63.74	5.61	4.19	61.09
0.60	4.15	15.00	34.00	23.00	49.87	0.02	0.57	1.60	440.93	5.71	496.90	7.36	4.22	43.87	8.77	64.23	5.82	4.35	61.55
0.60	4.15	15.00	35.00	23.00	51.33	0.02	0.55	1.60	440.93	5.71	511.51	7.80	4.28	43.87	8.77	64.72	6.04	4.51	62.03
0.60	4.15	15.00	36.00	23.00	52.80	0.02	0.53	1.60	440.93	5.71	526.12	8.25	4.34	43.87	8.77	65.23	6.26	4.67	62.52
0.60	4.15	15.00	37.00	23.00	54.27	0.02	0.50	1.60	440.93	5.71	540.74	8.72	4.40	43.87	8.77	65.76	6.49	4.84	63.02
0.60	4.15	15.00	38.00	23.00	55.73	0.02	0.48	1.60	440.93	5.71	555.35	9.20	4.45	43.87	8.77	66.29	6.72	5.01	63.53
0.60	4.15	15.00	39.00	23.00	57.20	0.02	0.47	1.60	440.93	5.71	569.97	9.69	4.51	43.87	8.77	66.84	6.95	5.19	64.06
0.60	4.15	15.00	40.00	23.00	58.67	0.02	0.45	1.60	440.93	5.71	584.58	10.19	4.57	43.87	8.77	67.40	7.19	5.37	64.59
0.60	4.15	15.00	41.00	23.00	60.13	0.02	0.43	1.60	440.93	5.71	599.20	10.71	4.63	43.87	8.77	67.98	7.43	5.55	65.14
0.60	4.15	15.00	42.00	23.00	61.60	0.02	0.42	1.60	440.93	5.71	613.81	11.23	4.69	43.87	8.77	68.56	7.68	5.73	65.71
0.60	4.15	15.00	43.00	23.00	63.07	0.02	0.40	1.60	440.93	5.71	628.43	11.77	4.74	43.87	8.77	69.16	7.93	5.92	66.28
0.60	4.15	15.00	44.00	23.00	64.53	0.02	0.39	1.60	440.93	5.71	643.04	12.33	4.80	43.87	8.77	69.78	8.19	6.11	66.87
0.60	4.15	15.00	45.00	23.00	66.00	0.02	0.38	1.60	440.93	5.71	657.66	12.90	4.86	43.87	8.77	70.40	8.45	6.30	67.47
0.60	4.15	15.00	46.00	23.00	67.47	0.02	0.36	1.60	440.93	5.71	672.27	13.48	4.92	43.87	8.77	71.04	8.71	6.50	68.08
0.60	4.15	15.00	47.00	23.00	68.93	0.02	0.35	1.60	440.93	5.71	686.89	14.07	4.98	43.87	8.77	71.69	8.98	6.71	68.70
0.60	4.15	15.00	48.00	23.00	70.40	0.02	0.34	1.60	440.93	5.71	701.50	14.67	5.03	43.87	8.77	72.35	9.26	6.91	69.34
0.60	4.15	15.00	49.00	23.00	71.87	0.02	0.33	1.60	440.93	5.71	716.11	15.29	5.09	43.87	8.77	73.03	9.54	7.12	69.98
0.60	4.15	15.00	50.00	23.00	73.33	0.02	0.32	1.60	440.93	5.71	730.73	15.92	5.15	43.87	8.77	73.72	9.83	7.33	70.64

Tabla3.4. Cálculo de requerimiento de torque y potencia para una pendiente del 10%

**Curvas características de requerimiento.**

**Pendiente del 0%**

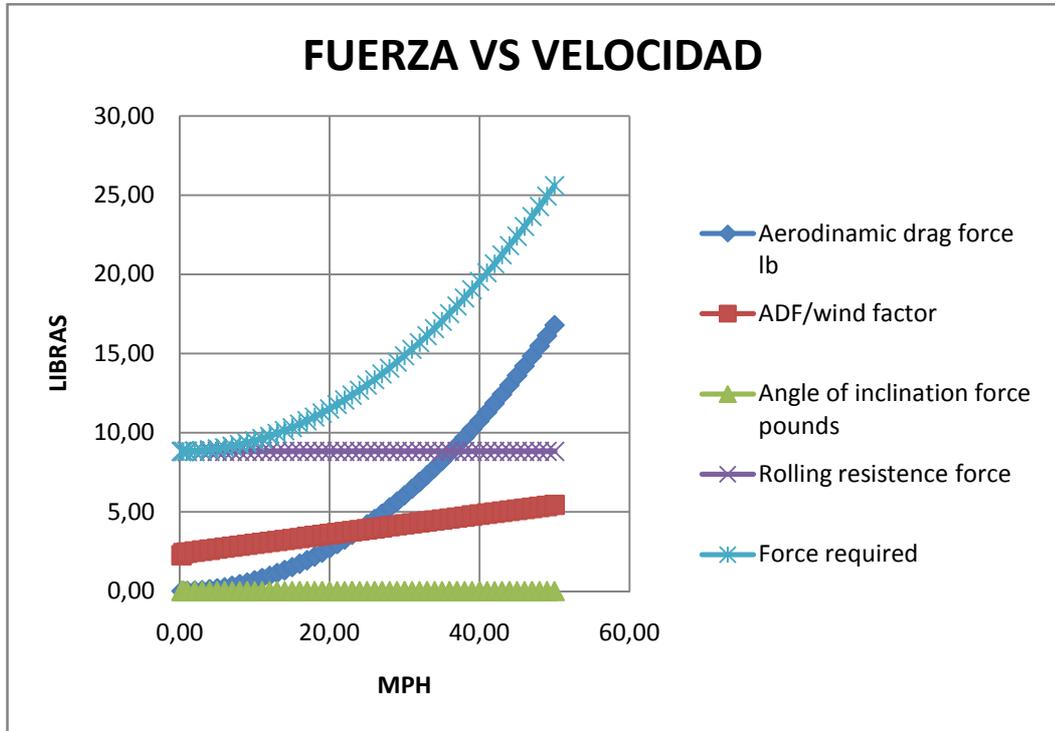


Figura 3.6. Fuerza requerida Vs. Velocidad de desplazamiento.

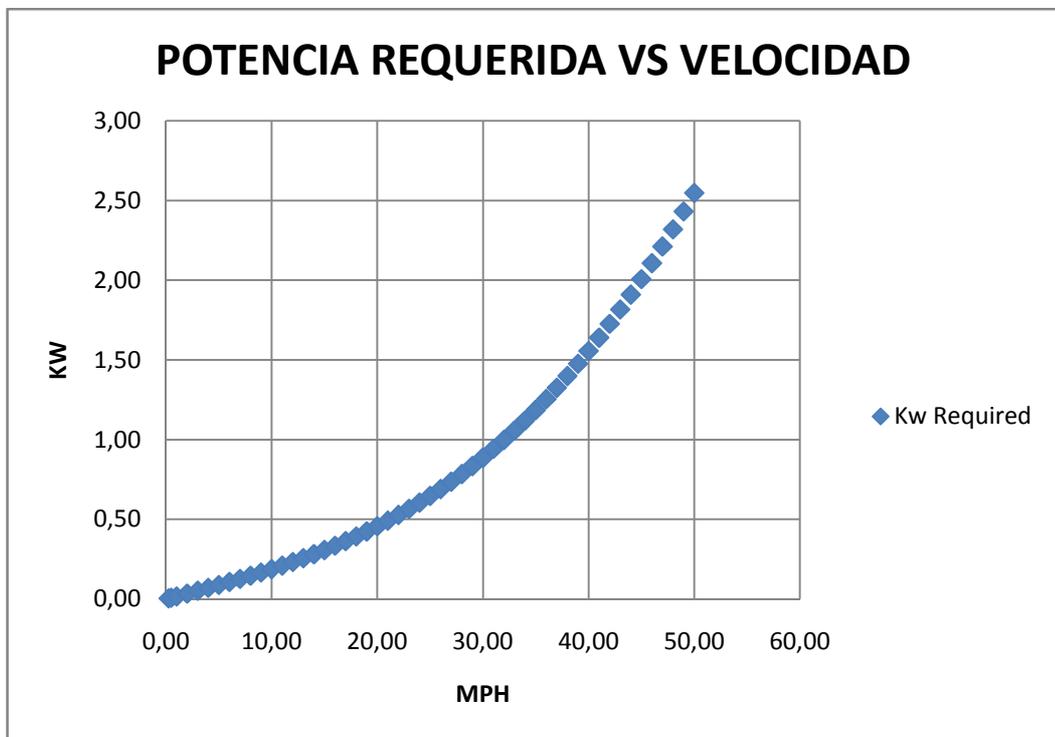


Figura 3.7. Potencia requerida Vs. Velocidad de desplazamiento.

### Pendiente del 5.25%

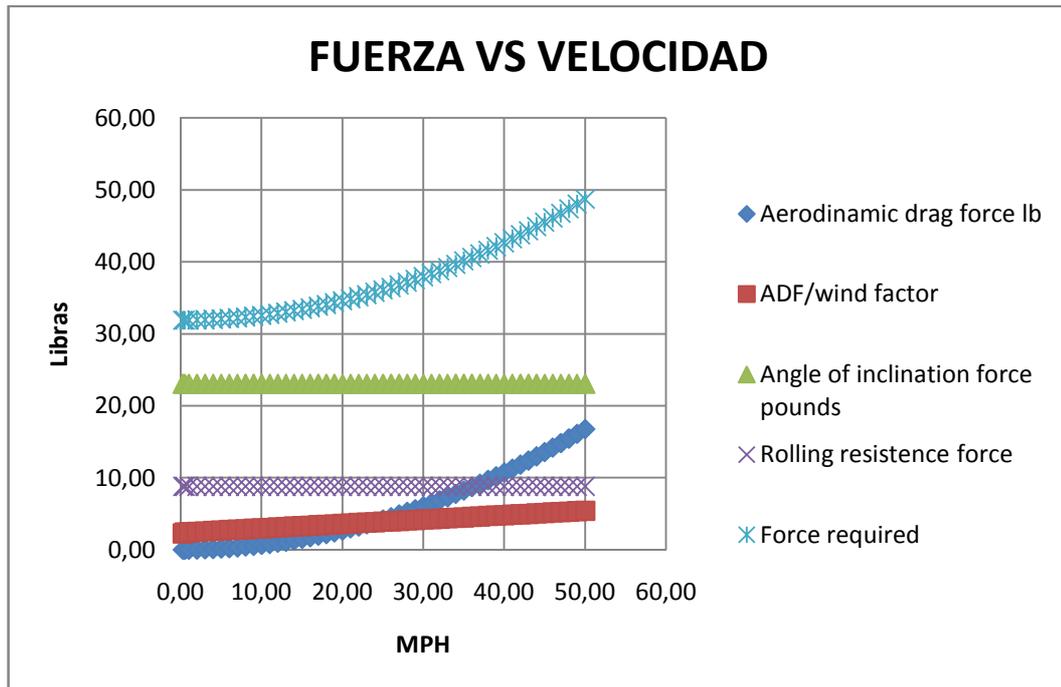


Figura 3.8. Fuerza requerida Vs. Velocidad de desplazamiento.

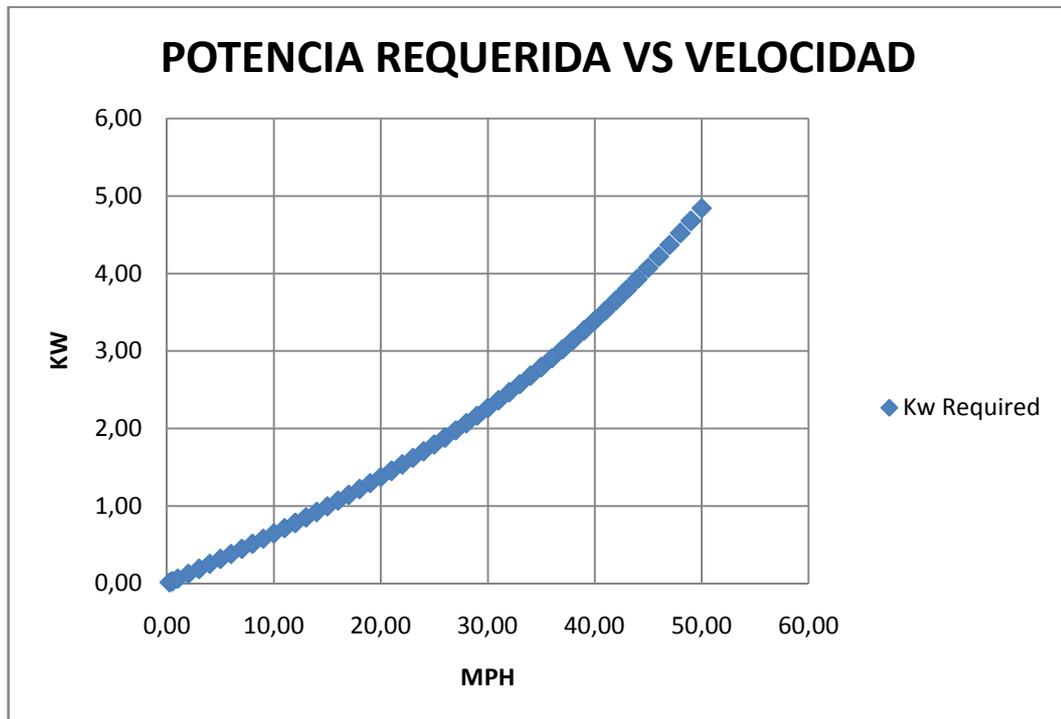


Figura 3.9. Potencia requerida Vs. Velocidad de desplazamiento.

**Pendiente del 10%**

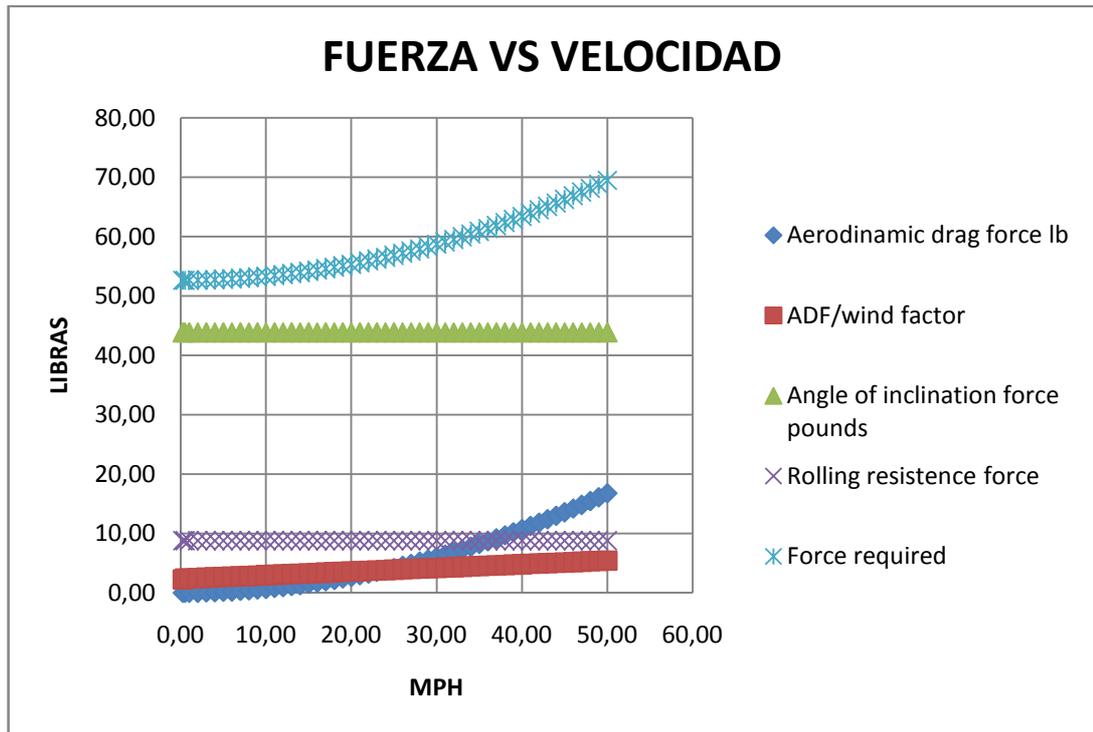


Figura 3.10. Fuerza requerida Vs. Velocidad de desplazamiento.

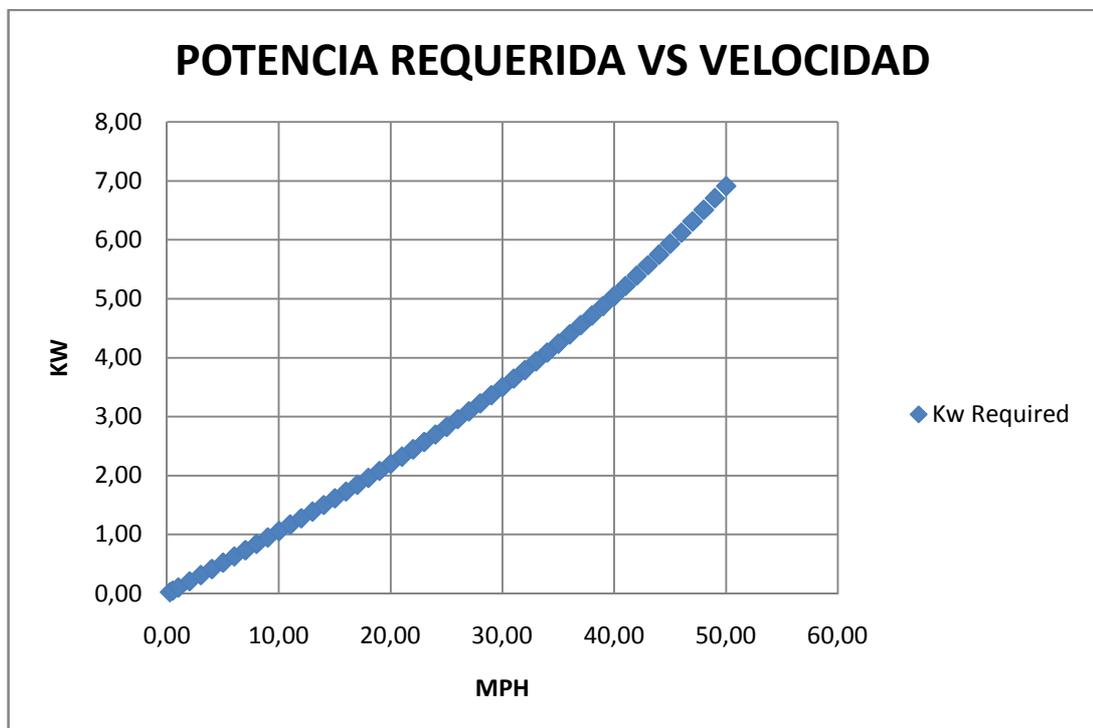


Figura 3.11 Potencia requerida en función Vs. Velocidad de desplazamiento.

## 3.2. SELECCIÓN DEL MOTOR

Los motores para vehículos eléctricos en este caso, una motocicleta eléctrica será de corriente continua, ya que los motores de corriente alterna son de altas potencias y de alto costo debido al sistema inversor de corriente.

### 3.2.1. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO

El proceso de selección del motor debe cumplir con los siguientes parámetros:

#### 3.2.1.1. GEOMETRÍA

Es el parámetro más importante del nuevo motor, de tal manera que al instalarlo mantenga una alineación entre catalinas aproximada a la original (Figura 3.12), con el propósito que la cadena no afecte partes o mecanismos del chasis.



Figura 3.12. Motor original Suzuki Ax 100



Figura 3.13. Diámetro máximo posible para instalación de motor.

El diámetro máximo del nuevo motor es de 220 mm, cumpliendo con el alineamiento de catalinas (Figura 3.13).

La longitud máxima del nuevo motor es de 210 mm incluido el eje, para que no interfiera con el normal funcionamiento del pedal de freno y el soporte de pies.

### **3.2.1.2. POTENCIA Y TORQUE**

El nuevo motor deberá tener una aproximadamente una potencia de 5kw (6.7 hp) y un torque mínimo en la rueda de 83 Nm para llegar a una velocidad de 60 kilómetros por hora en pendientes del 10%.

### **3.2.1.3. RESISTENCIA A AGENTES EXTERNOS**

El motor deberá ser resistente a agentes externos como: agua, polvo, tierra, lodo, asfalto, agentes detergentes, ya que este será parte de un medio de transporte.

### **3.2.1.4. PESO**

El motor deberá ser ligero, ya que, al tratarse de una motocicleta eléctrica, el peso es un factor determinante en la autonomía y desempeño.

El peso del motor original (gasolina) es de 22 kilogramos (Figura 3.14).



Figura 3.14. Motor original Suzuki Ax100 – 22 kg

### **3.2.1.5. EFICIENCIA**

Es un factor muy importante ya de este dependerá el aprovechamiento de energía proveniente de las baterías, el motor deberá tener un mínimo del 85% de eficiencia.

### **3.2.1.6. COSTO**

Es un limitante al adquirir el motor, de este dependerán los anteriores factores, como son: dimensiones, potencia, torque, resistencia agentes externos, peso, eficiencia.

### **3.2.1.7. INFORMACIÓN**

Es muy importante la información que proporciona el fabricante del motor, para su selección, la poca información nos dará como resultado una mala selección.

### 3.2.2. SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

De acuerdo a requerimientos

Marca	Golden Motor	Mars electric LLC	LMC
Procedencia	China	China	UK
Modelo	HPM5000L	Mars 0708	LEM-200
Tipo	BLDC	BLDC	Brush
Voltaje	48 [v]	48 [v]	24 [v]
Corriente de fase	122 [A]	100 [A]	270 [A]
Corriente máxima de fase	400 [A]	300 [A]	400[A]
Potencia Nominal	5 [Kw]	4,5 [Kw]	5 [Kw]
Potencia Pico	7,5[Kw]	5,5[Kw]	7,59[Kw]
Torque nominal	14 [Nm]	7,5 [Nm]	19,2[Nm]
Torque pico	40 [Nm]	nd	7 [Nm]
Eficiencia	91%	90%	83%
Mantenimiento	Libre	Libre	cambio de carbonillos
Disponibilidad	Inmediata	Inmediata	Inmediata
Peso	11 kg	12 kg	nd
Resistencia agentes externos	Si cubierta de aluminio	Si cubierta de aluminio	Si cubierta de aluminio
Refrigeración	Líquido	Aire	Aire
Diámetro	206[mm]	223[mm]	nd
Longitud	174[mm]	195,1[mm]	nd
Precio sin importación	466	559	1662,69
Imagen			

Tabla 3.5. Información técnica de los motores eléctricos.

La tabla 3.5 proporciona la información de los motores que más se ajustan a los requerimientos de torque y potencia de la motocicleta eléctrica (Tabla 3.5).

## Matriz de selección del motor

Criterio de evaluación	Ponderación	Golden Motor	Mars electric LLC	LMC
Geometría	0,1	8	8	5
Potencia	0,3	10	6	10
Torque	0,2	8	4	9
Resistencia Agentes Ext.	0,05	9	7	8
Peso	0,1	6	5	6
Precio	0,15	8	6	2
Eficiencia	0,1	9,1	9	8,3
Resultado	1	8,56	6,05	7,43

Tabla 3.6. Matriz de selección del Motor.

El motor seleccionado es Golden Motor HPM5000L con una puntuación de 8,56/10 (Tabla 3.6).



Figura 3.15. Motor Golden Motor HPM-5000L

### 3.3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

El controlador es un componente muy importante de la motocicleta eléctrica, es el que mueve el motor, este debe ser lo más compacto y eficiente, ya que, el espacio en las motocicletas es limitado.

#### 3.3.1. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

El proceso de selección del controlador debe cumplir con los siguientes parámetros:

### 3.3.1.1. COMPATIBILIDAD CON EL MOTOR

El controlador debe ser compatible con el motor seleccionado, Golden Motor HPM-5000L que es de tipo BLDC síncrono de corriente continua.

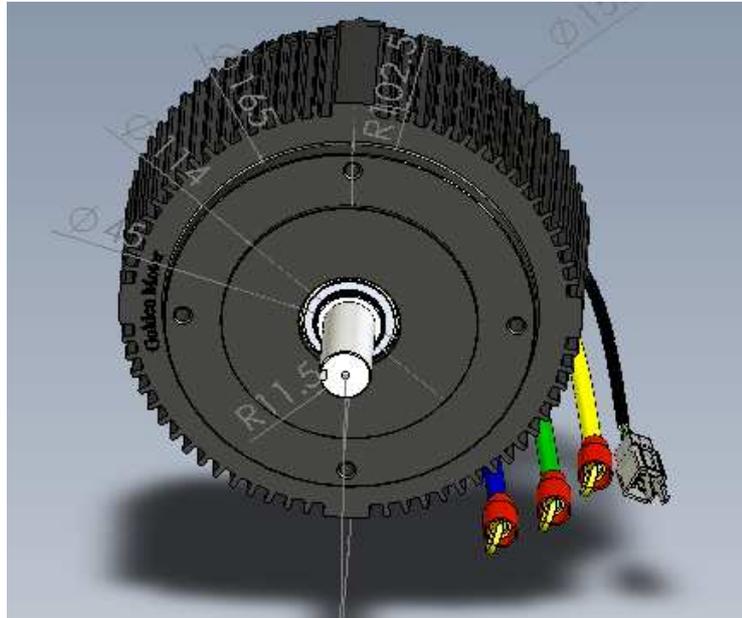


Figura 3.16. Motor Golden Motor HPM-5000L – Cables de conexión.

El motor tiene tres cables de energización y un conector correspondiente al sensor Hall (Figura 3.16). Por tal motivo lo más es seleccionar un controlador de la misma marca.

### 3.3.1.2. DIMENSIONES

Es un factor muy importante ya que en la motocicleta Suzuki Ax100 no se posee gran espacio, se debe elegir el controlador de menores dimensiones posibles.

### 3.3.1.3. PESO

En general los sistemas de control son de ligeros, por lo tanto estos no inciden mayormente en la autonomía y desempeño de la motocicleta.

### 3.3.2. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR

De acuerdo al motor seleccionado, se puede elegir entre los siguientes tipos de controladores (Tabla 3.7):

Marca	Golden Motor	Golden Motor	Golden Motor
Procedencia	China	China	China
Modelo	HPC300	HPC500	HPC700
Tipo	Brussless Motor Controller	Brussless Motor Controller	Brussless Motor Controller
Voltaje	48 [v]	48 [v]	48 [v]
Corriente de fase	180 [A]	300 [A]	420 [A]
Corriente máxima por 1 minuto	360 [A]	600 [A]	840[A]
Eficiencia	98%	98%	98%
Peso	2,2 kg	2,9 kg	5,7 kg
Refrigeración	Aire	Aire	Aire
Ancho	191,5[mm]	191,5[mm]	200[mm]
Longitud	146,5[mm]	207,50[mm]	276[mm]
Altura	76,45[mm]	75,85[mm]	101,25[mm]
Precio sin importación	395	580	830
Imagen			

Tabla 3.7. Información técnica de controladores.

### Matriz de selección del controlador

Criterio de evaluación	Ponderación	Golden Motor	Golden Motor	Golden Motor
Modelo		HPC300	HPC500	HPC700
Geometría	0,1	9	8	7
Voltaje	0,3	10	10	10
Amperaje nominal	0,2	9	5	3
Amperaje pico	0,05	9	5	3
Peso	0,1	10	8	4
Precio	0,15	8	5	3
Eficiencia	0,1	9,8	9,8	9,8
Resultado	1	9,33	7,58	6,28

Tabla 3.8. Matriz de selección del controlador.

El controlador seleccionado es Golden Motor HPC300 con una puntuación de 9,33/10 (Tabla 3.8).

### 3.4. SELECCIÓN DE BATERÍAS

La selección de baterías determinara el rendimiento y autonomía de la motocicleta eléctrica. Las baterías deberán ser la de mayor densidad energética y con la más alta tecnología existente en Ecuador.

#### 3.4.1. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE BATERÍAS

##### 3.4.1.1. TENSIÓN Y CORRIENTE ELÉCTRICA

Partiendo de los datos del motor y controlador el banco de baterías en conjunto deberá proporcionar 48 Voltios, y 125 Ah, debido a que el motor consume 6045 W y entrega 5149 W, además de 220 W, por accesorios eléctricos (focos, pito, direccionales, bomba de refrigerante). Ver anexo E

En el mercado nacional las baterías que más se ajustan al requerimiento de la motocicleta eléctrica son las baterías de autos, las cuales tienen 12 voltios, es decir se deberá hacer una conexión de 4 baterías en serie (figura 3.17).

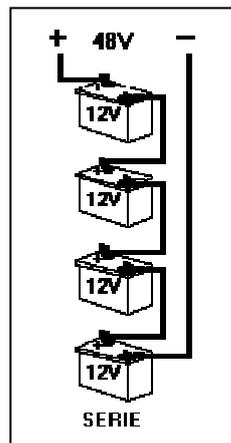


Figura 3.17. Conexión de baterías en Serie.

Al conectar las 4 baterías se incrementa la tensión a 48 voltios, manteniendo la corriente nominal de las baterías.

#### **3.4.1.2. PESO**

Se deberá tomar en cuenta que el peso de las baterías debe estar entre el 30% y 40% del peso total de la motocicleta, ya que, las baterías podrían rebasar la capacidad de carga de la motocicleta.

#### **3.4.1.3. TECNOLOGÍA**

Las baterías deben ser libres de mantenimiento. Las rejillas deben estar compuestas de una aleación de plomo-calcio-plata. La aleación de plata proporciona a la rejilla alta resistencia contra corrosión incluso en altas temperaturas, lo que resulta en una vida útil mayor y una resistencia mejor contra sobrecargas. Por lo tanto, las baterías calcio-calcio y calcio-plata son libres de antimonio. El consumo de agua se reduce y, consecuentemente, el electrólito no necesita ser repuesto durante toda su vida útil.

Las baterías plomo-calcio poseen una vida útil 1,4 veces más a las baterías convencionales, mientras que las baterías plomo-calcio-plata, poseen una vida útil 3 veces mayor que las baterías convencionales.

#### **3.4.1.4. GEOMETRÍA**

Es un factor muy importante ya que en la motocicleta Suzuki Ax100 no permite la adaptación de baterías grandes por tal motivo se debe elegir las baterías de menor dimensión.

#### **3.4.2. SELECCIÓN DE BATERÍAS**

Las baterías serán seleccionadas específicamente del mercado nacional entre las cuales podemos mencionar (Tabla 3.9):

Marca	MAC	ECUADOR	BOSCH
Procedencia	Colombia	Ecuador	Alemania
Modelo	NS 60L	42 FULL EQUIPO	42 FULL EQUIPO
Tipo	550	NS 60	42 FELM
Voltaje	12 [v]	12 [v]	12 [v]
Amperaje nominal	55 [Ah]	55 [Ah]	55 [Ah]
Descarga a Temperatura Ambiente	550 [A]	600 [A]	540[A]
Plomo Acido	NO	SI	NO
Plomo Calcio Plata Acido	SI	NO	SI
Reserva	70[A]	90[A]	90[A]
Peso	11,48 Kg	14,96 Kg	14,19 Kg
Potencia / Peso	57,49 [Whr/kg]	44,11 [Whr/kg]	46,51 [Whr/kg]
Ancho	127[mm]	135[mm]	172[mm]
Longitud	236[mm]	238[mm]	233[mm]
Altura	223[mm]	223[mm]	174[mm]
Precio	92	81	88
Imagen			

Tabla 3.9. Información técnica Baterías

### Matriz de selección

Criterio de evaluación	Ponderación	MAC	ECUADOR	BOSCH
Modelo		NS 60L 550	42 FULL EQUIPO	42 FULL EQUIPO
Geometría	0,05	8	7	7
Voltaje	0,1	10	10	10
Amperaje nominal	0,1	5	5	5
Descarga máxima	0,15	8	6	7
Tecnología	0,25	9	5	9
Densidad energética	0,3	9	6	7
Precio	0,05	6	9	8
Resultado	1	8,35	6,25	7,65

Tabla 3.10. Matriz selección de baterías.

Las Baterías seleccionadas son MAC NS60L 550 con una puntuación de de 8,35/10 (Tabla 3.10).

### 3.5. DISEÑO MECÁNICO

El diseño mecánico corresponde a la creación de nuevas piezas que permitan la sujeción de los nuevos componentes que son parte de la conversión a motocicleta eléctrica, comprende el diseño del soporte del motor, diseño de soportes para baterías, diseño del sistema de transmisión y análisis de vibraciones.

La estructura de la motocicleta resiste una carga de 150 kg (por ocupantes) según catalogo del fabricante, al añadir el nuevo sistema (motocicleta eléctrica) se emplea aproximadamente 40 kg de los 150kg de carga permitida quedando una carga libre de 110 kilogramos para el conductor, siendo este limitado a 70 kilogramos por cuestiones de potencia.

#### 3.5.1. DISEÑO DE PLACA SOPORTE DEL MOTOR

El Motor tiene las siguientes características físicas y geométricas de donde partirá el diseño para el soporte del motor.

Motor Seleccionado: Golden Motor HPM5000L (Figura3.18)



Figura 3.18. Motor Golden Motor HPM5000L

### Características

Modelo: HPM5000B -- High Power BLDC Motor

Voltaje: 48V

Potencia: 3KW-7.5KW

Eficiencia: 91%

Peso: 11 Kg

Cubierta: Aluminio

Longitud: 126mm

Diámetro: 206mm (Figura 3.19).

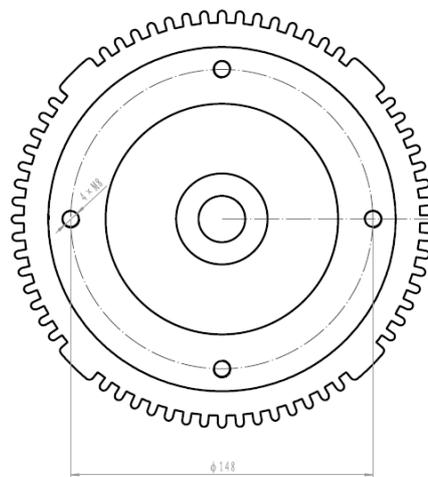


Figura 3.19. Especificación geométrica del fabricante Golden Motor

### Criterios de diseño de la placa soporte del motor

- Deberá acoplarse a la geometría del chasis.
- Soportar el motor como así misma.
- Soportar el torque máximo de 40 Nm.
- Soportar carga lateral de 1300N, siendo el caso de que la motocicleta sufra una caída.

### Diseño geométrico

El soporte del nuevo motor deberá acoplarse a la geometría del chasis donde estaba colocado el motor a gasolina (Figura 3.20), este además deberá ser estético (Figura 3.21 ; Figura 3.22).

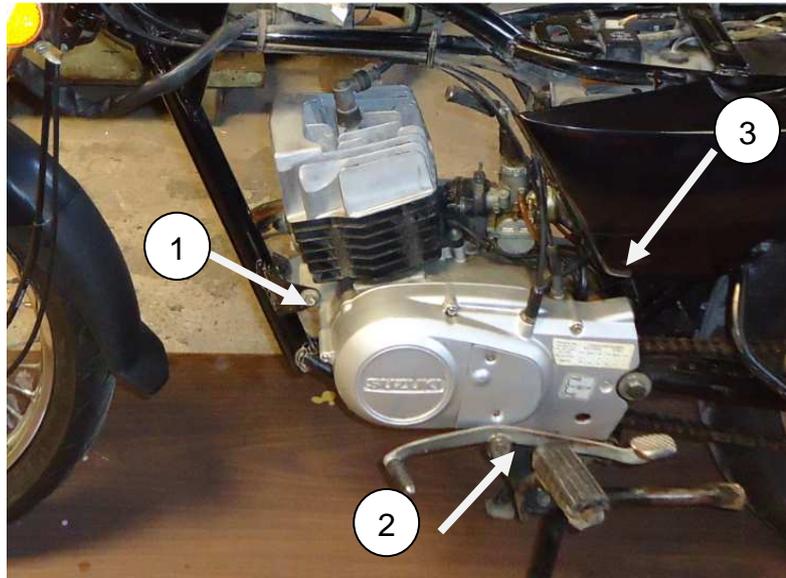


Figura 3.20. Soportes del motor a gasolina



Figura 3.21. Diseño geométrico de placa soporte del motor - SolidWorks



Figura 3.22. Comprobación del diseño geométrico

## Diseño - Resistencia Mecánica

### Cargas aplicadas

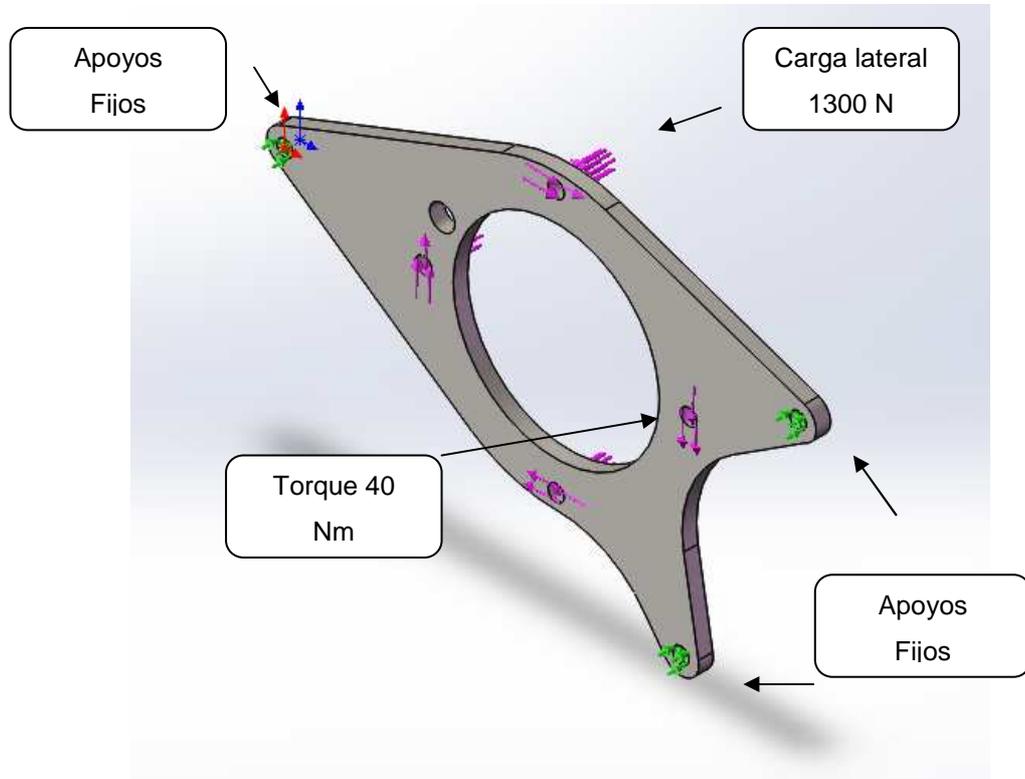


Figura 3.23. Aplicación de cargas en SolidWorks

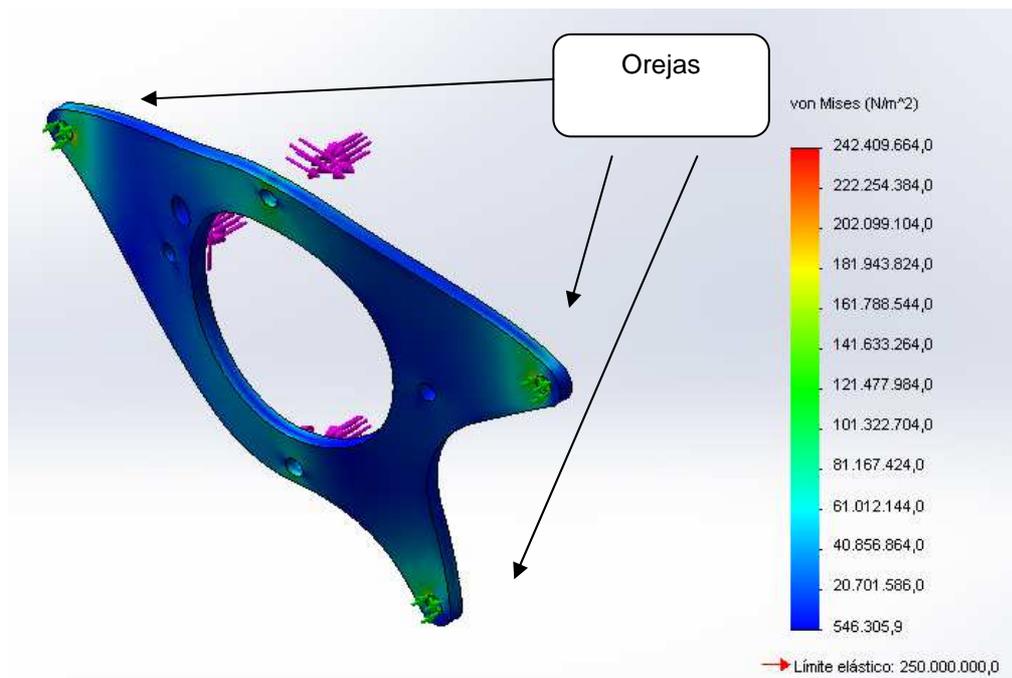


Figura 3.24. Análisis FEM Von Mises

El diseño de la placa es basado en el modelo de rigidez donde interesa encontrar las deformaciones debido a cargas laterales, puesto que si hubiese una deformación considerable (ej: 10mm) la cadena podría salir de funcionamiento, por desalineación. El análisis Von Mises determina que los esfuerzos más grandes se ubican cerca de las orejas de la placa con un valor máximo de 140 Mpa (Figura 3.24).

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{250 \text{ Mpa}}{140 \text{ Mpa}} = 1.8$$

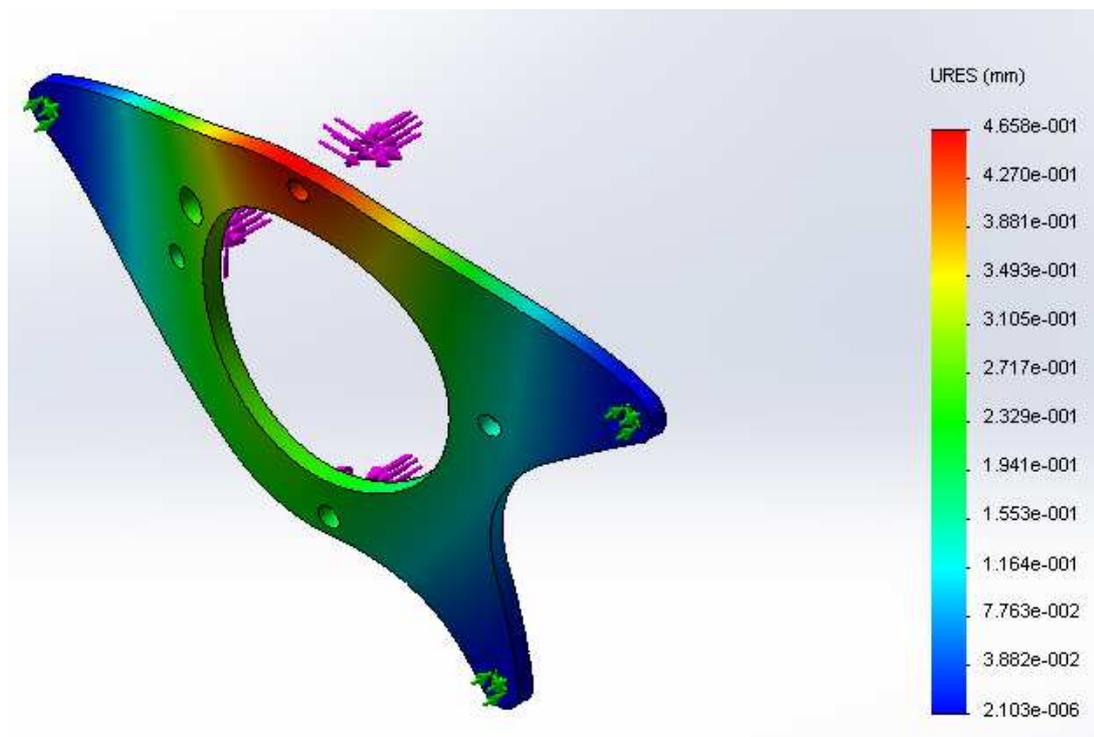


Figura 3.25. Análisis FEM – Desplazamientos

La deformación es el parámetro más importante, siendo el máximo es de 0,465 mm (Figura 3.25), evitando que la cadena salga de su posición de trabajo.

### Material Seleccionado

Plancha ASTM A36 8mm de espesor (Ver plano en Anexo D)

### 3.5.2. DISEÑO DE SOPORTE DE BATERÍAS

Las baterías tienen las siguientes características físicas y geométricas de donde se partirá el diseño de los soportes.

Baterías Seleccionadas: MAC NS60L 550 (Figura 3.26).

INFORMACIÓN TÉCNICA									
REFERENCIACIÓN NORMA					REFERENCIACIÓN MAC				
BCI	JIS	DIN	REFERENCIA	GRUPO					
51 / 51R	N40, NS60 / N40L, NS60L		NS60550	NS60 / NS60L					
DIMENSIONES (mm)			PESO (CON ÁCIDO)		UNIDADES	NIVELES POR ESTIBA			
Largo	Ancho	Alto	Kgs	Libras	Cantidad por Nivel	Cantidad por Estiba			
236	127	223	11.48	25.32	36	3	4	5	
ESPECIFICACIONES									
CCA (0°F)	RESERVA (min)	TERMINAL				FIGURA			
390	70	B. DELGADO THIN		A. ESTÁNDAR STANDARD					
		+	-	+	-				
		14,7	12,9	19,4	17,8				

Figura 3.26. Especificaciones Técnicas de Baterías MAC

#### Criterios de diseño

- Los soportes deben resistir el peso de las baterías (200N), como así mismos.
- Los soportes deben proteger la integridad de las baterías (diseño por rigidez).
- Los soportes deberán resistir 1000N de carga lateral, siendo el caso de que la motocicleta sufra una caída.

## Diseño geométrico

Las baterías deberán ser ubicadas estratégicamente en el chasis, de tal manera que se encuentren en una posición que no afecte la ergonomía para el conductor, además de estar ubicadas dos adelante (cerca al eje delantero) y dos atrás (al eje posterior) de tal manera que la motocicleta se encuentre lo mas balanceada posible.

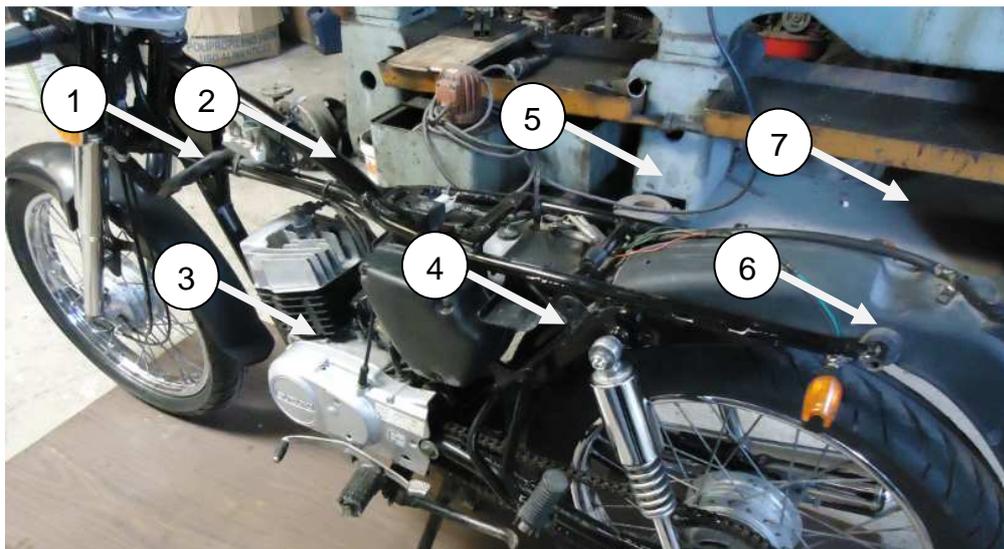


Figura 3.27. Puntos de sujeción para soportes de baterías.

Las baterías se pueden fijar en los siguientes puntos (Figura 3.27).

- Punto 1, ubicado en la placa delantera, que sostiene el tubo donde se soporta el castillo.
- Punto 2, ubicado en la bobina y resistencia del sistema de encendido (motor a gasolina), donde existen 3 soportes roscados M6 x 1,25mm.
- Punto 3, ubicado en la oreja delantera del soporte del motor.
- Punto 4 y 5, puntos de sujeción en los amortiguadores.
- Punto 6 y 7, puntos de sujeción en la parrilla.

Los soportes de baterías delanteros están fijados en los puntos 1,2 y 3 y los posteriores en los puntos 4, 5, 6 y 7 (Figura 3.28; Figura 3.29).

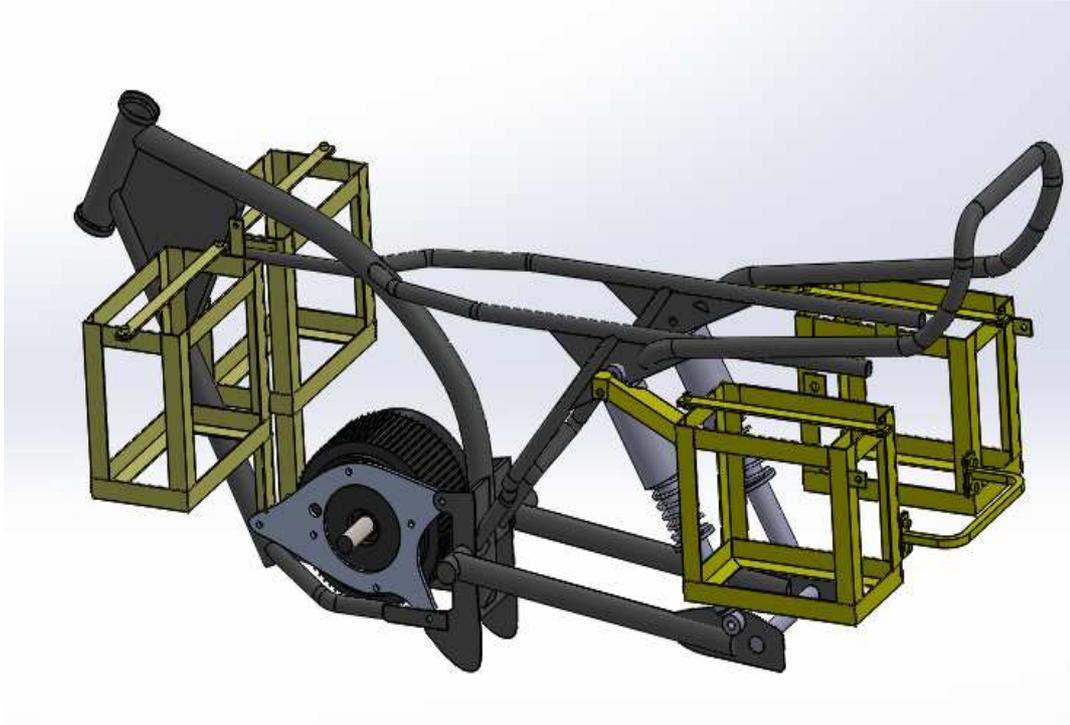


Figura 3.28. Diseño geométrico ubicado en el Chasis – SolidWorks

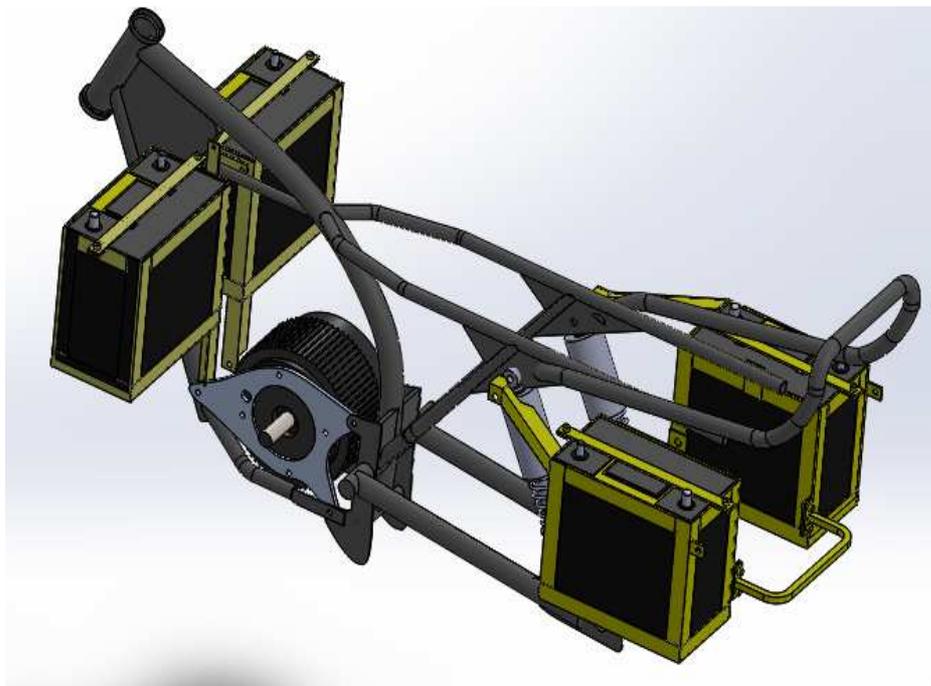


Figura 3.29. Diseño geométrico ubicado en el Chasis con baterías – SolidWorks

## Diseño - Resistencia Mecánica

### Cargas aplicadas

- Soportes delanteros (Figura 3.30).

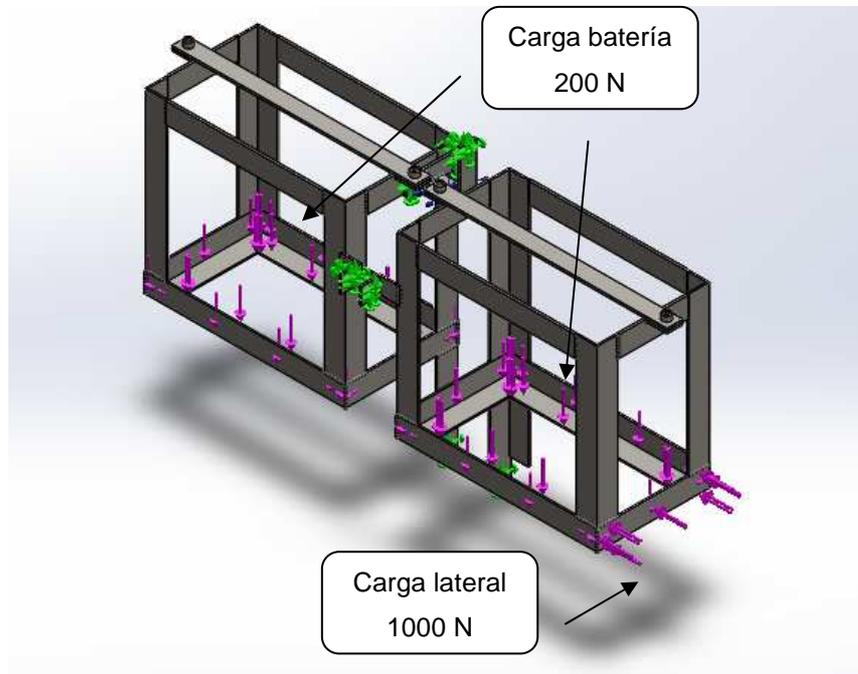


Figura 3.30. Aplicación de cargas – soporte delantero

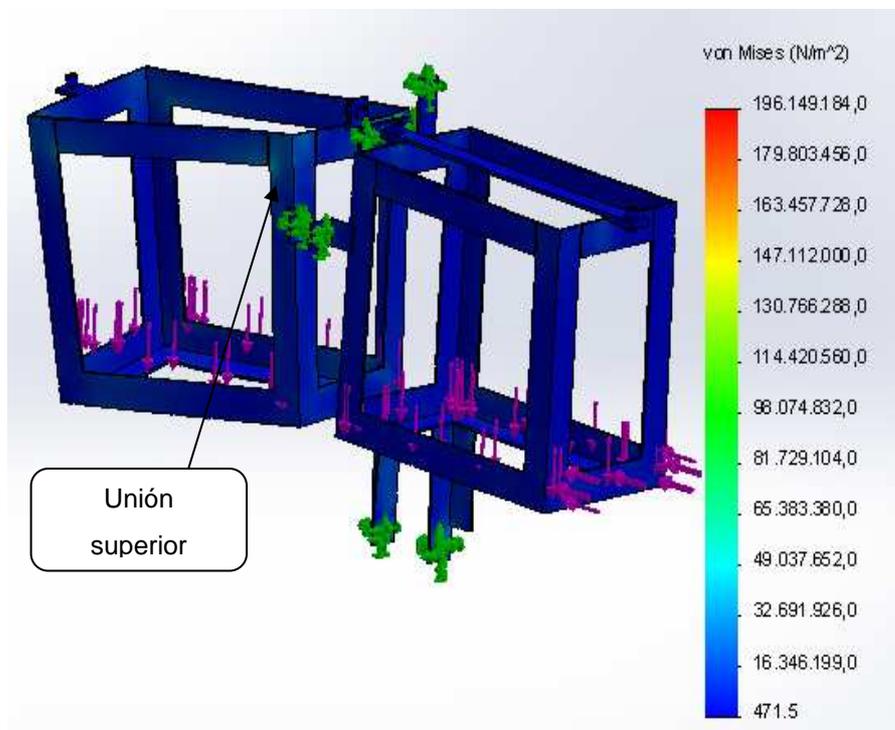


Figura 3.31. Análisis FEM Von Mises

El diseño es basado en el modelo de rigidez donde interesa encontrar las deformaciones debido a cargas laterales, ya que si hubiese una deformación exagerada podría haber un daño en las baterías, con posible derrame de ácido. El análisis Von Mises (Figura 3.31) determina que los esfuerzos más grandes se ubican en las uniones superiores de los cubos que alojan las baterías, con un valor máximo de 100 Mpa.

$$Fs = \frac{Sy}{\sigma_{max}} = \frac{250 \text{ Mpa}}{100 \text{ Mpa}} = 2.5$$

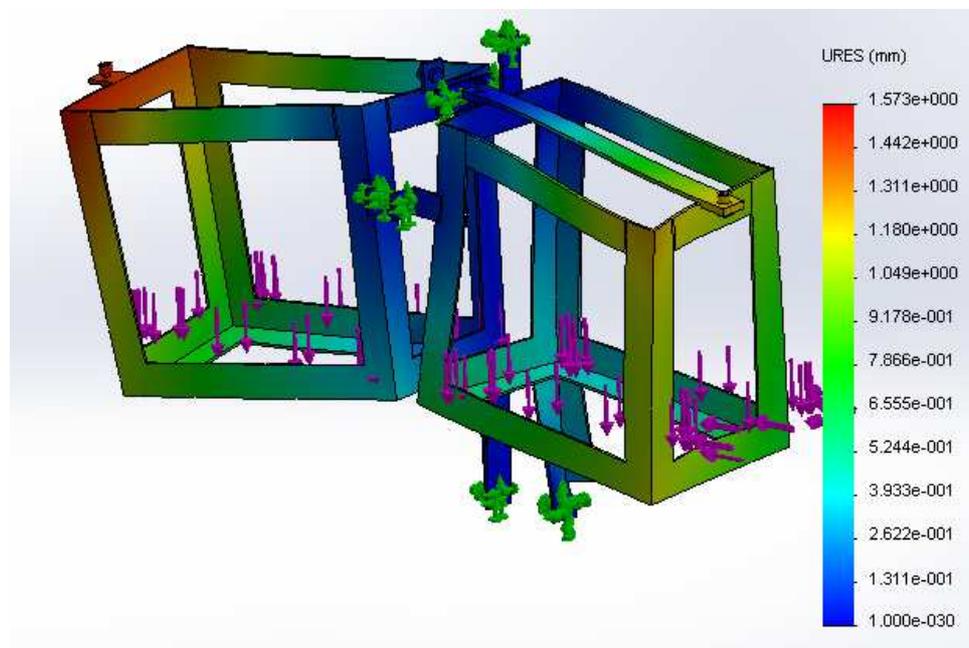


Figura 3.32. Análisis FEM - Desplazamientos

El desplazamiento (Figura 3.32) es el parámetro más importante debido al ácido que existe en las baterías, con una deformación máxima es de 1,6 mm, con lo cual no afecta la integridad de las baterías.

### **Material Seleccionado** (Ver plano en Anexo D)

Ángulo ASTM A36 de 25 mm x 2mm

Platina ASTM A36 de 19mm x 3mm

- Soportes Posteriores (Figura 3.33).

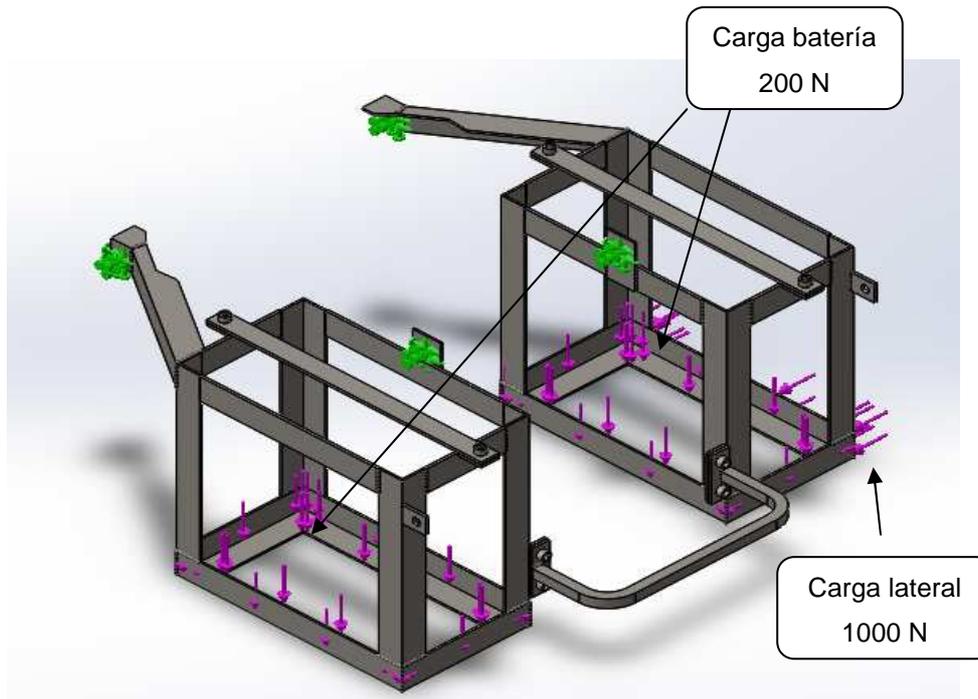


Figura 3.33. Soporte Posterior sometido a cargas

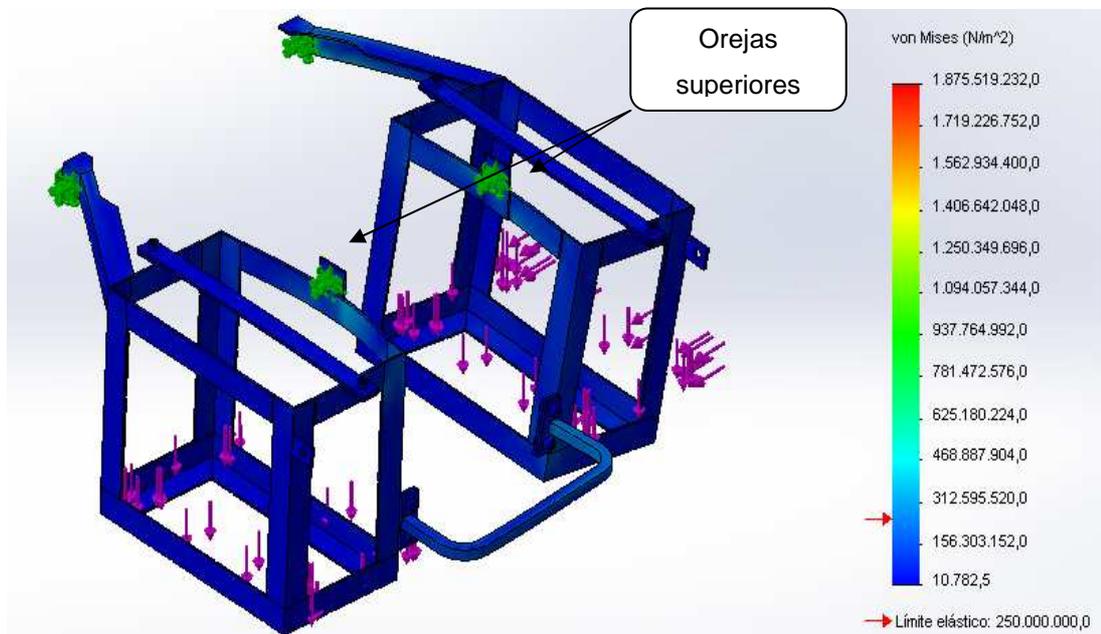


Figura 3.34. Análisis FEM Von Mises

El diseño de los soportes de baterías posteriores es basado en el modelo de rigidez donde interesa encontrar las deformaciones debido a cargas laterales, ya que si hubiese una deformación exagerada podría haber un daño en las baterías con posible derrame de ácido. El análisis Von Mises determina que los esfuerzos más grandes se ubican en las orejas soporte de baterías (Figura 3.34), con un valor máximo de 250 Mpa valor que es el límite de fluencia en el acero Astm A 36, evitando así deformaciones permanentes.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{250 \text{ Mpa}}{250 \text{ Mpa}} = 1$$

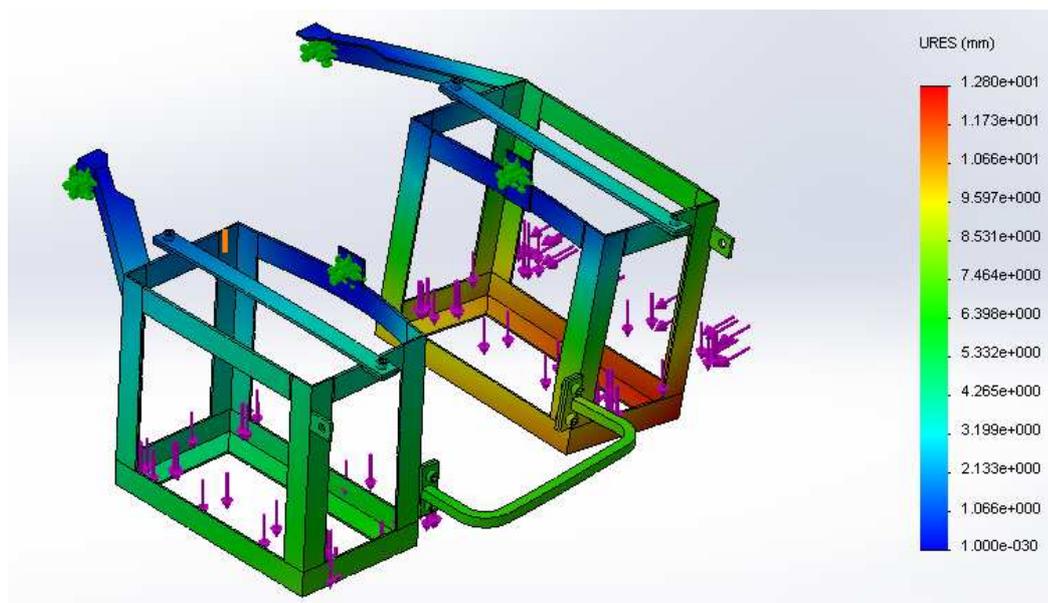


Figura 3.35. Análisis FEM - Desplazamientos

El desplazamiento es el parámetro más importante, la deformación máxima es de 1,2 mm, sin afectar la integridad de las baterías.

**Material Seleccionado** (Ver plano en Anexo D)

Ángulo ASTM A36 de 25 mm x 2mm

Platina ASTM A36 de 19mm x 3mm

### 3.5.3. DISEÑO SOPORTE DE CONTROLADOR

El controlador tiene las siguientes características físicas y geométricas de donde se partirá el diseño.

Controlador seleccionado: HPC300 (Figura 3.36)

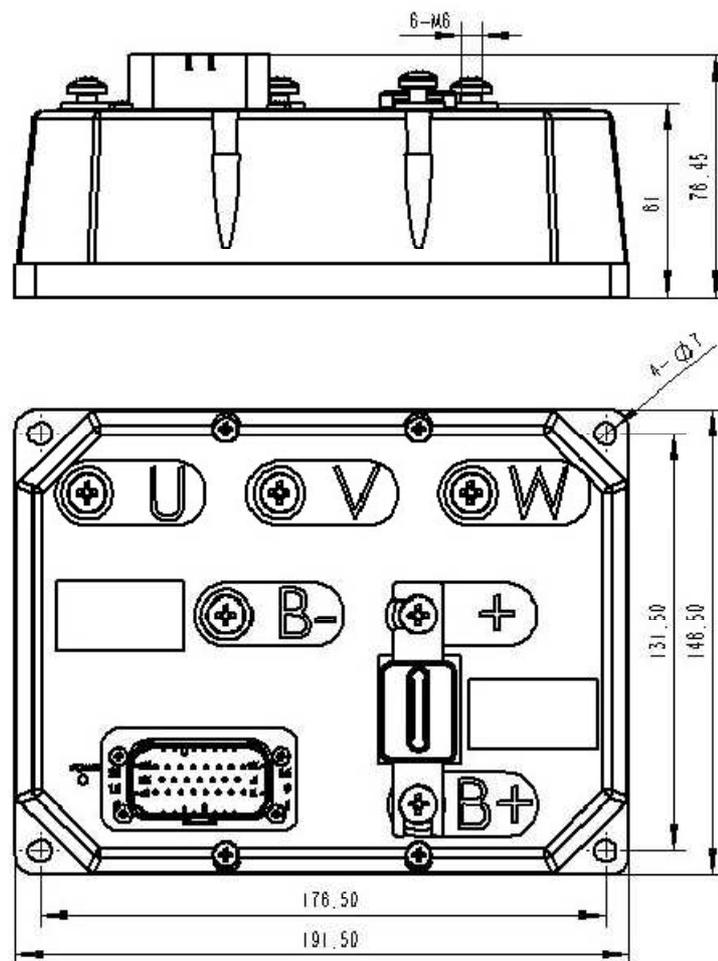


Figura 3.36. Especificaciones geométricas del controlador HPC300

#### Criterios de diseño

- La base debe resistir el peso del controlador (40N) y sus cables como así mismo.
- La base del debe proteger la integridad del controlador (diseño por rigidez).
- La base debe soportar 100N de carga superior por el roce con el asiento.

### Diseño Geométrico

El controlador debe ubicarse en un lugar estratégico (Figura 3.37), de tal manera que proteger su integridad, además de contar con el espacio suficiente para disipar el calor generado (Figura 3.38).

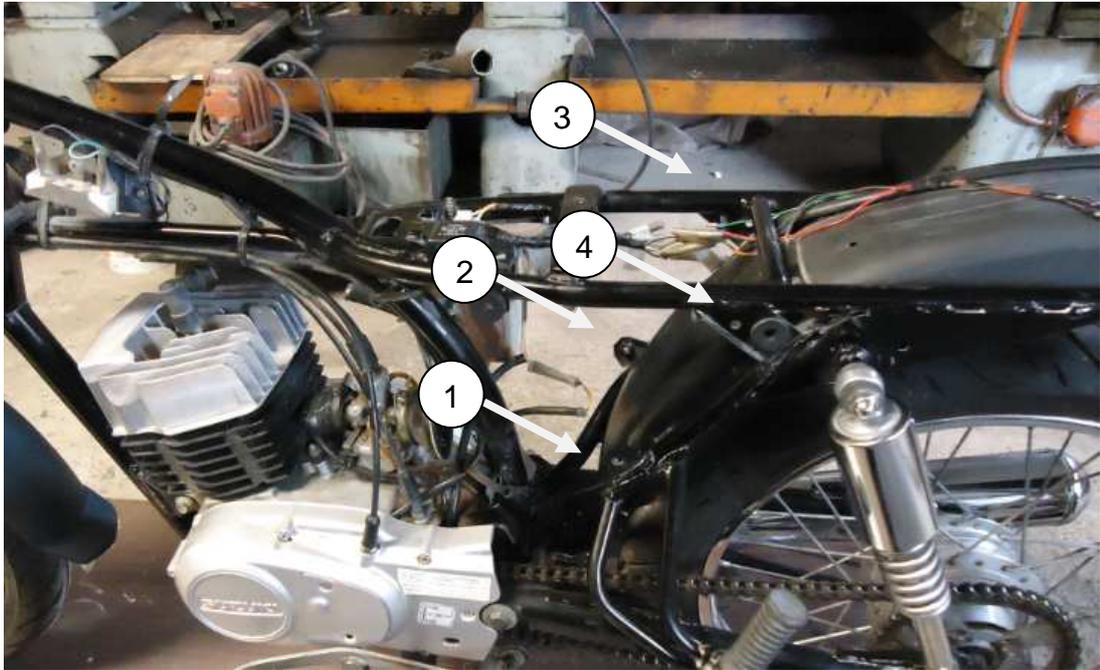


Figura 3.37. Puntos para soporte de controlador

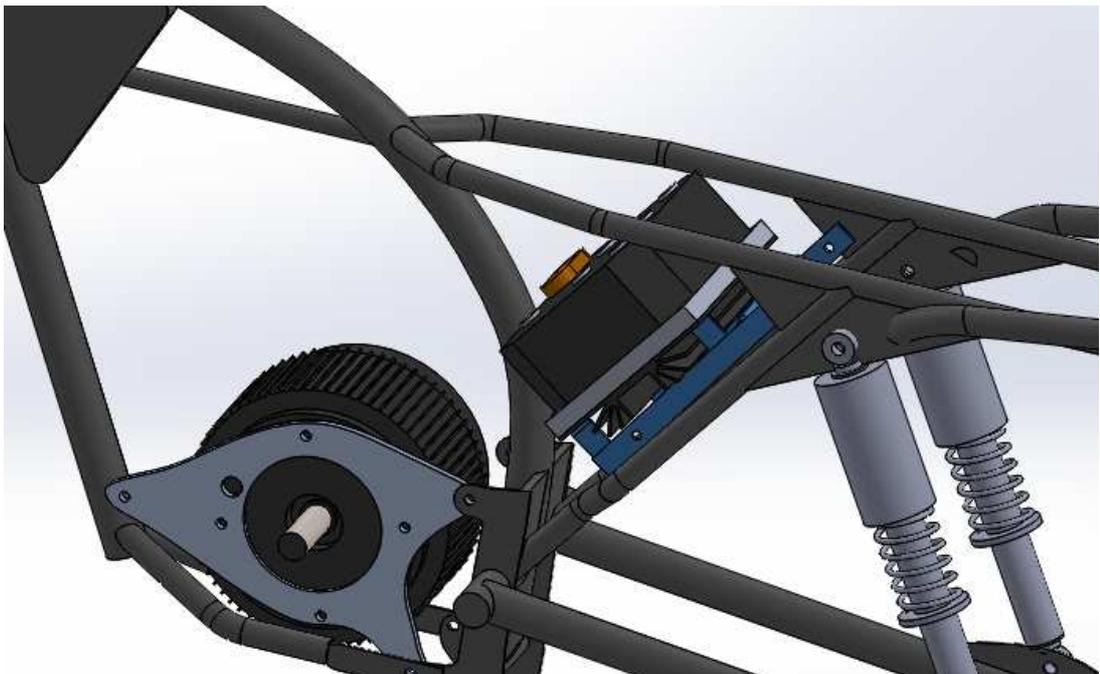


Figura 3.38. Diseño geométrico Ubicado en el Chasis – SolidWorks

## Diseño - Resistencia Mecánica

Cargas aplicadas (Figura 3.39)

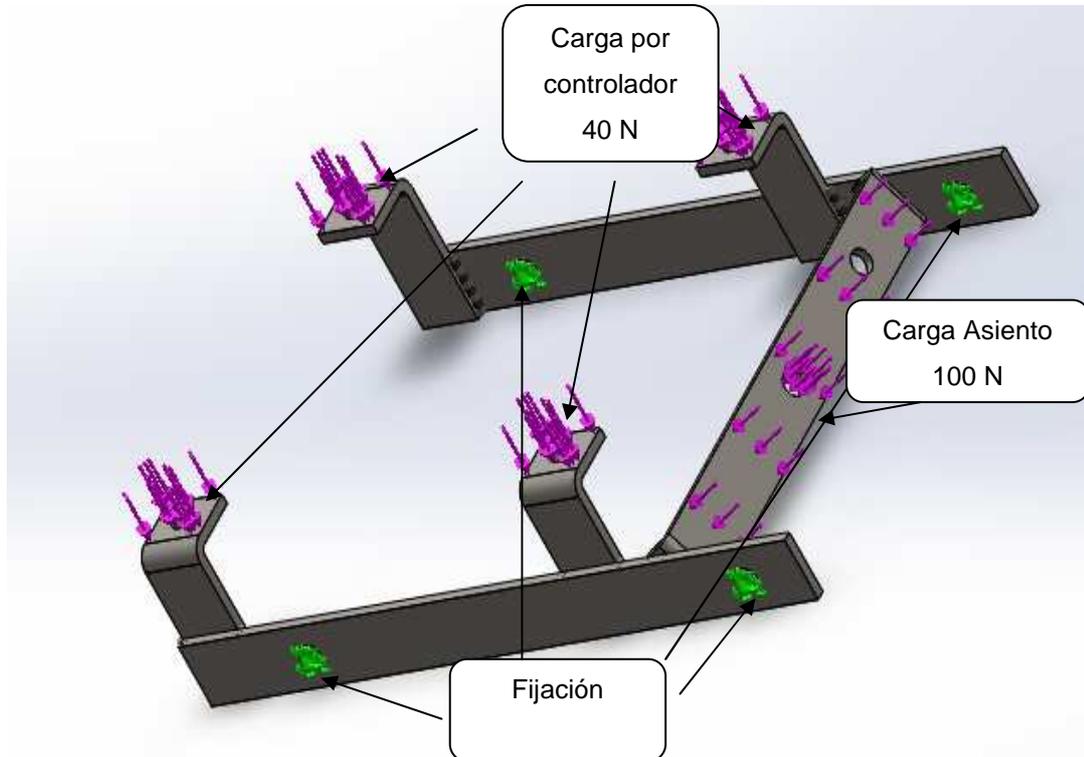


Figura 3.39. Aplicación de cargas en SolidWorks

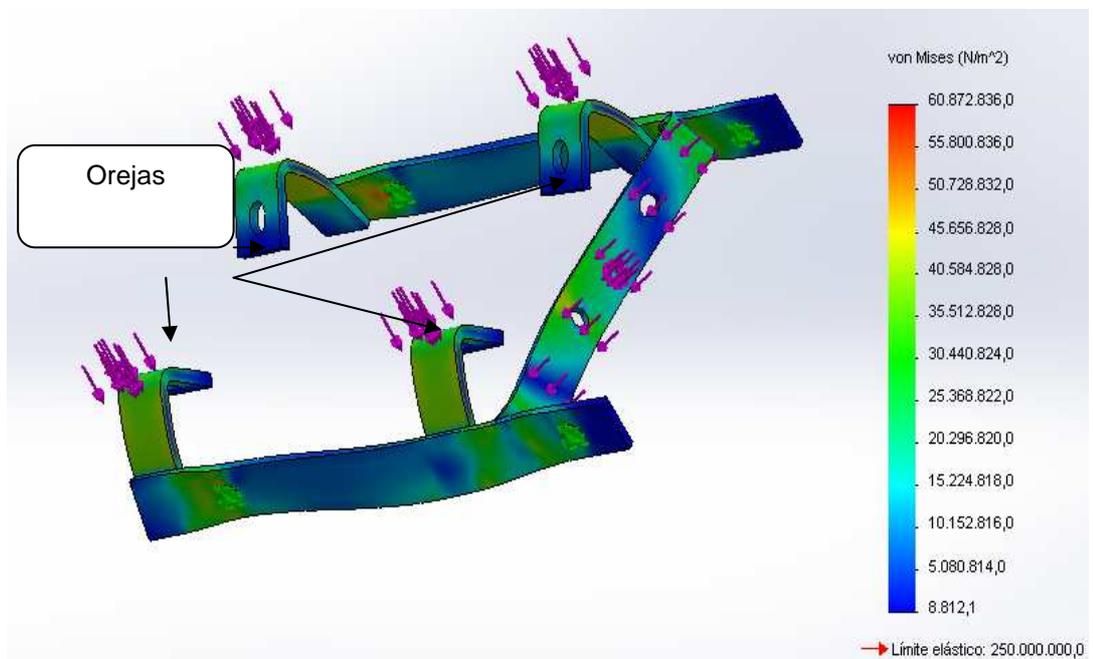


Figura 3.40. Análisis FEM Von Mises

El diseño del soporte del controlador es basado en el modelo de rigidez donde interesa encontrar las deformaciones debido al peso del controlador y el roce por el asiento. El análisis Von Mises determina que los esfuerzos más grandes se ubican cerca de las orejas (Figura 3.40), donde se fija el controlador teniendo un valor máximo de 40 mpa.

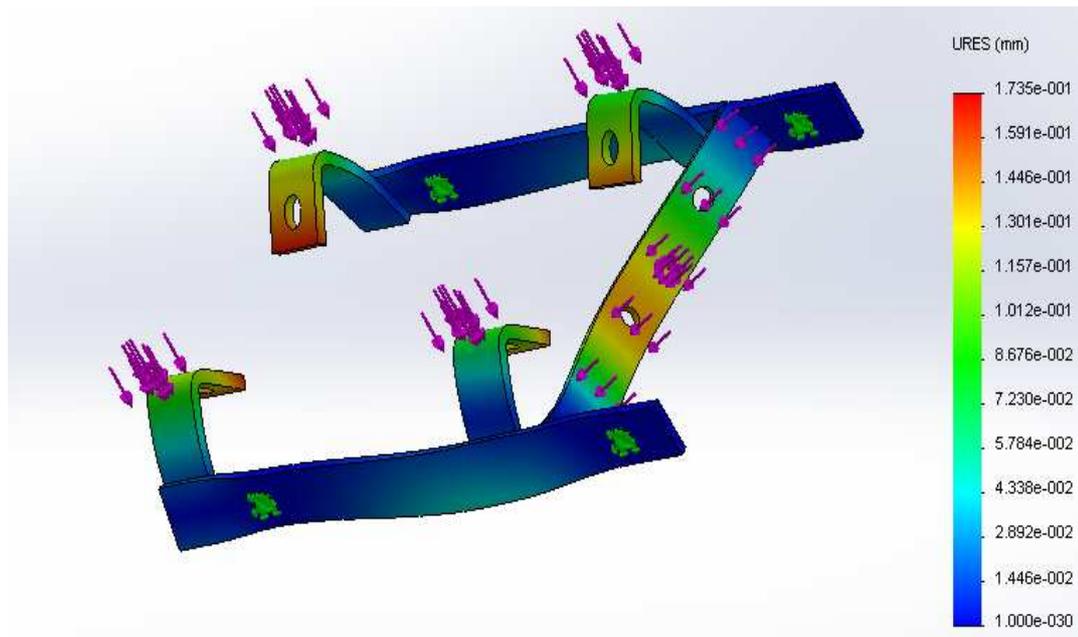


Figura 3.41. Análisis FEM - Desplazamientos

El desplazamiento es el parámetro más importante, siendo su valor máximo de 0,18 mm, sin afectar la integridad del controlador.

#### **Material Seleccionado** (Ver plano en Anexo D)

Platina ASTM A36 de 19mm x 3mm

#### **3.5.4. SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN**

La transmisión de potencia desde el motor hacia la rueda es un parámetro importante, ya que de esto dependerá el torque resultante a la rueda y la velocidad máxima de la motocicleta.

El criterio de la relación de transmisión depende de la capacidad del motor y de la demanda requerida.

Curvas características del motor seleccionado (Figura 3.42).

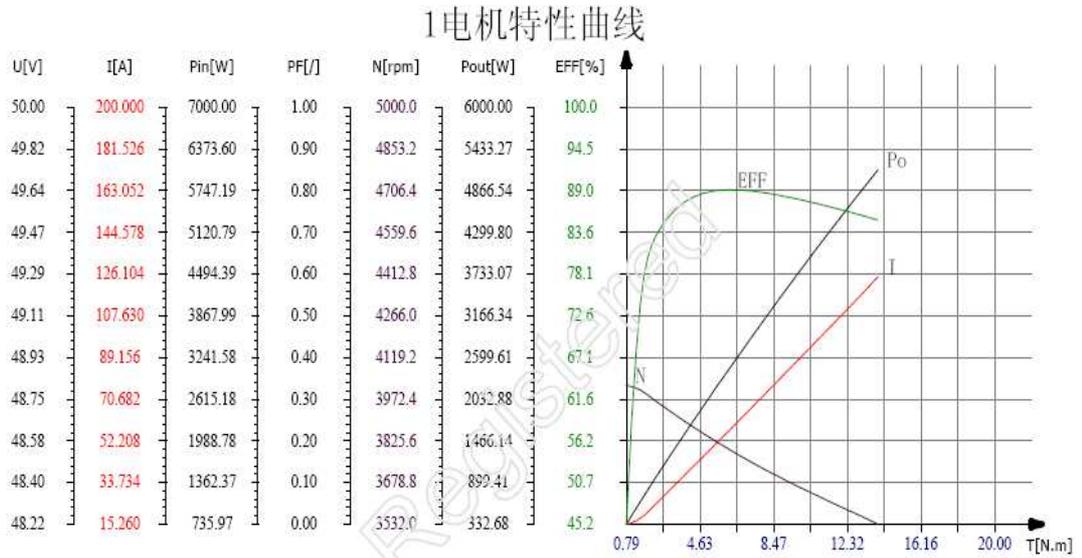


Figura 3.42. Curva característica motor HPM5000L

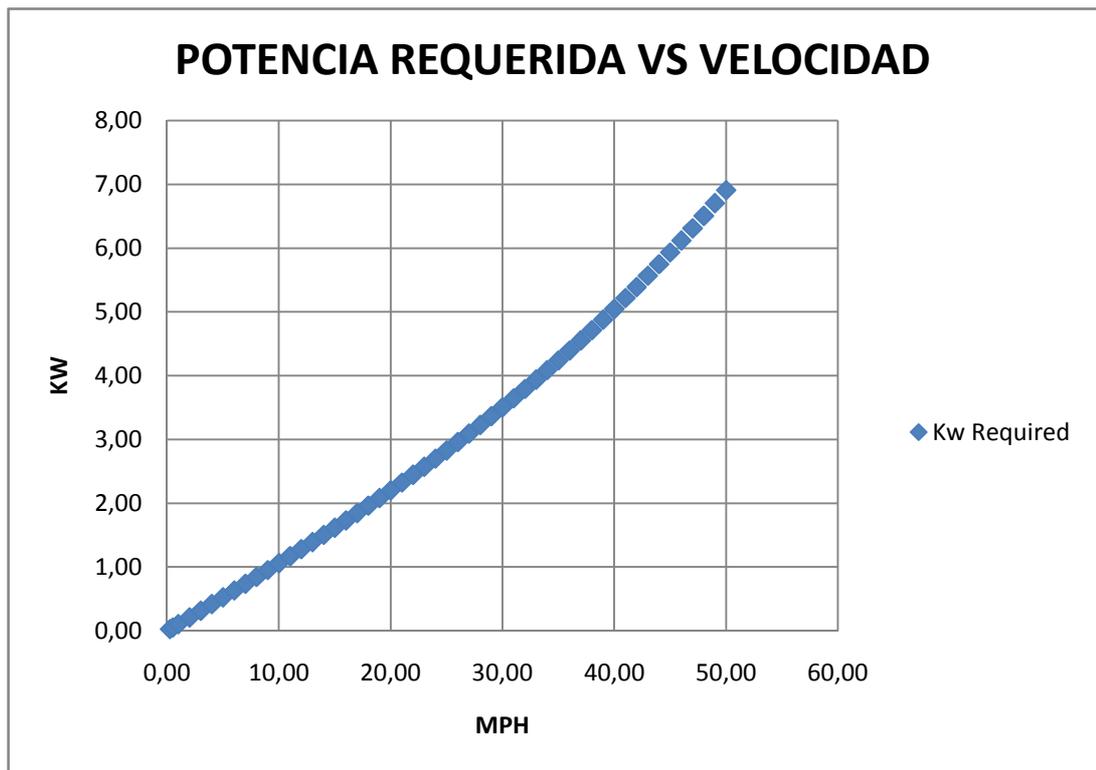


Figura 3.43. Potencia requerida en función Vs. Velocidad de desplazamiento.

## 动态测试

生产公司:	1		
电机型号:	001	额定电压:	1 V
电机编号:	0.13	额定电流:	1 A
测试人员:	0	额定功率:	1 W
测试日期:	2011-1-19	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 N. m	转速 rpm	输出功率 W	效率 %
1	48.23	15.260	735.97	1.000	0.00	0.79	4021.7	332.68	45.2
2	48.23	15.436	744.48	1.000	0.00	1.05	4020.3	442.03	59.4
3	48.23	17.531	845.54	1.000	0.00	1.36	4066.3	569.14	67.3
4	48.23	21.204	1022.67	1.000	0.00	2.00	3933.7	832.89	81.4
5	48.23	23.971	1156.11	1.000	0.00	2.27	3967.7	941.71	81.5
6	48.23	23.441	1130.58	1.000	0.00	2.06	3972.3	830.52	73.5
7	48.23	21.134	1019.29	1.000	0.00	1.89	3986.7	788.98	77.4
8	48.23	22.757	1097.59	1.000	0.00	2.10	3976.3	874.38	79.7
9	48.23	25.262	1218.29	1.000	0.00	2.47	3960.7	1024.38	84.1
10	48.22	28.503	1374.49	1.000	0.00	2.82	3942.7	1164.22	84.7
11	48.22	31.979	1542.03	1.000	0.00	3.25	3923.0	1333.68	86.5
12	48.22	36.060	1738.80	1.000	0.00	3.75	3900.7	1533.04	88.2
13	48.22	41.203	1986.96	1.000	0.00	4.34	3873.7	1760.39	88.6
14	48.22	46.333	2234.19	1.000	0.00	4.91	3846.0	1976.03	88.4
15	48.23	50.759	2447.95	1.000	0.00	5.44	3824.0	2179.61	89.0
16	48.23	56.607	2730.36	1.000	0.00	6.15	3795.7	2444.33	89.5
17	48.25	62.977	3038.62	1.000	0.00	6.88	3767.0	2713.82	89.3
18	48.27	69.237	3342.30	1.000	0.00	7.57	3739.3	2962.75	88.6
19	48.30	75.204	3632.35	1.000	0.00	8.27	3714.7	3215.49	88.5
20	48.33	81.655	3946.10	1.000	0.00	9.02	3688.7	3485.24	88.3
21	48.36	88.236	4266.78	1.000	0.00	9.78	3663.3	3752.84	88.0
22	48.41	95.243	4610.40	1.000	0.00	10.60	3638.3	4039.63	87.6
23	48.43	102.775	4977.75	1.000	0.00	11.43	3610.3	4321.06	86.8
24	48.45	110.227	5340.11	1.000	0.00	12.27	3584.7	4606.89	86.3
25	48.44	117.393	5686.53	1.000	0.00	13.10	3559.0	4880.74	85.8
26	48.42	124.857	6045.14	1.000	0.00	13.92	3532.0	5149.45	85.2

Tabla 3.11.Desempeño motor HPM5000L (catálogo)

### Criterios de Diseño

- El motor tiene una potencia pico de 7,5 Kw y un torque máximo de 40 Nm (según catálogo), por lo tanto se descarta la posibilidad de utilización de caja de cambios, ya que el torque requerido a 40 mph en una pendiente del 0% es de 19 Nm (Tabla 3.12)
- El motor tiene una potencia nominal de 5Kw y un torque nominal de 14 Nm.
- La máxima eficiencia del motor es del 91%, a las 4700 rpm.
- La mayoría de tiempo de uso de la motocicleta será en la ciudad a una velocidad de 40 mph.

Speed mph	Kw Required	Requerided torque at rear wheel Nm
5,00	0,11	11,90
10,00	0,19	9,09
15,00	0,31	9,90
20,00	0,46	11,02
25,00	0,65	12,47
30,00	0,89	14,24
35,00	1,19	16,33
40,00	1,56	18,74

Tabla 3.12. Requerimiento de torque en la rueda posterior pendiente del 0%.

### Relación de transmisión

Datos obtenidos de la interpolación entre los numerales 12 y 13 tabla 3.11

Análisis	Requerido kw	Obtenido Nm
Potencia	1,56	1,56
Torque	18,74	3,82

Tabla 3.13. Demanda de torque, capacidad de torque del Motor.

$$i1 = \frac{\text{Torque Requerido}}{\text{Torque Obtenido} * \eta} = \frac{18,74}{3,82 * 0,98} = 5,00 \quad 3.16$$

$\eta = 0,98$  es la eficiencia de transmisión por catalinas, bien lubricadas y limpias.

Speed mph	Kw Required	Requerided torque at rear wheel Nm
5,00	0,55	69,98
10,00	1,06	70,66
15,00	1,62	71,77
20,00	2,20	73,33
25,00	2,83	75,33
30,00	3,50	77,78
35,00	4,24	80,67
40,00	5,05	84,01

Tabla 3.14. Requerimiento de torque en la rueda posterior pendiente del 10% caso más crítico.

### Relación de transmisión

Datos obtenidos de la interpolación entre los numerales 25 y 26 tabla 3.11.

Análisis	Requerido kw	Obtenido Nm
Potencia	5,05	5,05
Torque	84,01	13,61

Tabla 3.15. Demanda de torque, capacidad de torque del Motor.

$$i2 = \frac{84,01}{13,61 * 0,98} = 5,99$$

Los vehículos eléctricos, están diseñados para circular en un 90 % partes planas y un 10% de pendientes, por lo tanto la relación de transmisión para la motocicleta eléctrica será de 5, y en el caso que existiese un mayor requerimiento de torque será compensado por la potencia y torque pico del motor.

## Selección de Cadena y Catalinas

La relación de transmisión original con el motor a gasolina es de 3, siendo el conductor de 14 y el conducido de 42 dientes (Figura 3.44), con cadena numero 40 según la norma ANSI CHAINS.



Figura 3.44. Relación de transmisión con motor a Gasolina  $i=3$ .

## Selección de la cadena.

La capacidad de transmisión de la cadena implica analizar si existen transmisiones de carga frecuente o severa, donde se debe aplicar el factor adecuado según el tipo de motor.

Tipo de Impacto	Máquinas	Fuente de energía		
		Motor eléctrico o turbina	Motor de Combustión Interna	
			Con Hydraulic Drive	Sin Hydraulic Drive
Alise	Transportadores de cinta con pequeñas fluctuaciones de carga, transportadores de cadena, sopladores centrífugos, máquinas textiles ordinarias, las máquinas ordinarias con fluctuaciones de carga pequeña.	1.0	1.0	1.2
Algún impacto	Los compresores centrífugos, motores marinos, transportadores con algunas fluctuaciones de carga, hornos automáticos, secadoras, pulverizadores, máquinas herramientas en general, compresores, máquinas de trabajo generales, las fábricas de papel en general.	1.3	1.2	1.4
Alto impacto	Press, la construcción o la minería, máquinas de vibración, plataformas de petróleo y, mezcladores de goma, rodillos, máquinas generales con cargas inversas o de alto impacto.	1.5	1.4	1.7

Tabla 3.16. Factor de servicio <sup>[20]</sup>

$K_s=1,3$  factor de servicio

El diámetro del eje del motor es 7/8" (22,22mm) mas la claveta el diámetro mínimo del cubo de la catalina será mayor a 27,22mm.

Con el numero de cadena de la transmisión original (motor gasolina) ANSI 40 escogemos una catalina de 12 dientes como conductora con un diámetro nominal de 49 mm, siendo el diámetro de cubo aproximadamente 39,6mm para efectos de maquinado.

### Tensión máxima de la cadena.

$$Tensión = \frac{Torque * K_s}{r} \quad 3.17$$

T = Torque Nm

$K_s$  = Factor de Servicio

r = Radio de la catalina conductora en metros

$$Tensión = \frac{40 * 1,3}{0,0245} = 2122,45 N$$

Tensión de la cadena 2122,45kg ó 467,92 lb

ANSI Standard Chain Dimensions					
Chain No.	Pitch	Roller Diameter	Roller Width	Sprocket thickness	Working Load
25	1/4"	0.130"	1/8"	0.110"	140 lbs
35	3/8"	0.200"	3/16"	0.168"	480 lbs
40	1/2"	5/16"	5/16"	0.284"	810 lbs
41	1/2"	0.306"	1/4"	0.227"	500 lbs
50	5/8"	0.400"	3/8"	0.343"	1400 lbs
60	3/4"	15/32"	1/2"	0.459"	1950 lbs
80	1"	5/8"	5/8"	0.575"	3300 lbs

Tabla 3.17. Cadenas según ANSI STANDARD CHAIN

La cadena más empleada en motocicletas es la ANSI 40, por poseer una geometría adecuada, además de cumplir con los requerimientos mecánicos correspondientes para la motocicleta eléctrica (Tabla 3.16 ; Tabla 3.17).

Con la cual obtendríamos un factor de seguridad de:

$$F_s = \frac{\text{Carga de Trabajo ANSI 40}}{\text{Tensión de la cadena}} \quad 3.18$$

$$F_s = \frac{810}{467,92} = 1,8$$

La marca de mayor comercialización de cadenas en Ecuador es KANA, además esta marca (Figura 3.45) cumple los requerimientos según la norma ANSI STANDARD CHAIN.

## **KANA** ANSI STANDARD ROLLER CHAIN

### ANSI STANDARD ROLLER CHAINS

Made to ANSI B29.1 specifications(American National Standard Institute).

The chains are available as single or multiple strand and may be supplied with either riveted or cottered pins.

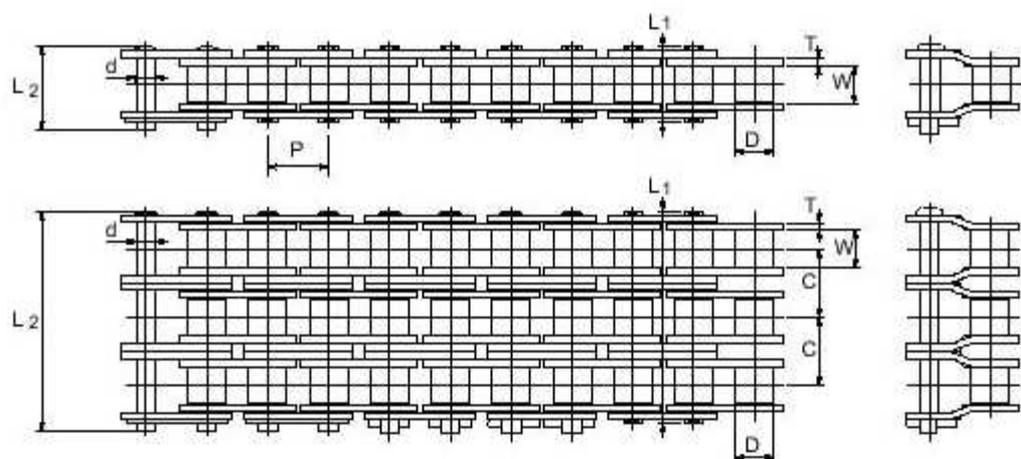


Figura 3.45. Catálogo de Cadenas Marca KANA.

ANSI Chain Number	Chain Pitch P	Inner Width W	Roller Dia. D	d	L1	L2	Link Plate Thickness T	C	Approx. Weight (lbs./ft)	Tensile Strength Ave.(lbs.)	ANSI Chain Number
25	1/4	1/8	*.130	.090	.34	.37	.030	...	.084	875	25
25-2	1/4	1/8	*.130	.090	.59	.63	.030	.252	.163	1750	25-2
25-3	1/4	1/8	*.130	.090	.84	.88	.030	.252	.246	2625	25-3
35	3/8	3/18	*.200	.141	.50	.56	.050	...	.210	2100	35
35-2	3/8	3/18	*.200	.141	.90	.96	.050	.399	.450	4200	35-2
35-3	3/8	3/18	*.200	.141	1.31	1.36	.050	.399	.680	6300	35-3
40	1/2	5/16	.312	.156	.67	.72	.060	...	.410	4000	40

Tabla 3.18. Catálogo de Cadenas Marca KANA.

### Selección de la catalina

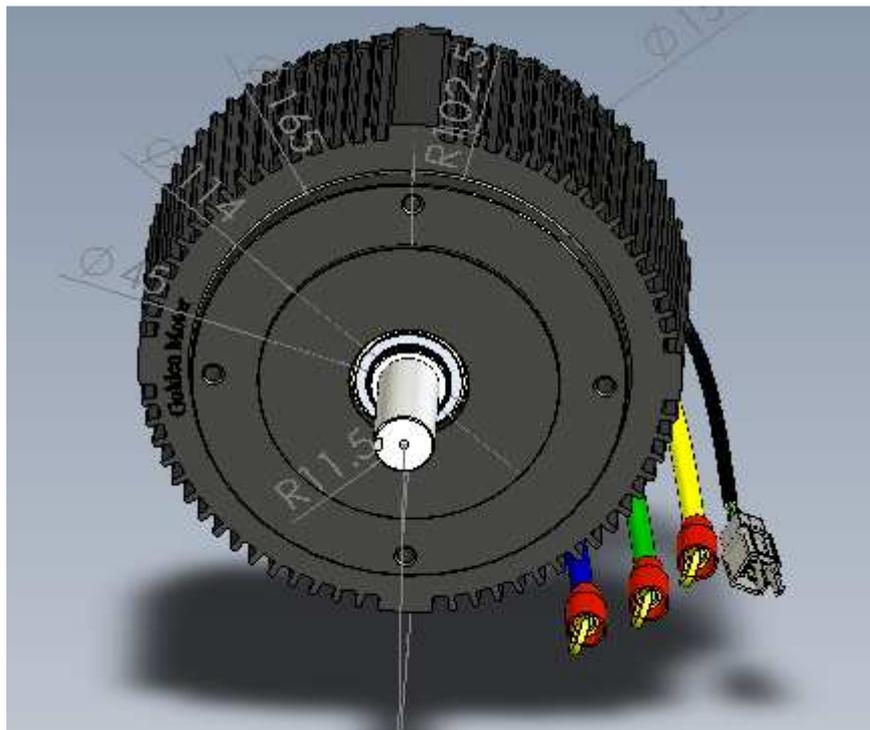


Figura 3.46. Dimensiones del eje del motor

A partir de la selección de la cadena ANSI Número 40 y la catalina conductora se puede seleccionar la conducida, manteniendo la relación de transmisión de 5.

### Selección de catalina conductora y conducida.

Type A					Type B Plain Bore						
No. Teeth	Catalog Number	List Price	Plain Bore	Wt. Lbs.	Catalog Number	List Price	Plain Bore	†Max. Bore	Hub Dia.	LTB	Wt. Lbs.
8					40B8	\$17.40	½	½	3½ <sub>32</sub> ▲	¾	.12
9					40B9	18.20	½	5⁄8	1½ ▲	¾	.22
10					40B10	18.60	½	¾	1¼ ▲	¾	.25
11					40B11	20.40	½	¾	1 <sup>29</sup> / <sub>64</sub> ▲	¾	.38
12	40A12	\$24.40	½	.26	40B12	21.80	½	1	1 <sup>9</sup> / <sub>16</sub> ▲	¾	.44
13	40A13	24.80	½	.30	40B13	22.20	½	1	1 <sup>9</sup> / <sub>16</sub>	¾	.50
14	40A14	25.80	½	.34	40B14	22.20	½	1	1 <sup>11</sup> / <sub>16</sub>	¾	.57
15	40A15	26.20	5⁄8	.38	40B15	22.20	½	1¼	1 <sup>9</sup> / <sub>16</sub>	¾	.69
16	40A16	26.20	5⁄8	.41	40B16	23.20	5⁄8	1¼	2	¾	.81
17	40A17	27.20	5⁄8	.44	40B17	27.20	5⁄8	1 <sup>5</sup> / <sub>16</sub>	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	¾	.94
18	40A18	27.20	5⁄8	.46	40B18	29.00	5⁄8	1½	2 <sup>5</sup> / <sub>16</sub>	¾	1.12
19	40A19	27.60	5⁄8	.52	40B19	33.00	5⁄8	1¾	2½	¾	1.30
20	40A20	28.40	5⁄8	.58	40B20	37.80	5⁄8	1¾	2 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	1	1.60
21	40A21	29.00	5⁄8	.64	40B21	41.80	5⁄8	1¾	2 <sup>25</sup> / <sub>32</sub>	1	1.80
22	40A22	29.80	5⁄8	.70	40B22	45.80	5⁄8	1¾	2½	1	2.00
23	40A23	30.20	5⁄8	.77	40B23	50.40	5⁄8	1¾	2½	1	2.10
24	40A24	31.20	5⁄8	.84	40B24	53.00	5⁄8	1¾	2½	1	2.20
25	40A25	31.60	5⁄8	.91	40B25	55.60	5⁄8	1¾	2½	1	2.30
26	40A26	32.40	5⁄8	1.00	40B26	58.20	5⁄8	1¾	2½	1	2.40
27	40A27	33.00	5⁄8	1.10	40B27	61.40	5⁄8	1¾	2½	1	2.50
28	40A28	33.80	5⁄8	1.10	40B28	63.60	5⁄8	1¾	2½	1	2.50
29	40A29	34.20	5⁄8	1.20	40B29	64.80	5⁄8	1¾	2½	1	2.60
30	40A30	35.20	5⁄8	1.30	40B30	65.80	5⁄8	1¾	2½	1	2.70
31	40A31	35.60	¾	1.40	40B31	66.40	¾	1¾	2½	1	2.70
32	40A32	36.60	¾	1.50	40B32	67.20	¾	1¾	2½	1	2.80
33	40A33	37.80	¾	1.60	40B33	69.00	¾	1¾	2½	1	2.90
34	40A34	38.20	¾	1.70	40B34	69.80	¾	1¾	2½	1	3.00
35	40A35	38.20	¾	1.80	40B35	70.40	¾	1¾	2½	1	3.10
36	40A36	39.20	¾	1.90	40B36	71.60	¾	1¾	2½	1	3.20
38	40A38	42.20	¾	2.10	40B38	74.80	¾	2	3	1½	3.80
40	40A40	43.20	¾	2.40	40B40	78.00	¾	2	3	1½	4.10
42	40A42	45.00	¾	2.60	40B42	79.60	¾	2	3	1½	4.30
44	40A44	47.20	¾	2.90	40B44	80.40	¾	2	3	1½	4.60
45	40A45	47.60	¾	3.00	40B45	80.60	¾	2	3	1½	4.70
46	40A46	48.60	¾	3.10	40B46	82.00	¾	2	3	1½	4.90
47	40A47	49.80	¾	3.30	40B47	85.00	¾	2	3	1½	5.10
48	40A48	50.40	¾	3.40	40B48	85.80	¾	2	3	1½	5.20
50	40A50	53.00	¾	3.70	40B50	89.80	¾	2	3	1½	5.40
54	40A54	56.60	¾	4.30	40B54	91.20	¾	2	3	1½	6.00
60	40A60	63.60	¾	5.30	40B60	96.60	¾	2	3	1½	7.00
70	40A70	75.60	1	7.20	40B70	113.80	1	2	3	1½	8.90
72	40A72	78.20	1	7.70	40B72	118.40	1	2	3	1½	9.50
80	40A80	96.60	1	9.50	40B80	138.40	1	2	3	1½	11.20
84	40A84	105.00	1	10.40	40B84	150.40	1	2	3	1½	12.10
96	40A96	134.00	1	13.70	40B96	200.60	1	2	3	1½	15.40
112	40A112	187.40	1	18.60	40B112	267.40	1	2	3	1½	20.30

Tabla 3.19. Catálogo de catalinas según Cadena ANSI 40

Se selecciona por aspectos geométricos (Tabla 3.19):

- **Catalina conductora:** 40B12 catalina 12 dientes paso 40
- **Catalina conducida:** 40B60 catalina 60 dientes paso 40
- Dando como resultado la relación de transmisión  $i = 5$

### 3.5.5. ANÁLISIS DE VIBRACIONES

El propósito del sistema de suspensión de la motocicleta es reducir las vibraciones y las fuerzas causadas por condiciones de la carretera en mal estado. Las irregularidades en la superficie de la carretera hacen que la motocicleta se mueva verticalmente.

La Motocicleta eléctrica con frecuencia está siendo excitada armónicamente por la superficie de un camino debido al impacto que absorbe, este sistema puede ser modelado por un resorte lineal en paralelo con un amortiguador viscoso. Esto forma parte de la excitación de la base representado en la Figura 3.47.

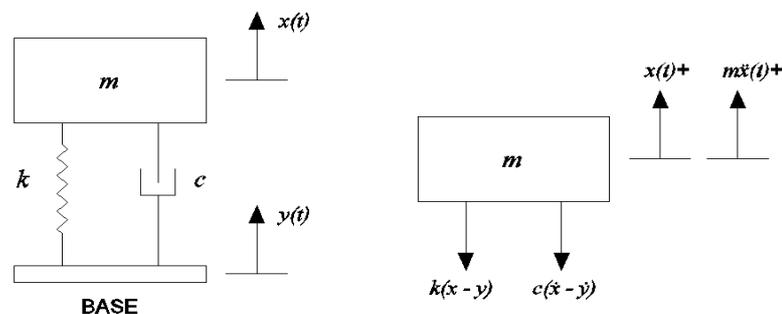


Figura 3.47. Excitación de la base, modelo de masa  $m$  que está excitado por un desplazamiento armónico establecido por un resorte y un amortiguador.

[21]

La excitación de la base puede ser modelo con un grado de libertad (Figura 3.48). La superficie de la carretera se asimila a una función sinusoidal en su sección transversal (ecuación 3.19) la que proporciona un desplazamiento (excitación de la base):

$$y(t) = (0,01m) \sin \omega_b t$$

3.19

Donde

$$\omega_b = v(km/h) \cdot \left(\frac{1}{0,006 km}\right) \cdot \left(\frac{1 hrs}{3600 s}\right) \cdot \left(\frac{2\pi rad}{ciclo}\right)$$

<sup>21</sup> INMAN, D.J. Engineering Vibration. Primera edición. USA. Prentice Hall. pp 130 -139.

Donde  $v$  denota la velocidad de la motocicleta en km/h. Por lo tanto, la velocidad de la motocicleta determina la frecuencia del movimiento de la base.

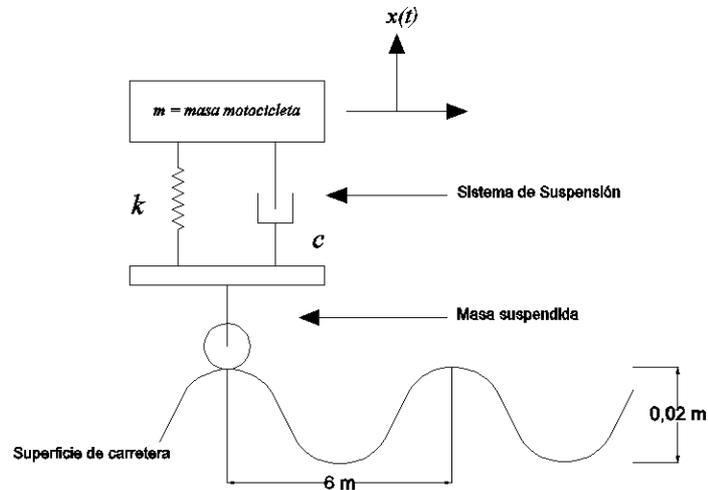


Figura 3.48. Modelo simple de una motocicleta viajando a una velocidad constante en una carretera que se aproxima a una función sinusoidal. [22]

Analizando el efecto de la velocidad en la amplitud del desplazamiento, así como el efecto de la masa de la motocicleta.

Frecuencia de movimiento de la base

$$\omega_{b1} := v_1 \cdot \left( \frac{1}{T_1} \right) \cdot \left( \frac{1}{3600} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi}{1} \right) \quad 3.20$$

$v_1$  = Velocidad de La motocicleta

$T_1$  = Periodo de la superficie de la carretera

Frecuencia Natural

$$\omega_n := \sqrt{\frac{k}{m_1}} \quad 3.21$$

$K$  = Constante de Rigidez del Resorte

$m_1$  = Masa crítica de rueda posterior

<sup>22</sup> INMAN, D.J. Engineering Vibration. Primera edición. USA. Prentice Hall. pp 130 -139.

Radio de frecuencia

$$r1 := \frac{\omega b1}{\omega n} \quad 3.22$$

Radio de amortiguación

$$\zeta := \frac{c1}{2 \cdot \sqrt{k \cdot m1}} \quad 3.23$$

C1 = Constante de Amortiguación

Transmisión de movimiento

$$X1 := Y \cdot \frac{\sqrt{1 + (4 \cdot \zeta^2 \cdot r1^2)}}{\sqrt{(1 - r1^2)^2 + 4 \cdot \zeta^2 \cdot r1^2}} \quad 3.24$$

Transmisión de Fuerza

$$Ft1 := r1^2 \cdot k \cdot X1 \quad 3.25$$

## Desarrollo

T1 := 0.006	Km	Período (Superficie de la Carretera)
Y := 0.01	m	Amplitud (Superficie de la Carretera)
v1 := 20	km/h	Velocidad del Vehículo 1
v2 := 60	km/h	Velocidad del Vehículo 2
k := 29100	N/m	Constante de Rigidez del Resorte
c1 := 3581	N.s/m	Constante de Amortiguación

Para determinar el efecto de la velocidad en la amplitud de movimiento del vehículo, se debe tomar en cuenta que a partir del cálculo de  $\omega b$ , y por lo tanto  $r$ , varían linealmente con la velocidad de la motocicleta

**CÁLCULO DE MOTOCICLETA A GASOLINA**

$$m1 := 48 \quad \text{kg}$$

Masa crítica de rueda posterior

$$f := \frac{1}{T1}$$

Frecuencia (Superficie de la Carretera)

$$\omega := 2\pi \cdot f$$

Frecuencia angular

$$\omega b1 := v1 \cdot \left(\frac{1}{T1}\right) \cdot \left(\frac{1}{3600}\right) \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{1}\right)$$

Frecuencia de movimiento de la base

$$\omega b1 = 5.818 \quad \text{rad/sec}$$

$$\omega b2 := v2 \cdot \left(\frac{1}{T1}\right) \cdot \left(\frac{1}{3600}\right) \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{1}\right)$$

$$\omega b2 = 17.453 \quad \text{rad/sec}$$

$$\omega n := \sqrt{\frac{k}{m1}}$$

Frecuencia Natural

$$\omega n = 24.622 \quad \text{rad/s}$$

$$r1 := \frac{\omega b1}{\omega n}$$

Radio de Frecuencia

$$r1 = 0.236$$

$$r2 := \frac{\omega b2}{\omega n}$$

$$r2 = 0.709$$

$$\zeta := \frac{c1}{2 \cdot \sqrt{k \cdot m1}}$$

Radio de Amortiguación

$$\zeta = 1.515$$

$$X1 := Y \cdot \frac{\sqrt{1 + (4 \cdot \zeta^2 \cdot r1^2)}}{\sqrt{(1 - r1^2)^2 + 4 \cdot \zeta^2 \cdot r1^2}}$$

Transmisión del Desplazamiento

$$X1 = 0.01038 \quad \text{m}$$

$$X2 := Y \cdot \sqrt{\frac{1 + (4 \cdot \zeta^2 \cdot r2^2)}{(1 - r2^2)^2 + 4 \cdot \zeta^2 \cdot r2^2}}$$

$$X2 = 0.01075 \quad \text{m}$$

$$Ft1 := r1^2 \cdot k \cdot X1$$

$$Ft1 = 16.863 \quad \text{N}$$

$$Ft2 := r2^2 \cdot k \cdot X2$$

$$Ft2 = 157.127 \quad \text{N}$$

### CÁLCULO DE MOTOCICLETA ELÉCTRICA

$$m2 := 81.5 \quad \text{kg}$$

$$\omega n2 := \sqrt{\frac{k}{m2}}$$

$$\omega n2 = 18.896 \quad \text{rad/s}$$

$$r3 := \frac{\omega b1}{\omega n2}$$

$$r3 = 0.308$$

$$r4 := \frac{\omega b2}{\omega n2}$$

$$r4 = 0.924$$

$$\zeta := \frac{c1}{2 \cdot \sqrt{k \cdot m2}}$$

$$\zeta = 1.163$$

$$X3 := Y \cdot \sqrt{\frac{1 + (4 \cdot \zeta^2 \cdot r3^2)}{(1 - r3^2)^2 + 4 \cdot \zeta^2 \cdot r3^2}}$$

$$X3 = 0.01066 \quad \text{m}$$

$$X4 := Y \cdot \sqrt{\frac{1 + (4 \cdot \zeta^2 \cdot r4^2)}{(1 - r4^2)^2 + 4 \cdot \zeta^2 \cdot r4^2}}$$

$$X4 = 0.01101 \text{ m}$$

$$Ft3 := r3^2 \cdot k \cdot X3$$

$$Ft3 = 29.396 \text{ N}$$

$$Ft4 := r4^2 \cdot k \cdot X4$$

$$Ft4 = 273.216 \text{ N}$$

v (km/hr)	Motocicleta Eléctrica $\zeta=1,163$			Motocicleta a Gasolina $\zeta=1,515$		
	r	X (m)	Ft (N)	r	X (m)	Ft (N)
20	0,497	0,01066	29,396	0,236	0,01038	16,863
60	0,993	0,01101	273,216	0,709	0,01075	157,127

Tabla 3.20. Comparación de fuerza y desplazamiento (vibración) entre motocicleta a gasolina y eléctrica.

Las dos motocicletas tienen el mismo sistema de suspensión, por lo que la tabla muestra el efecto del peso de la motocicleta en el movimiento a causa de las vibraciones sentido por los ocupantes y la fuerza transmitida desde la carretera hasta el chasis. La motocicleta más pesada tiene fuerza transmitida superior pero que no supera la especificación de la motocicleta original.

### 3.5.6. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE SISTEMAS DINÁMICOS DE COCHIN Y PLASS

El propósito de un sistema de suspensión de la motocicleta es reducir las vibraciones y las fuerzas causadas por condiciones de la carretera en mal estado. Las irregularidades en la superficie de la carretera hacen que la motocicleta se mueva verticalmente, así como girar alrededor de un eje. Despreciando la masa de los neumáticos, el sistema consta de una sola

masa (chasis del vehículo más el conductor) que tiene un movimiento vertical y de rotación.

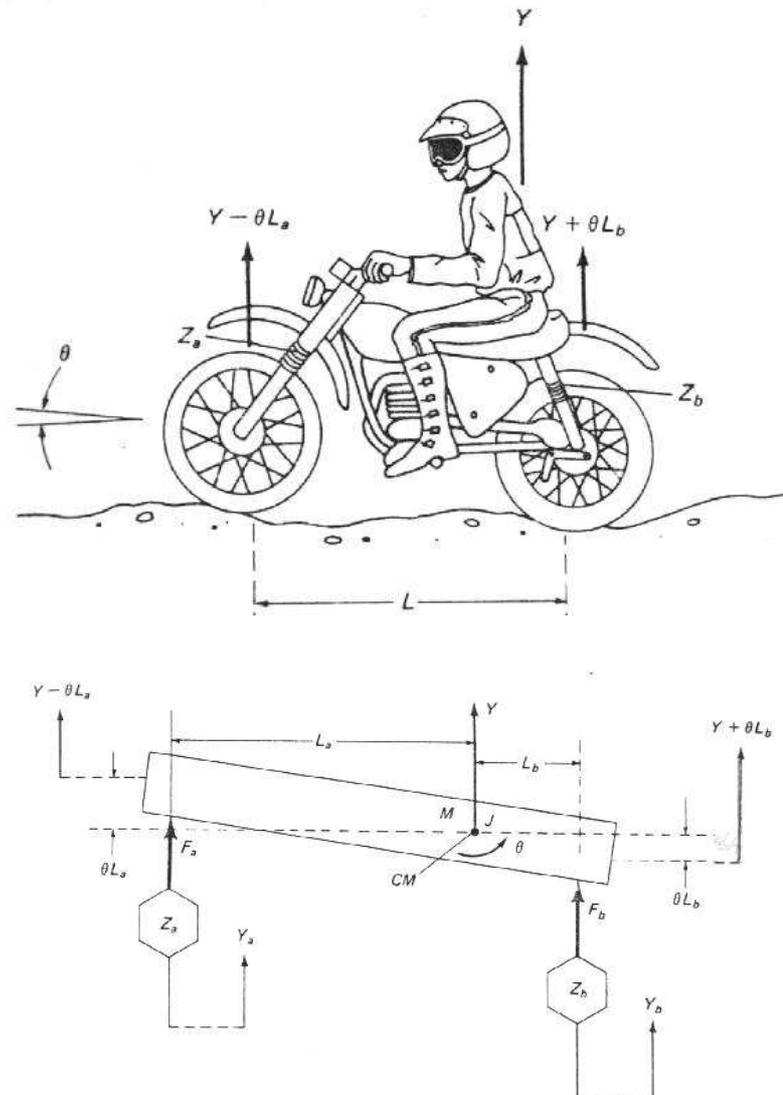


Figura 3.49. Sistema básico, equilibrio de fuerzas para el sistema de suspensión de motocicletas.

Para el modelado (Figura 3.49), se elige un sistema de coordenadas que permite la traslación vertical del centro de masa y la rotación alrededor del mismo.

El chasis y el conductor de la motocicleta se considera que son un solo cuerpo rígido con masa  $M$  y momento de inercia  $J$ . Los desplazamientos de entrada,  $Y_a$  y  $Y_b$ , en cada rueda representan las condiciones de la carretera.

Se debe considerar que el sistema de suspensión de cada eje, consta de un resorte y un amortiguador.

Por lo tanto, la fuerza total ejercida sobre el chasis por cada rueda está dada por la suma de la fuerza de amortiguación y la fuerza del resorte,

$$\begin{aligned} F_a &= -\left(c_a \frac{d}{dt} + k_a\right)y_a(t) & Y & & F_b &= -\left(c_b \frac{d}{dt} + k_b\right)y_b(t) \\ &= -(c_a s + k_a)y_a(s) & & & &= -(c_b s + k_b)y_b(s) \end{aligned} \quad 3.26$$

$y_a$  y  $y_b$  representan el desplazamiento instantáneo de cada resorte de referencia.

En términos de los desplazamientos verticales y de rotación del centro de masa,  $Y(t)$  y  $\theta(t)$ , los desplazamientos verticales individuales del resorte son:

$$y_a = (Y - \theta L_a) - Y_a \quad Y \quad y_b = (Y + \theta L_b) - Y_b \quad 3.27$$

Los términos  $\theta L_a$  y  $\theta L_b$ , provienen de las consideraciones geométricas destacadas en la figura. 3.50. Por lo tanto, en la ecuación. (3.27) se asume que  $\sin \theta \approx \theta$  para los pequeños desplazamientos angulares, y positivo  $\theta$  es una rotación en sentido anti horario.

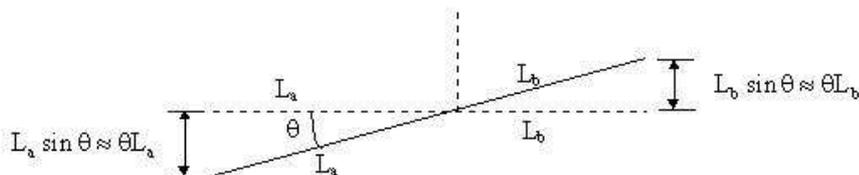


Figura 3.50. Consideraciones Geometría para desplazamiento vertical vs. ángulo de rotación.

Combinando el signo negativo en las expresiones de la fuerza en la ecuación 3.26 con las condiciones de desplazamiento en la ecuación 3.27 encontramos:

$$F_a = (c_a s + k_a)[Y_a - (Y - \theta L_a)] \quad Y \quad F_b = (c_b s + k_b)[Y_b - (Y + \theta L_b)]$$

O definiendo:  $Z_a = c_a s + k_a$   $Y$   $Z_b = c_b s + k_b$  resulta:

$$F_a = Z_a[Y_a - (Y - \theta L_a)] \quad Y \quad F_b = Z_b[Y_b - (Y + \theta L_b)] \quad 3.28$$

Finalmente, ya que la suma de las fuerzas verticales debe satisfacer la ley de Newton, tenemos

$$M \frac{d^2}{dt^2} Y = F_a + F_b \quad 3.29$$

$$Ms^2 Y = Z_a[Y_a - (Y - \theta L_a)] + Z_b[Y_b - (Y + \theta L_b)]$$

$$(Ms^2 + Z_a + Z_b)Y - (Z_a L_a - Z_b L_b)\theta = Z_a Y_a + Z_b Y_b \quad 3.30$$

Esto le da el equilibrio de fuerzas para el sistema con el supuesto de que el chasis y el conductor inicialmente no tienen movimiento vertical (que es  $Y_0 = 0$  y  $dY/dt|_0 = 0$ ).

Si ahora se realiza un equilibrio de torque (es decir  $\tau = J\alpha$ , donde  $\alpha = d^2\theta/dt^2$ ) en el sistema anterior con el centro de masa (CM) como el punto de pivote, se tiene:

$$J \frac{d^2}{dt^2} \theta = F_b L_b \cos\theta - F_a L_a \cos\theta \approx F_b L_b - F_a L_a \quad (\text{for } \theta \approx 0, \cos\theta \approx 1) \quad 3.31$$

$$Js^2 \theta = Z_b L_b [Y_b - (Y + \theta L_b)] - Z_a L_a [Y_a - (Y - \theta L_a)]$$

$$(Js^2 + Z_a L_a^2 + Z_b L_b^2)\theta - (Z_a L_a - Z_b L_b)Y = -Z_a L_a Y_a + Z_b L_b Y_b \quad 3.32$$

Nuevamente, se asume condición inicial cero (es decir, es  $\theta_0 = 0$  y  $d\theta/dt|_0 = 0$ ).

Finalmente escribimos las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y momentos en forma matricial dando como resultado:

$$\begin{bmatrix} (Ms^2 + Z_a + Z_b) & -(Z_a L_a - Z_b L_b) \\ -(Z_a L_a - Z_b L_b) & (Js^2 + Z_a L_a^2 + Z_b L_b^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_a & Z_b \\ -Z_a L_a & Z_b L_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_a \\ Y_b \end{bmatrix} \quad 3.33$$

Para simplificar, se puede escribir como:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_a \\ Y_b \end{bmatrix} \quad 3.34$$

Ahora, en términos de coeficientes ( $A_{ij}$  y  $B_{ij}$ ),  $Y$  y  $\theta$  se puede expresar como:

$$Y = \frac{1}{A_{11}} [B_{11} Y_a + B_{12} Y_b - A_{12} \theta] \quad \theta = \frac{1}{A_{22}} [B_{21} Y_a + B_{22} Y_b - A_{21} Y] \quad 3.35$$

Este sistema se puede expresar en forma de diagrama de bloques como se muestra (Figura. 3.51):

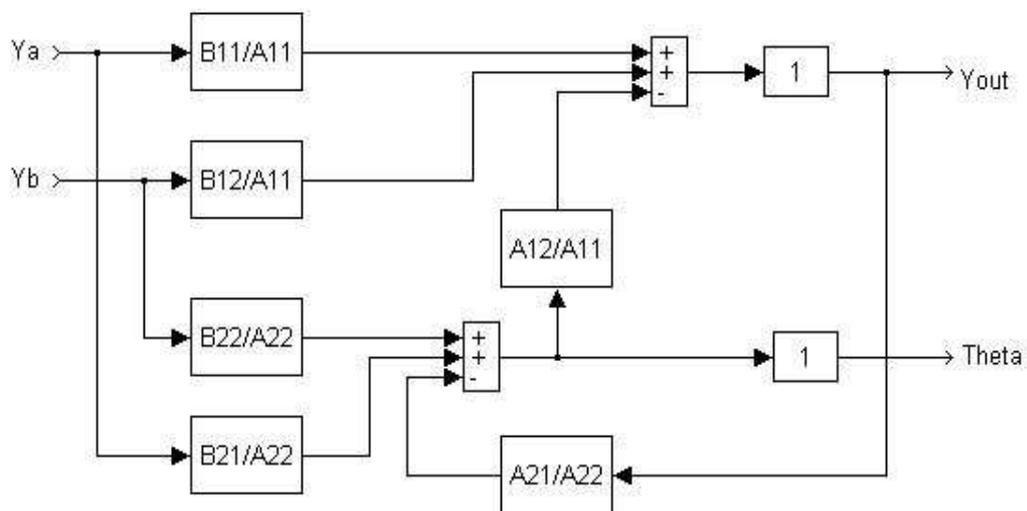


Figura 3.51. Diagrama de bloques del sistema de suspensión de motocicletas.

$Y_a$  y  $Y_b$  se supone que son entradas independientes en el desarrollo anterior. Sin embargo, si la motocicleta se desplaza a una velocidad  $V$ , la rueda trasera va a experimentar la misma entrada de carretera como la rueda delantera en un momento más tarde, donde  $\Delta t = L/V$ . Por lo tanto, en un sistema real:

$$Y_b(t) = Y_a(t - \Delta t) \quad 3.36$$

Este sistema se puede poner en forma de estado haciendo definiciones apropiadas de las variables de estado en términos de  $Y$ ,  $dY/dt$ ,  $\theta$ ,  $d\theta/dt$ .

## RESOLUCIÓN DEL SISTEMA DE COCHIN Y PLASS MEDIANTE MATLAB

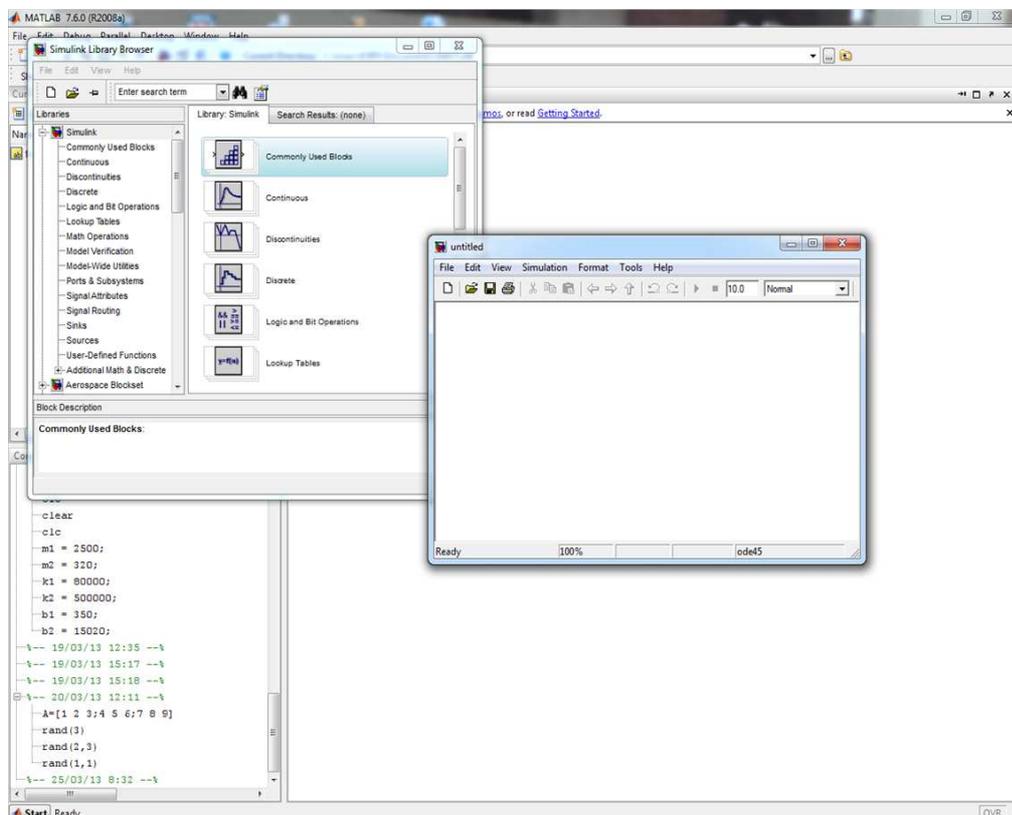


Figura 3.52. Librería de Simulink para construcción de bloques.

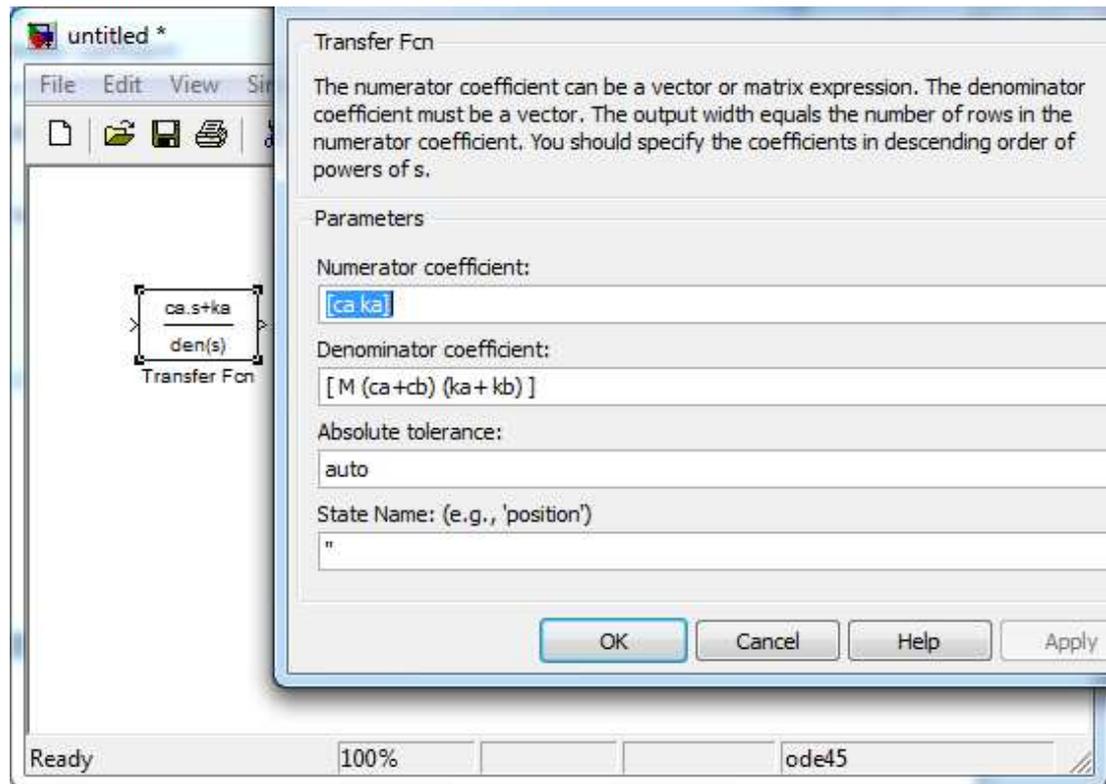


Figura 3.53. Identificación de Bloques en Simulink.

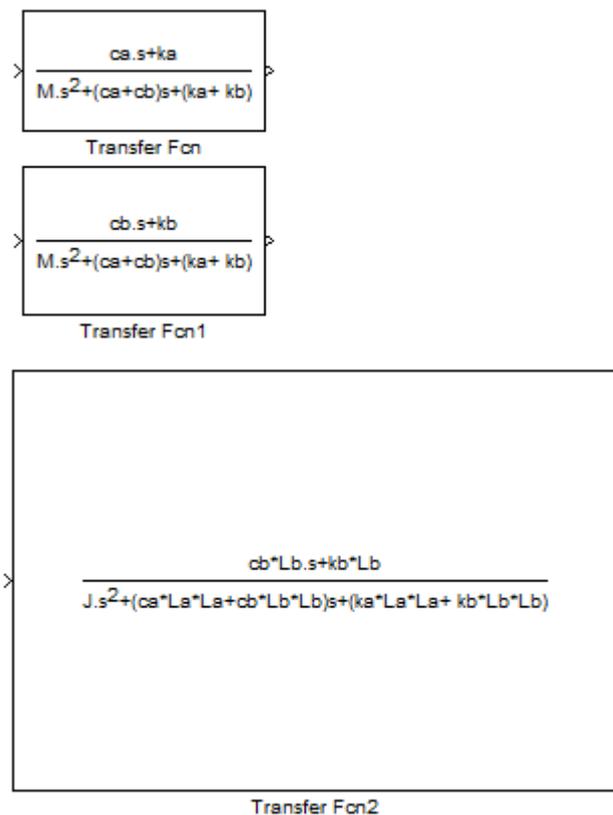


Figura 3.54. Ensamble parcial de Bloques en Simulink.

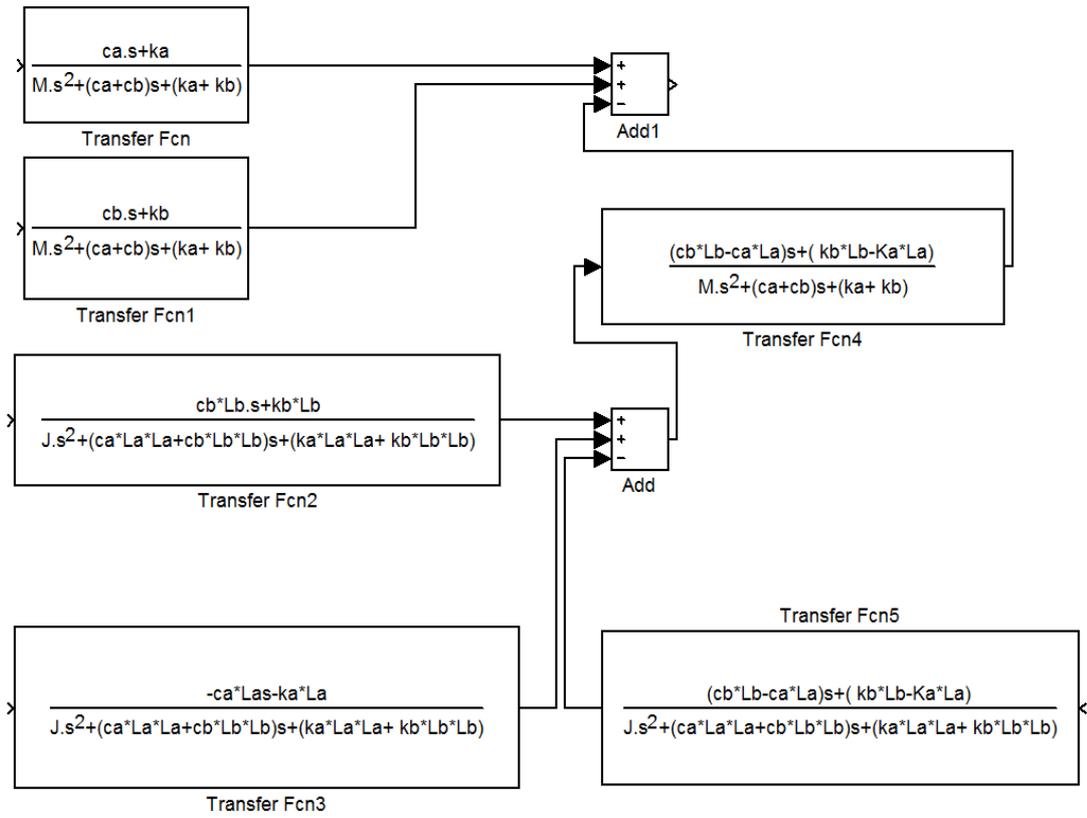


Figura 3.55. Ensamble de Bloques en Simulink

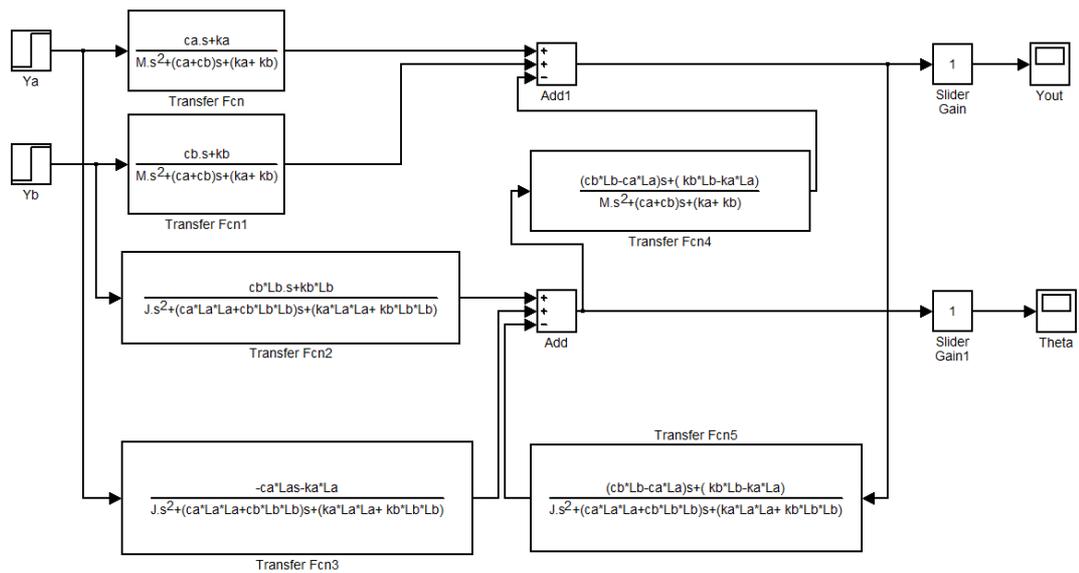


Figura 3.56. Ensamble de Bloques en Simulink finalizado

**En MATLAB**

## MOTOCICLETA GASOLINA

$$V = 60 * 1000 / 3600$$

$$L = 124 / 100$$

$$\text{Deltat} = L / V$$

$$m_{\text{pasajero}} = 90$$

$$m_{\text{rueda\_delantera}} = 40$$

$$m_{\text{rueda\_trasera}} = 48$$

$$M = m_{\text{pasajero}} + m_{\text{rueda\_delantera}} + m_{\text{rueda\_trasera}}$$

$$L_a = (m_{\text{rueda\_delantera}} * 0 + m_{\text{pasajero}} * (94 / 100) + m_{\text{rueda\_trasera}} * L) / M$$

$$L_b = L - L_a$$

## % Inercias

$$m_b = M * L_a / L$$

$$m_a = M * L_b / L$$

$$J = m_a * L_a * L_a + m_b * L_b * L_b$$

$$k_a = 2 * 29100$$

$$c_a = 2 * 3581$$

$$k_b = k_a$$

$$c_b = c_a$$

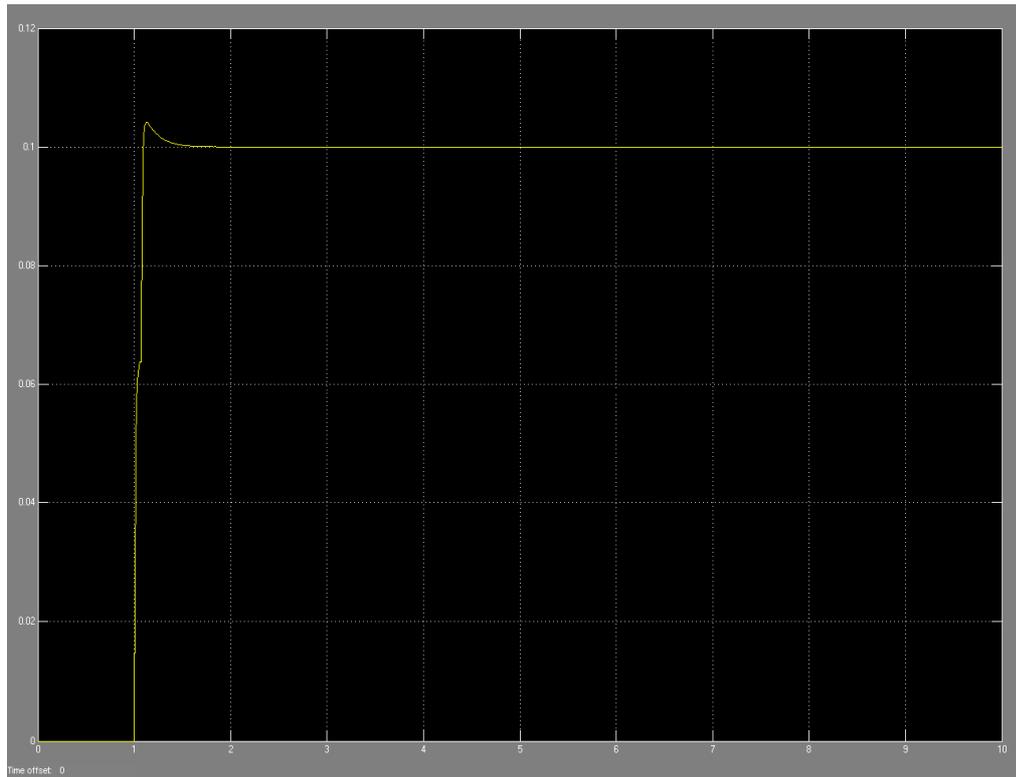
**RESULTADOS**

Figura 3.57. Desplazamiento en Y motocicleta Gasolina.

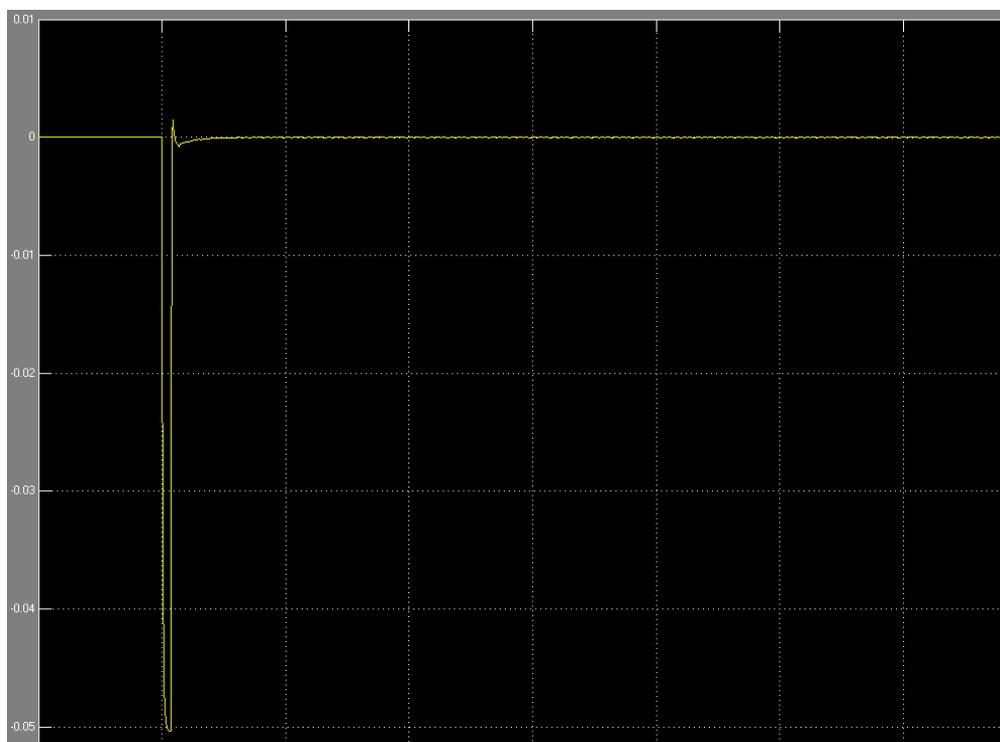


Figura 3.58. Ángulo motocicleta Gasolina.

**En MATLAB****MOTOCICLETA ELÉCTRICA**

$$V = 60 * 1000 / 3600$$

$$L = 124 / 100$$

$$\text{Deltat} = L / V$$

$$m_{\text{pasajero}} = 90$$

$$m_{\text{rueda\_delantera}} = 45.5$$

$$m_{\text{rueda\_trasera}} = 81.5$$

$$M = m_{\text{pasajero}} + m_{\text{rueda\_delantera}} + m_{\text{rueda\_trasera}}$$

$$L_a = (m_{\text{rueda\_delantera}} * 0 + m_{\text{pasajero}} * (94 / 100) + m_{\text{rueda\_trasera}} * L) / M$$

$$L_b = L - L_a$$

**% Inercias**

$$m_b = M * L_a / L$$

$$m_a = M * L_b / L$$

$$J = m_a * L_a * L_a + m_b * L_b * L_b$$

$$k_a = 2 * 29100$$

$$c_a = 2 * 3581$$

$$k_b = k_a$$

$$c_b = c_a$$

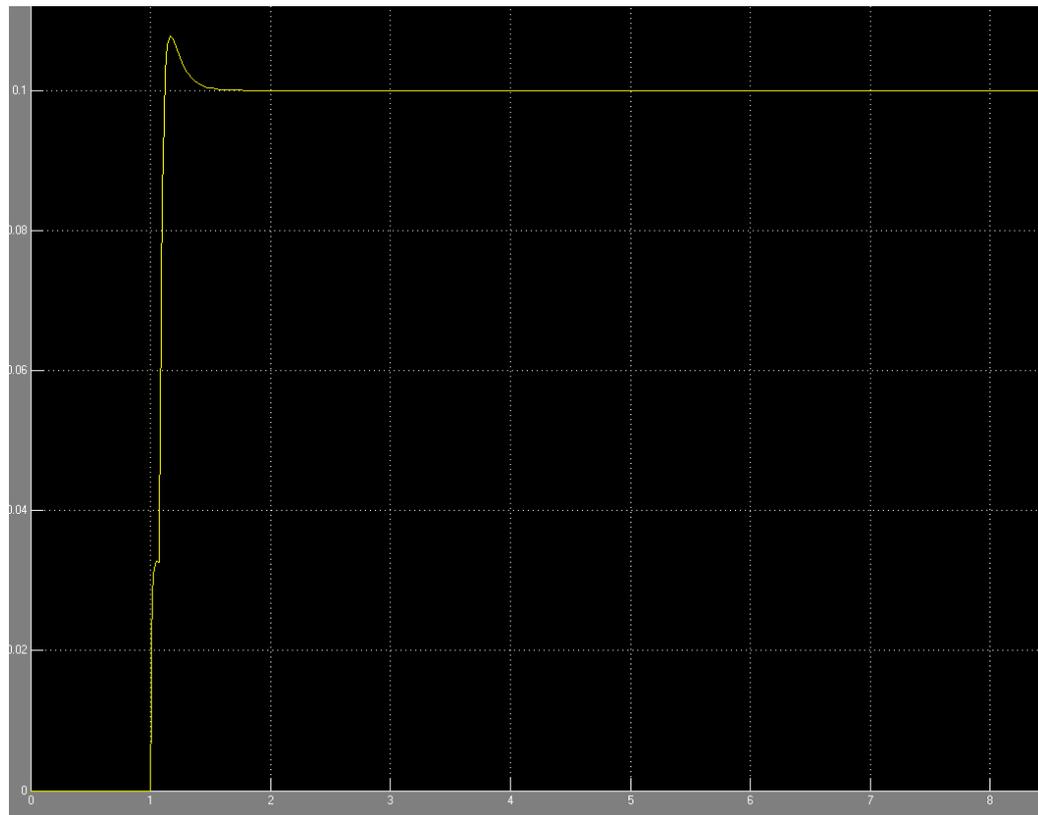
**RESULTADOS**

Figura 3.59. Desplazamiento en Y motocicleta Eléctrica.

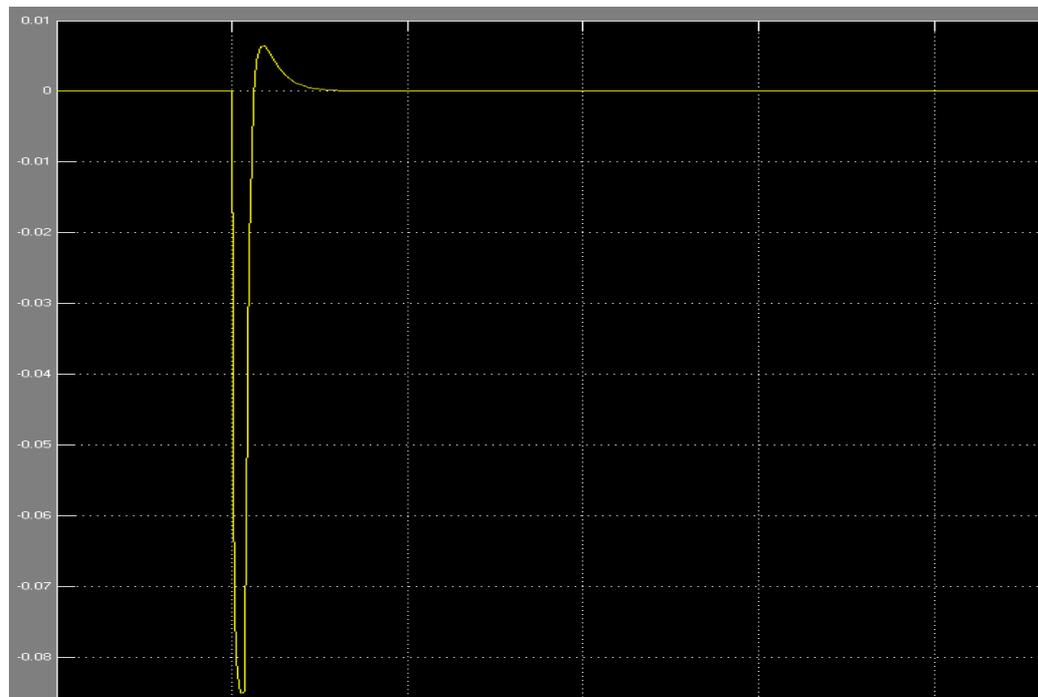


Figura 3.60. Ángulo motocicleta Eléctrica.

La suspensión tiene similar comportamiento entre el sistema de motor a gasolina o el sistema con motor eléctrico, ya que los amortiguadores y espirales de la motocicleta tienen la característica de que cuando trabajan en conjunto pueden resistir una carga por pasajero de hasta 150 kg, siendo está limitada a 70 kg por cuestiones de potencia.

### 3.5.7. DISEÑO TÉRMICO

#### Cálculo de radiador

El motor eléctrico cuenta con un sistema de refrigeración por líquido, por lo tanto es necesaria la implementación de un radiador (Figura 3.61) para enfriar al motor.

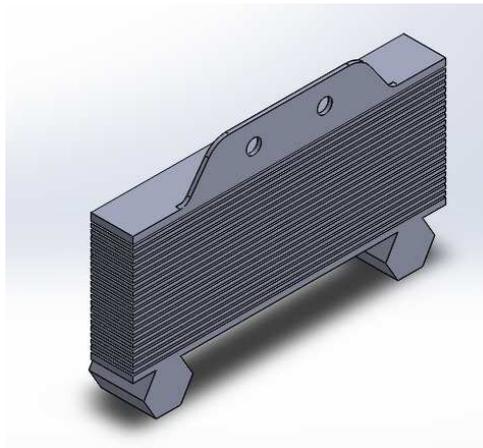


Figura 3.61. Radiador marca KEEWAY

La temperatura máxima del motor es de 125 grados Celsius.

#### Criterios de diseño

- Se utilizará una bomba para impulsar el fluido que enfría el motor.
- El sistema de refrigeración se encenderá a los 85 grados Celcius.

En el mercado nacional no se dispone de una amplia variedad de radiadores, por lo tanto debemos comprobar si el radiador existente en el mercado cumple con los requerimientos de disipación de calor.

## CÁLCULO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR (RADIADOR)

### Factores de conversión

Longitud	$F1 := 3.281$	(de Metros a Pies)
Temperatura	$F2 = (°C * 1.8) + 32$	(de °Celcius a °Fahrenheit)
Caudal	$F3 := 0.13368$	(de Galones a Pies Cúbicos)

### Dimensiones del intercambiador

Largo = 0.152	m	Largo := $F1 \cdot 0.152 = 0.499$	ft
Altura = 0.06	m	Altura := $F1 \cdot 0.06 = 0.197$	ft
Ancho = 0.02	m	Ancho := $F1 \cdot 0.02 = 0.066$	ft

### DATOS:

$A1 := (\text{Largo}) \cdot (\text{Altura})$		Área del Disipador de Calor		
$A1 = 0.098$	$\text{ft}^2$			
$T1 = 85$	$°C$	$T1 := 185$	$°F$	Temperatura del Refrigerante
$T2 = 25$	$°C$	$T2 := 77$	$°F$	Temperatura Ambiente
Caudal1 = 100	Gph			
$\text{Caudal1} := F3 \cdot 100 = 13.368$		$\frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$		Caudal de la Bomba
$D1 := 62.488$	$\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$			Densidad del Agua
$C1 := \text{Caudal1} \cdot D1$				3.37
$C1 = 835.34$	$\frac{\text{lb}}{\text{h}}$			Caudal Másico del Agua
$D2 := 0.07491$	$\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$			Densidad del Aire
$v2 = 60$	$\frac{\text{Km}}{\text{h}}$	$v2 := 196860$	$\frac{\text{ft}}{\text{h}}$	Velocidad del Aire

$$\text{Caudal2} := A1 \cdot v2 = 1.933 \times 10^4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Caudal de Aire

$$C2 := \text{Caudal2} \cdot D2$$

Caudal Másico del Aire

$$C2 = 1.448 \times 10^3 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

$$U := 30 \frac{\text{BTU}}{\text{h} \cdot \text{pie}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

Combinación de fluidos	U	
	Btu/hr-pie <sup>2</sup> -°F	W/m <sup>2</sup> -K
Aceite a aceite	30-55	170-312
Sustancias orgánicas a sustancias orgánicas	10-60	57-340
Vapor de agua a:		
Soluciones acuosas	100-600	567-3400
Aceite combustible, pesado	10-30	57-170
Liviano	30-60	170-340
Gases	5-50	28-284
Agua	175-600	993-3400
Agua a:		
Alcohol	50-150	284-850
Salmuera	100-200	567-1135
Aire comprimido	10-30	57-170
Alcohol condensado	45-120	255-680
Amoníaco condensado	150-250	850-1420
Freón 12 condensado	80-150	454-850
Aceite condensado	40-100	227-567
Gasolina	60-90	340-510
Aceite lubricante	20-60	113-340
Solventes orgánicos	50-150	284-850
Agua	150-300	850-1700

Tabla 3.21. Coeficiente Global de Transferencia de calor para intercambiadores de calor en flujo cruzado. [23]

Se elije agua con aire, que es el caso del intercambiador de la motocicleta.

<sup>23</sup> PITTS, DONALD y SISSOM, LEIGHTON. Transferencia de calor – Teoría y Problemas.

$$mCp1 := (C1) \cdot (1.0)$$

3.38

$$mCp1 = 835.34 \quad \frac{\text{BTU}}{\text{hr} \cdot \text{F}}$$

$$mCp2 := (C2) \cdot (0.24)$$

$$mCp2 = 347.469 \quad \frac{\text{BTU}}{\text{hr} \cdot \text{F}}$$

$$C_{\min} := mCp2$$

$$C_{\max} := mCp1$$

$$C_{\text{tabla}} := \frac{C_{\min}}{C_{\max}}$$

3.39

$$C_{\text{tabla}} = 0.416$$

$$NUT := \frac{A1 \cdot U}{C_{\min}} = 8.476 \times 10^{-3}$$

3.40

$$\xi := 0.05$$

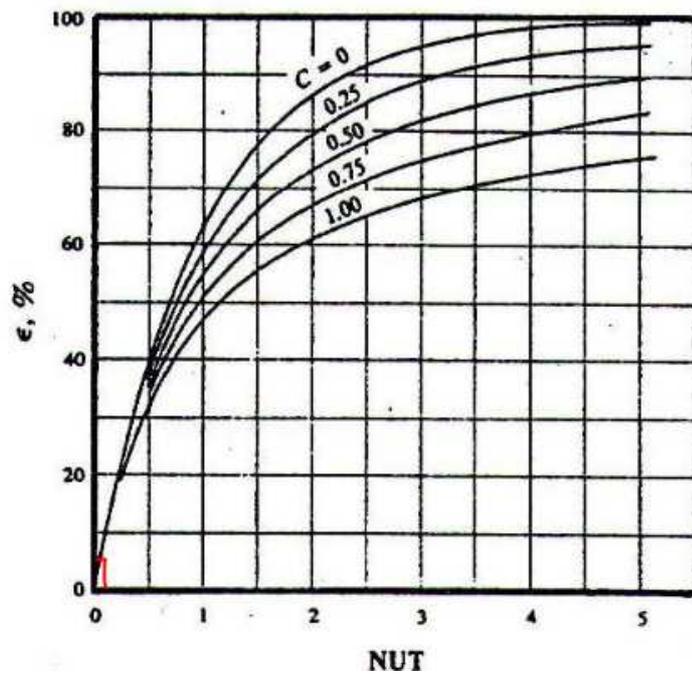


Figura 3.62. Eficiencia del intercambiador de calor. <sup>[24]</sup>

<sup>24</sup> PITTS, DONALD y SISSOM, LEIGHTON. Transferencia de calor – Teoría y Problemas

$$Q := \xi \cdot C_{\min} \cdot (T_1 - T_2) \quad 3.41$$

$$Q = 1.876 \times 10^3 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

$$Q = 549.801 \text{ W} \quad \text{Calor que disipa el intercambiador}$$

### MOTOR ELÉCTRICO

$$P := 5000 \text{ W}$$

$$\alpha := 91 \text{ \%} \quad \text{Eficiencia del Motor}$$

$$\beta := 100 - 91 = 9 \text{ \%} \quad \text{Perdidas por Calor}$$

$$Q_1 := (P) \cdot \left( \frac{\beta}{100} \right) \quad 3.42$$

$$Q_1 = 450 \text{ W} \quad \text{Calor a disipar por el motor eléctrico}$$

$$Q > Q_1$$

El intercambiador de calor Keeway cumple con los requerimientos de disipación de calor.

## 3.6. SISTEMA ELÉCTRICO

En la Suzuki Ax 100 es necesario el cambio de sistema eléctrico de 6 a 12 voltios corriente continua (Figura 3.63).

Eso implica el cambio de:

- Flash para encender las direccionales.
- Cambio de bombillo de iluminación (luz alta e intensa) a 12 voltios.
- Cambio de bombillo de luz de freno a 12 voltios.
- Cambio de pito a 12 voltios.
- Cambio de bombillos del tablero a 12 voltios, 3w.



Figura 3.63. Cambio de luces direccionales a 12v

Adicional al cambio del sistema a 12 voltios es necesaria la implementación del nuevo sistema, que controla al motor y sus funciones.

El sistema eléctrico adicional funciona con 48 voltios. (Ver Anexo E)

### 3.6.1. PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR

El controlador es programable mediante un puerto USB, con el fin de obtener el máximo desempeño y autonomía del motor.

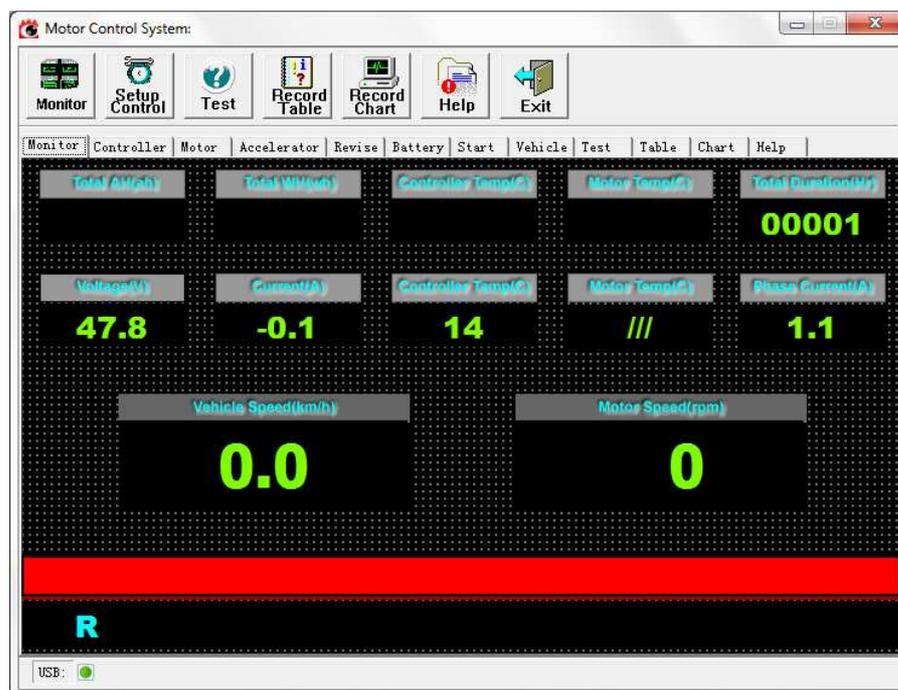


Figura 3.64 Interfaz inicial del programa.

El programador del controlador es amigable con el usuario, teniendo una interfaz inicial (Figura 3.64) donde se muestra las horas de uso, el estado general del controlador, voltaje de las baterías, corriente de fase en amperios, velocidad de la motocicleta y revoluciones del motor.

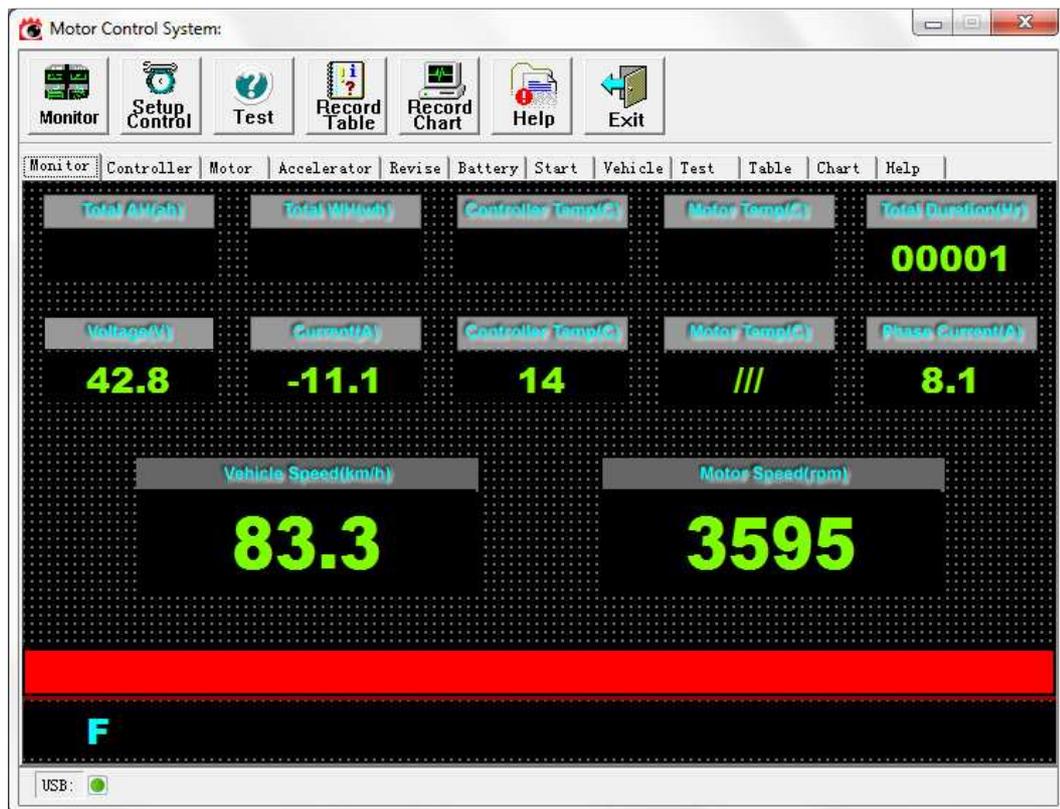


Figura 3.65. Prueba en vacío.

Pruebas en vacío (Figura 3.65), donde se muestra que la velocidad de la motocicleta es de 83.3 km/h (debe ser ingresado el dato de relación de transmisión) y el numero de revoluciones del motor.

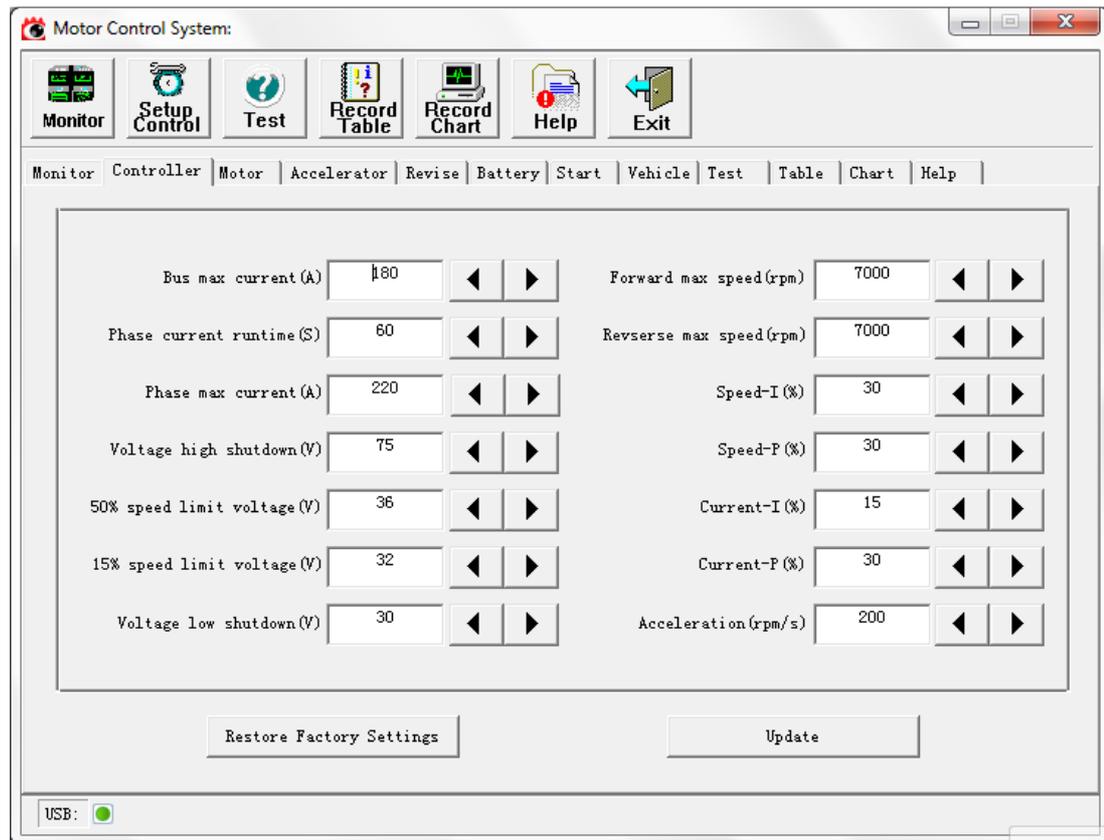


Figura 3.66. Parámetros de programación

La corriente máxima (Bus Max current) (Figura 3.66) debe ser de 200 amperios, que son suficientes para circular en la ciudad de Quito y ascender pendientes del 10% a 60 Km/h, este parámetro puede ser modificado hasta 360 amperios que es la corriente máxima admisible por el controlador, pero consumiría rápidamente la energía de las baterías, limitando su autonomía.

Pueden ser modificados los parámetros de voltaje, pero lo más recomendable es dejar los parámetros de fábrica, ya que con estos se obtiene un excelente desempeño.

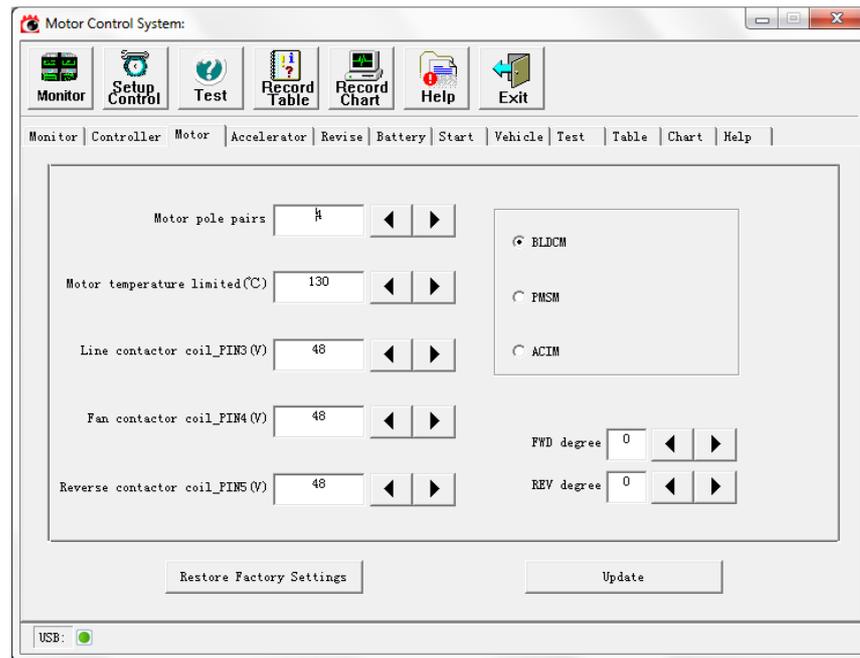


Figura 3.67. Parámetros del motor

Se debe indicar al controlador el tipo de motor el cual se ha conectado (Figura 3.67), en nuestro caso es un motor BLDCM con 4 cables de conexión para el sensor hall, con una temperatura máxima de 130 grados Celsius, y con voltaje nominal de 48 voltios.

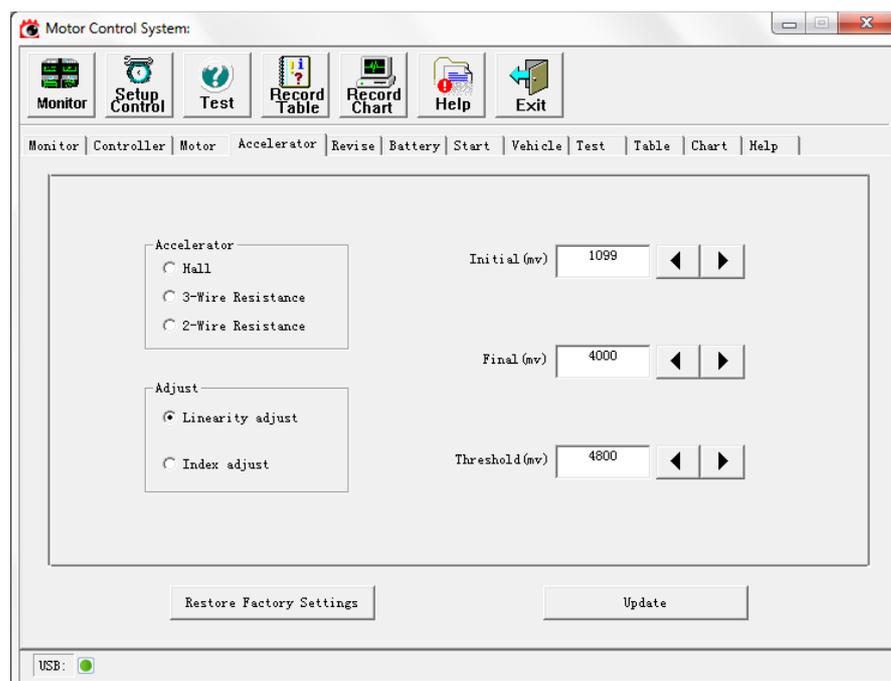


Figura 3.68. Parámetros del acelerador

Se indica el tipo de acelerador (Figura 3.68), de ajuste lineal, indicando los parámetros de funcionamiento del mismo, siendo lo más recomendable los parámetros establecidos por el fabricante.

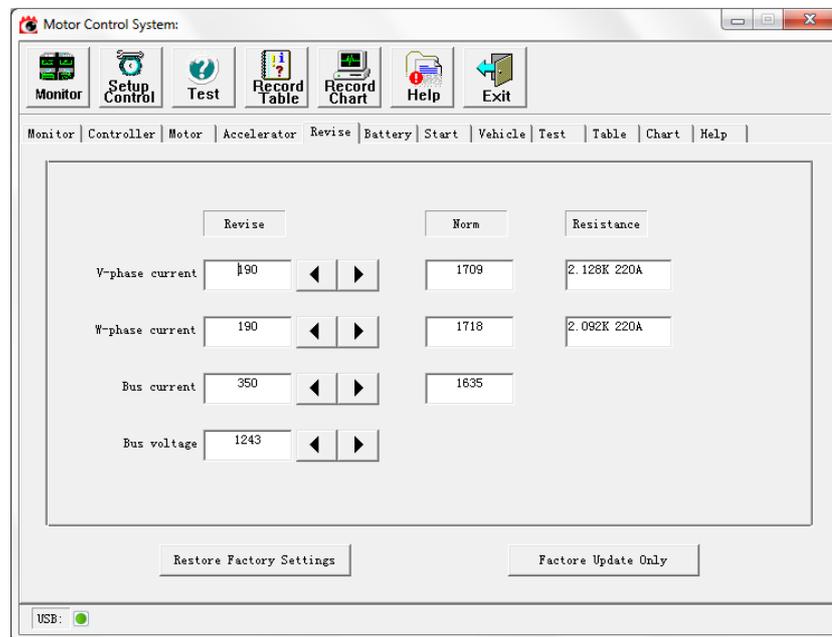


Figura 3.69. Revisión de datos ingresados

Es una comprobación de los datos ingresados (Figura 3.69), ya que algunos parámetros son dependientes.

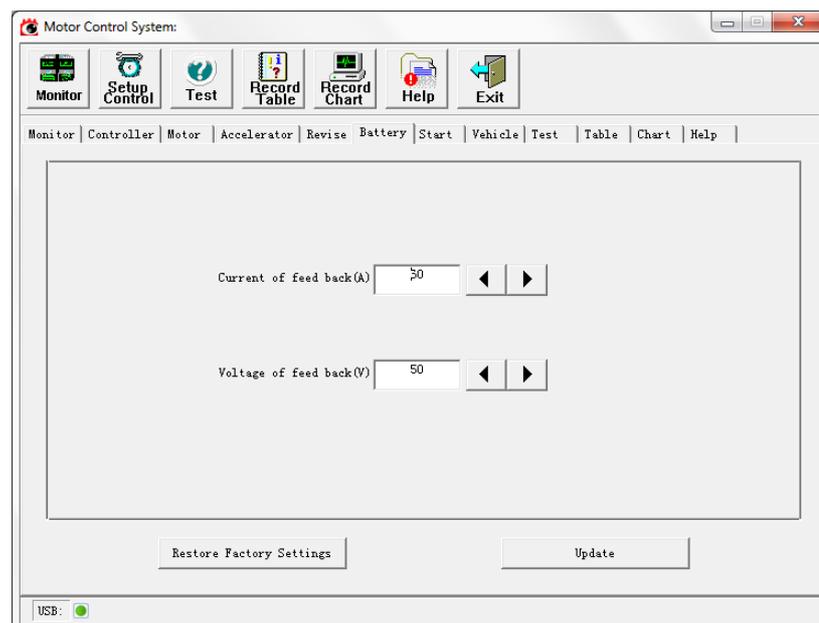


Figura 3.70. Información de las baterías

La retroalimentación de energía (Figura 3.70) debe ser proporcional al conjunto de baterías que se utiliza, en nuestro caso 50 voltios y 30 amperios.

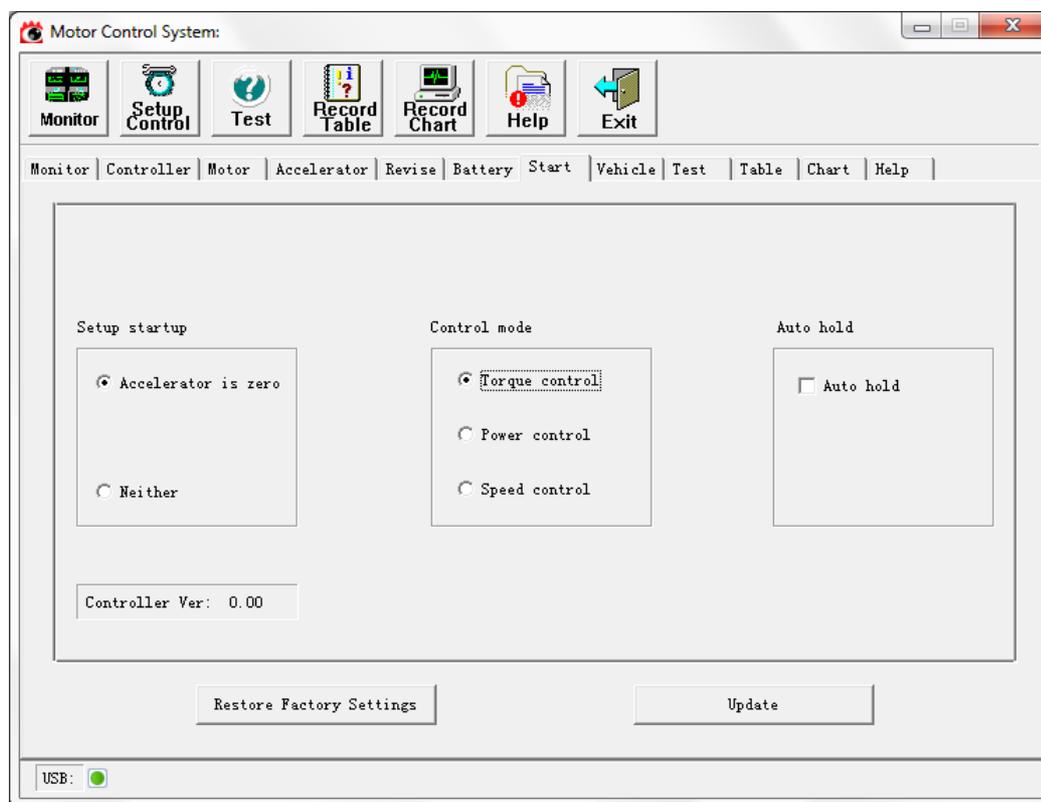


Figura 3.71. Inicio de funcionamiento

Se debe indicar al controlador como va a ser el arranque, que en nuestro caso es con el acelerador, además el controlador tiene tres modos de trabajo:

- Torque
- Potencia
- Velocidad

En nuestro caso el modo de funcionamiento del controlador es tipo torque, debido a las pendientes que tenemos en la ciudad de Quito.

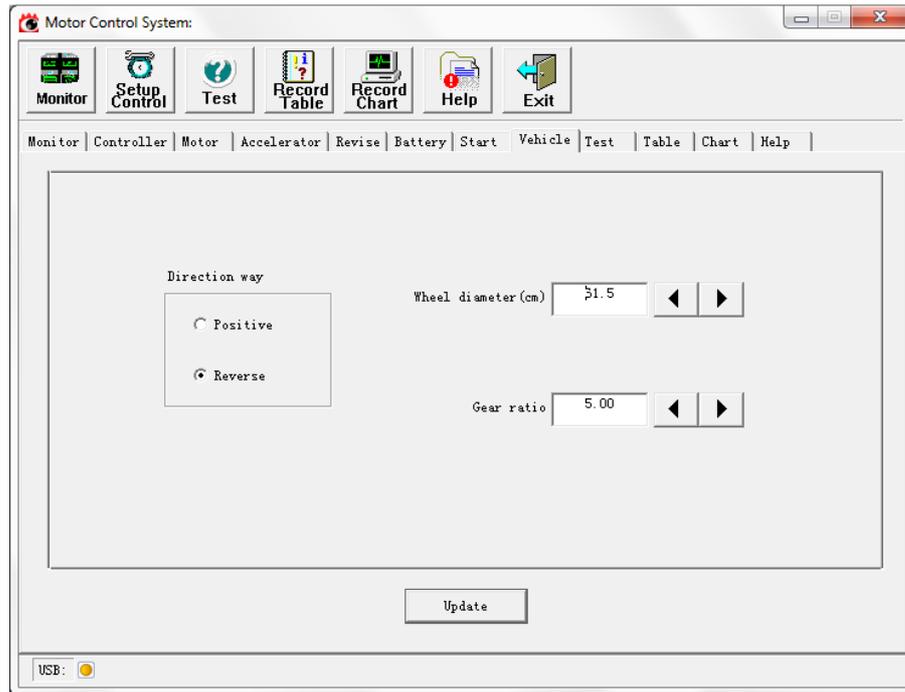


Figura 3.72. Prueba de funcionamiento

Se debe indicar la relación de transmisión ( $i=5$ ) y el diámetro de la rueda propulsora de la motocicleta, con esto el programa puede calcular la velocidad de la motocicleta en función de las revoluciones del motor (Figura 3.72)

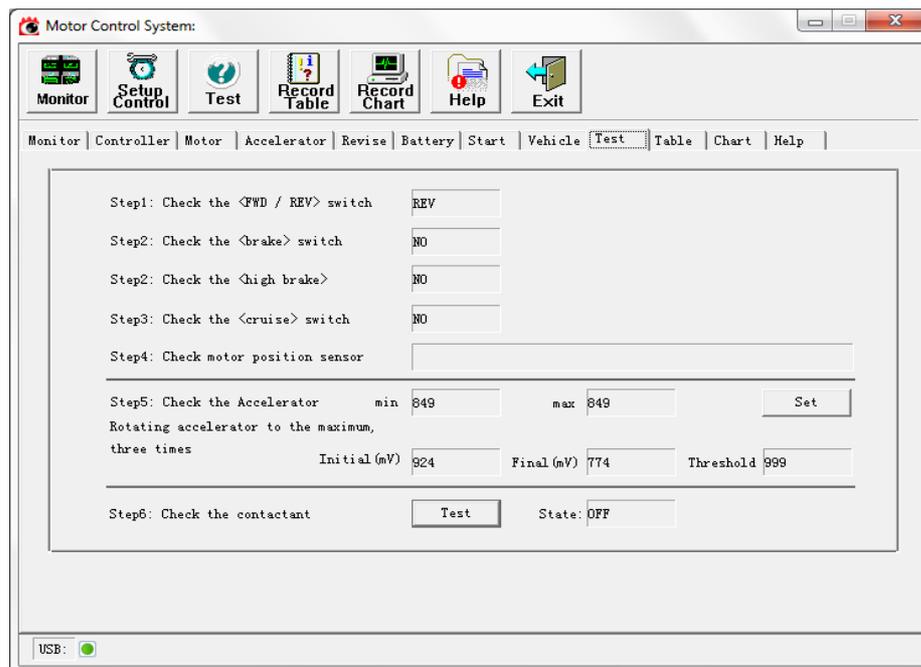


Figura 3.73. Prueba de funcionamiento

En las pruebas de funcionamiento del sistema (Figura 3.73) se comprueba la conexión de los diferentes tipos de componentes como por ejemplo el interruptor de freno, el funcionamiento del acelerador y el encendido del relé principal que energiza todo el sistema.

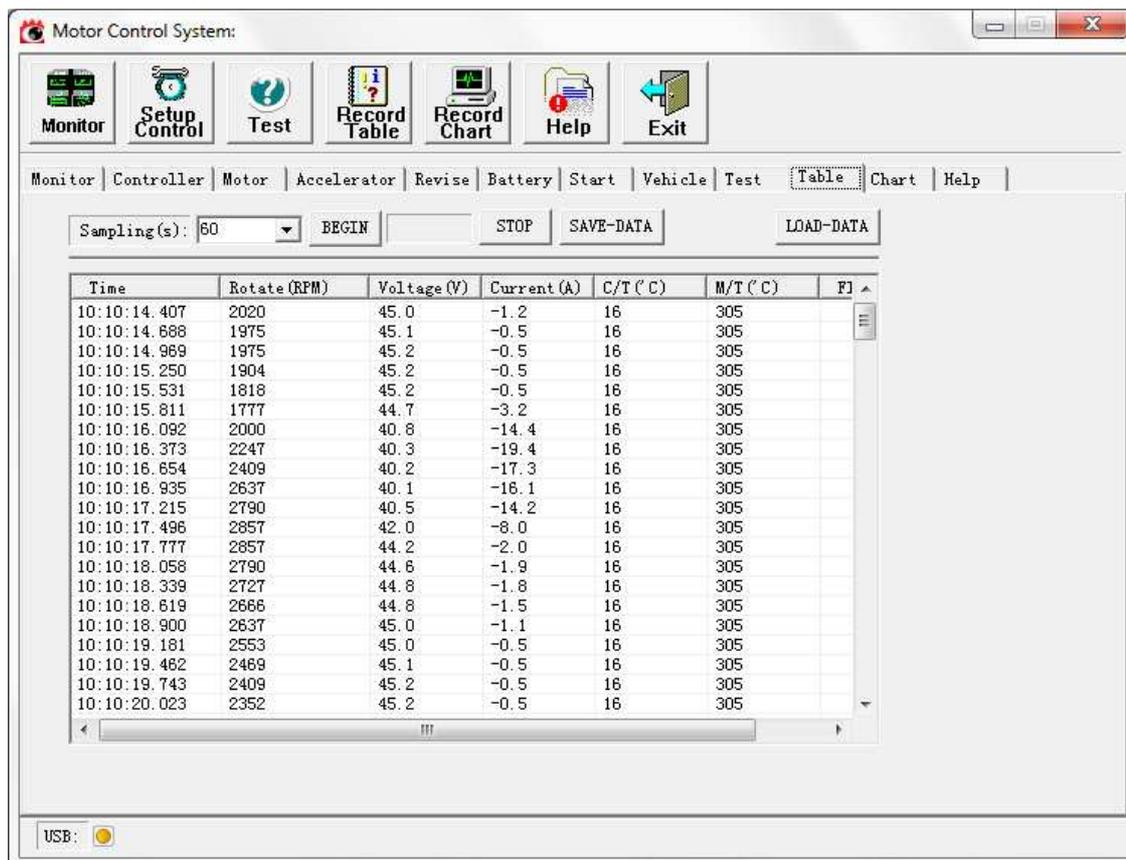


Figura 3.74. Prueba de funcionamiento

Para la prueba de funcionamiento (Figura 3.74), se debe indicar el tiempo por el cual se quiere hacer la prueba, generando una tabla de datos.

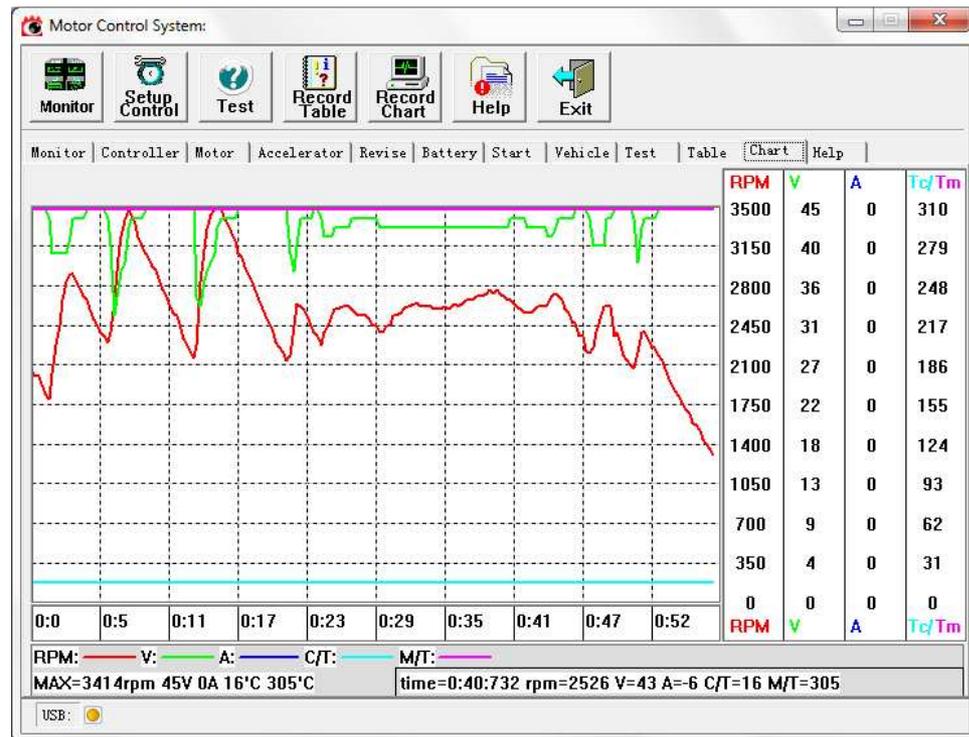


Figura 3.75. Prueba de funcionamiento

Grafica obtenida de las pruebas de funcionamiento en vacío (Figura 3.75)

Por lo tanto el funcionamiento del motor es bastante modificable de acuerdo a la programación del controlador, con lo cual se puede obtener el mejor desempeño y autonomía de la motocicleta.

### 3.6.2. CARGADOR

Para cargar las baterías se necesita un cargador de 48 voltios y de 3 a 5,5 amperios, debido a que se realiza una carga lenta para obtener el 100% de la capacidad de las baterías además aplicando una carga lenta se alarga la vida útil.

Al ser el conjunto de batería de 48 voltios y 55 Ah es considerado carga lenta cuando el cargador entrega una corriente menor al 10% del amperaje nominal de las baterías.

El cargador (Figura 3.76) está conformado por:

- 2 transformadores de 120 a 24 voltios, 4 amperios.
- 2 puentes diodo rectificadores de 600 voltios, 15 amperios.
- 1 puentes diodo rectificadores de 120 voltios, 1 amperios.
- 1 ventilador de 12 voltios corriente continua 0,1 amperios.
- 1 interruptor
- 5 metros Cable sucre numero 18
- 1 conector clavija de 3 hilos de 300 voltios 16 amperios



Figura 3.76. Cargador 48 voltios 3 amperios

### 3.6.3. SISTEMA CON MOTOR DIESEL

El sistema con motor diesel es la parte hibrida de la motocicleta que se encuentra montado en un sidecar, conjuntamente con 4 alternadores.

Los alternadores funcionarían uno por cada batería conectado en paralelo, siendo la potencia nominal de 5000w del motor eléctrico, la potencia generada por los alternadores sería de:

### **Alternadores**

Marca: Ford

Modelo: Ford OEM

Tensión máxima: 14v

Corriente máxima: 90 A

Potencia del sistema híbrido:

$$PotH = I * V * nb \quad 3.43$$

I= intensidad de las baterías entregada por los alternadores

V= tensión de los alternadores.

Nb=Número de Alternadores

$$PotH = 90 * 14 * 4 = 5040 \text{ w}$$

Con una potencia de 5040 W cumple con la demanda energética del motor eléctrico, el motor diesel debe ser de una potencia de mínima de 5500 w (7,4 Hp). Por lo tanto se selecciona el siguiente motor Diesel:

### **Motor Diesel**

Marca: ETK

Modelo: HL170F

Potencia máxima: 7,5Hp @ 3600 rpm

Torque máximo: 27 Nm @ 1500 rpm

El motor diesel con sus alternadores (Figura 3.77) funcionaría como un moto-generador para las baterías, siendo el motor eléctrico el que genera el movimiento de la motocicleta. El conjunto del motor diesel con los alternadores y el sidecar tendría un peso de 70 Kg, cambiando la relación de transmisión de 9.33 a 1, con una catalina conducida de 112 dientes y la conductora de 12 dientes.

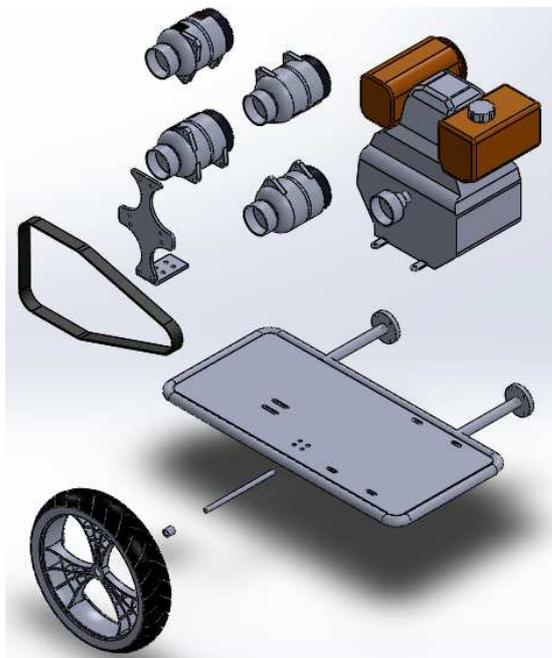


Figura 3.77. Sidecar con el sistema híbrido – despiece

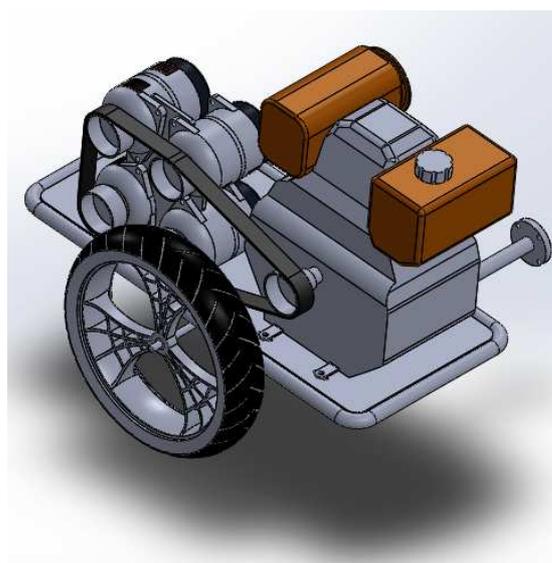


Figura 3.78. Sistema híbrido ensamblado.

El sistema híbrido se acopla a la motocicleta mediante dos bridas que parten desde el chasis hacia el sidecar (Figura 3.78).



Figura 3.79. Motocicleta con bridas de conexión.

La motocicleta en conjunto con el sistema híbrido (Figura 3.79) tendría una autonomía limitada al uso del combustible fósil (diesel), el consumo del motor es de 1.13 litros / hora.

## CAPÍTULO 4

### FASE DE CONSTRUCCIÓN

Antes del proceso constructivo, es indispensable el desmontaje de todos los componentes correspondientes al motor a gasolina.

Para lo cual se necesitará las siguientes herramientas:

- Destornillador tipo plano
- Destornillador tipo estrella
- Llave tipo mixta # 10, 12, 14, 17 [mm]

#### 4.1. DESMONTAJE DE ACCESORIOS

Corresponde al desmontaje de:

- Tanque de combustible
- Depurador de aire
- Deposito de aceite 2T
- Batería

Condición inicial



Figura 4.1. Suzuki Ax100

La motocicleta se encuentra en perfectas condiciones de funcionamiento y cuenta con todos sus accesorios originales de fábrica (Figura 4.1).

#### Desmontaje de asiento



Figura 4.2. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado el asiento

El asiento está sujeto por dos pernos M8 (Figura 4.2) en la parte posterior, además de estar enclavado al chasis.

#### Desmontaje del tanque de combustible



Figura 4.3. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado el Tanque de combustible

El tanque de combustible está sujeto por dos pernos M6 (Figura 4.3) y soportado en la parte delantera mediante pines metálicos con cauchos al chasis.

#### Desmontaje de cubiertas laterales



Figura 4.4. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado las cubiertas laterales.

Las cubiertas laterales están sujetas mediante pernos M6 (Figura 4.4) para destornillador tipo estrella, además de dos soportes plásticos que se añaden a presión al chasis.

#### Desmontaje del depurador



Figura 4.5. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado depurador y depósito de aceite 2T.

El depurador está sujeto mediante pernos M6 (Figura 4.5) para destornillador tipo estrella.

## 4.2. DESMONTAJE DE MOTOR A GASOLINA

Corresponde al desmontaje de:

- Tubo de escape
- Cable de Aceleración y Bomba de aceite
- Cable del ahogador
- Cadena de transmisión.

Desmontaje del tubo de escape



Figura 4.6. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado el sistema de escape.

El tubo de escape está sujeto por dos espárragos M8 (Figura 4.6) directamente al bloque del motor, adicionalmente se encuentra sujeto en el chasis con un perno M12.

### Desmontaje tapa del motor



Figura 4.7. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado la tapa del motor.

La tapa del motor se encuentra sujeta por 8 pernos M6 (Figura 4.7), la cual es removida para el desmontaje de la cadena, bomba de aceite.

### Desmontaje cadena



Figura 4.8. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado la cadena de transmisión.

Para desmontar la cadena es necesario aflojar la rueda posterior (Figura 4.8).

### Desmontaje de cable de aceleración



Figura 4.9. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado cables de aceleración y ahogador.

Es necesario el desmontaje del cable de aceleración y ahogador (Figura 4.9) ya que estos se encuentran en el carburador que está sujeto al bloque del motor.

### Desmontaje del motor



Figura 4.10. Motocicleta Suzuki Ax100 desmontado el motor.

El motor se encuentra sujeto por 3 pernos M8 (Figura 4.10).

### 4.3. CONSTRUCCIÓN DE SOPORTE MOTOR

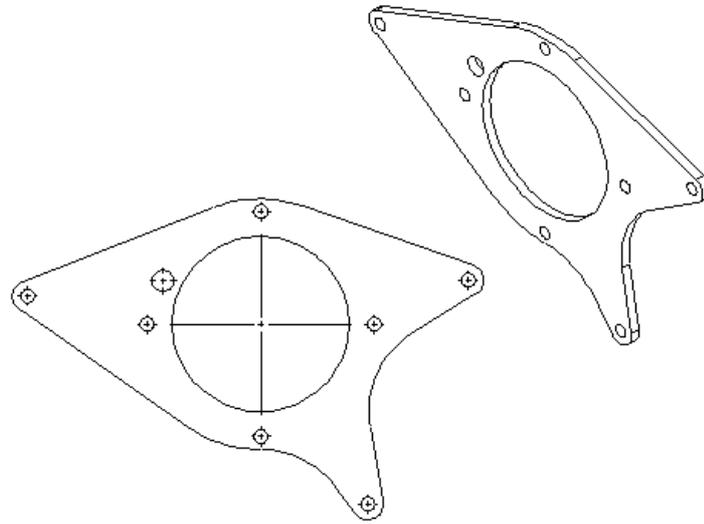


Figura 4.11. Soporte del Motor

Ver ANEXO D – Plano de soporte del motor

**De acuerdo al diseño:**

Material: ASTM A36

Espesor: 8mm

Torneado



Figura 4.12. Torneado de placa – Soporte del motor.

Proceso de manufactura para obtener la perforación que requiere el motor (Figura 4.12).

## Perforación



Figura 4.13. Perforación de esquinas placa del motor – soportes en el chasis.

Las perforaciones son para pernos m8 (Figura 4.13=, acoplándose al chasis.

## Rectificado y machuelado



Figura 4.14. Rectificado de placa soporte del motor y machuelado M16

El machuelado M16 x 1.5 (Figura 4.14) es para el termo interruptor del sistema de refrigeración.

## Comprobación

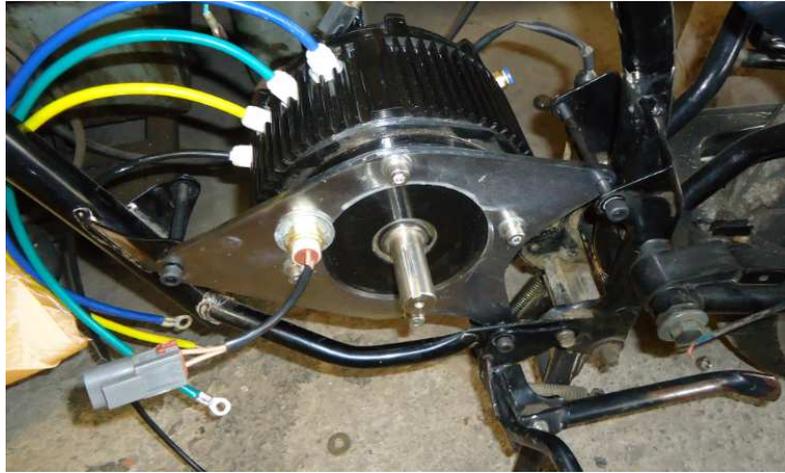


Figura 4.15. Comprobación geométrica de la placa soporte del motor.

Se verifica que la geometría coincida con la del chasis (Figura 4.15).

## 4.4. CONSTRUCCIÓN DE SOPORTES DE BATERÍAS

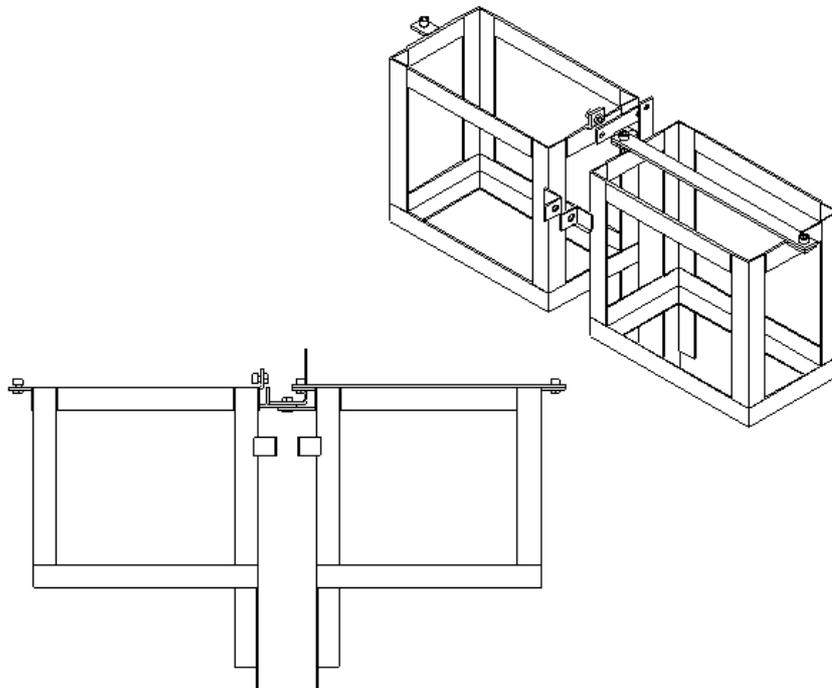


Figura 4.16. Soportes de baterías delanteros

Ver ANEXO D – Plano de soporte de baterías delantero

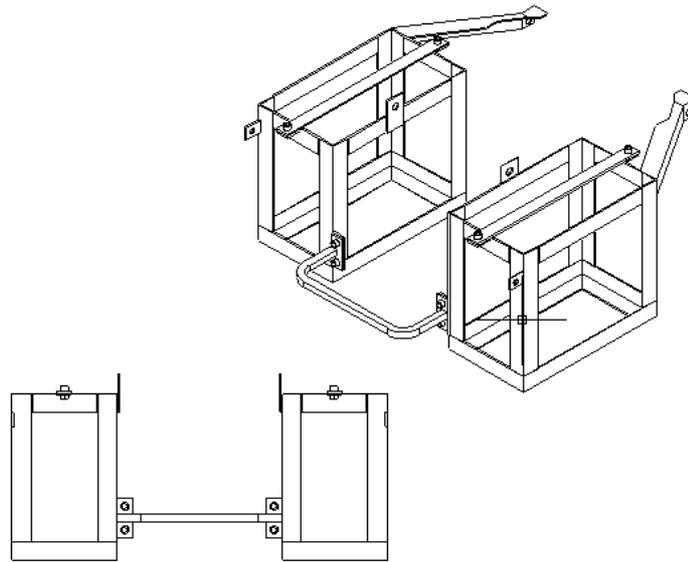


Figura 4.17. Soportes de baterías posterior

Ver ANEXO D – Plano de soporte de baterías Posterior

**De acuerdo al diseño:**

Ángulo de 25mm x 2mm

Platina de 19mmx 3mm

Los soportes de baterías tanto delanteros (Figura 4.16) como posteriores (Figura 4.17), tienen como base el mismo cajón donde se alojan las baterías.

Fabricación



Figura 4.18. Cajones soportes de baterías

## Ubicación y verificación



Figura 4.19. Ubicación y comprobación del soporte de baterías posterior.

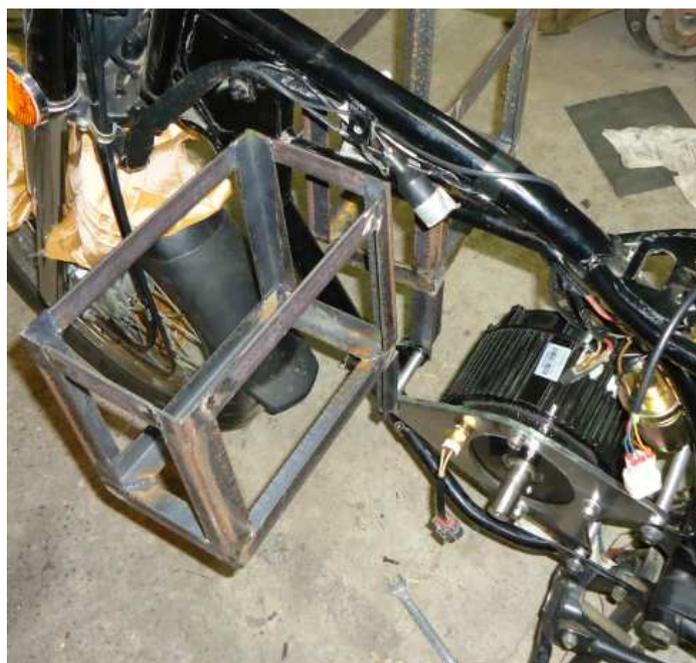


Figura 4.20. Ubicación y comprobación de soporte de baterías delantero

Previo al acabado final se debe comprobar, que los cubos de baterías tanto delanteros (Figura 4.20) como posteriores (Figura 4.19), coincidan perfectamente en el chasis.

## Comprobación



Figura 4.21. Comprobación de la ubicación de baterías.



Figura 4.22. Comprobación de la ubicación de baterías.

Las baterías encajan perfectamente y sus soportes funcionan a la perfección (Figura 4.21 – Figura 4.22).

#### 4.5. CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE DEL CONTROLADOR

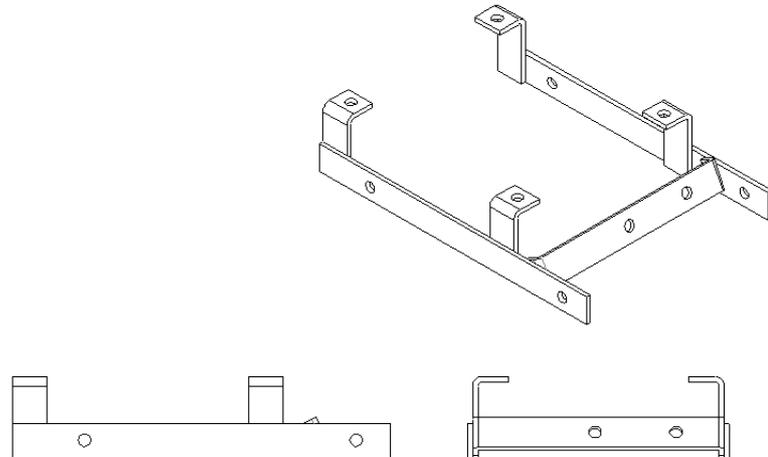


Figura 4.23. Soportes del controlador

Ver ANEXO D – Plano de soporte del controlador

**De acuerdo al diseño:**

Platina de 19mmx 3mm

Construcción y comprobación



Figura 4.24. Ubicación del controlador en el chasis de la motocicleta.



Figura 4.25. Comprobación del soporte con la ubicación del controlador.

El controlador montado sobre su soporte (Figura 4.24 - Figura 4.25) debe tener libre acceso para conectar los cables (arnés de cables, motor, entre otros).

#### 4.6. ADAPTACIÓN - MAQUINADO DE CATALINAS

Las catalinas seleccionadas son ANSI 40 de 12 y 60 dientes, deben ser maquinadas de tal manera que coincidan con la geometría del eje del motor y de la rueda propulsora.

Catalina conductora



Figura 4.26. Maquinado de catalina conductora a diámetro del eje del motor.



Figura 4.27. Comprobación de maquinado de la catalina conductora  
La catalina conductora (Figura 4.26) tiene una chaveta de 5mm (Figura 4.27).

Catalina conducida

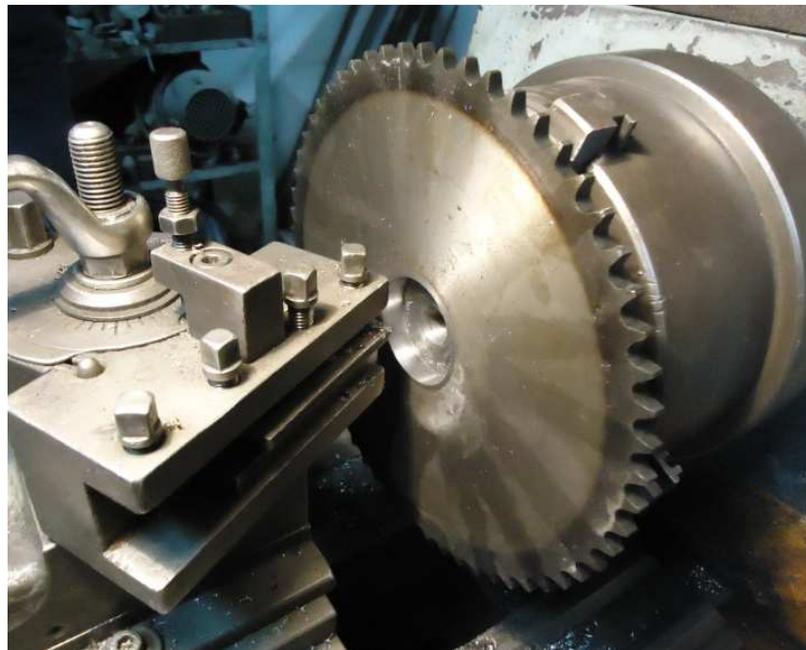


Figura 4.28. Maquinado de catalina conducida.

La catalina se maquina de tal manera que acople con la geometría de la manzana de la rueda conductora (Figura 4.28).

## 4.7. FABRICACIÓN DE CARGADOR



Figura 4.29. Caja del cargador de baterías

El cargador de baterías está ensamblado en una caja plástica (Figura 4.29), donde se ubican las bobinas, diodos rectificadores, ventilador, cables e interruptor.



Figura 4.29. Caja del cargador de baterías

Colocación de bobinas, diodos y cables del cargador (Figura 4.29).



Figura 4.30. Cargador 48 voltios 3 amperios.



Figura 4.31. Cargador 48 voltios 3 amperios - funcionamiento

Cargador construido y funcionando (Figura 4.30 - Figura 4.31).

Entrada 120 voltios, 60 hz.

Salida 48 voltios 3 amperios.

## CAPÍTULO 5

### EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO Y AUTONOMÍA

#### 5.1. PRUEBAS DE AUTONOMÍA

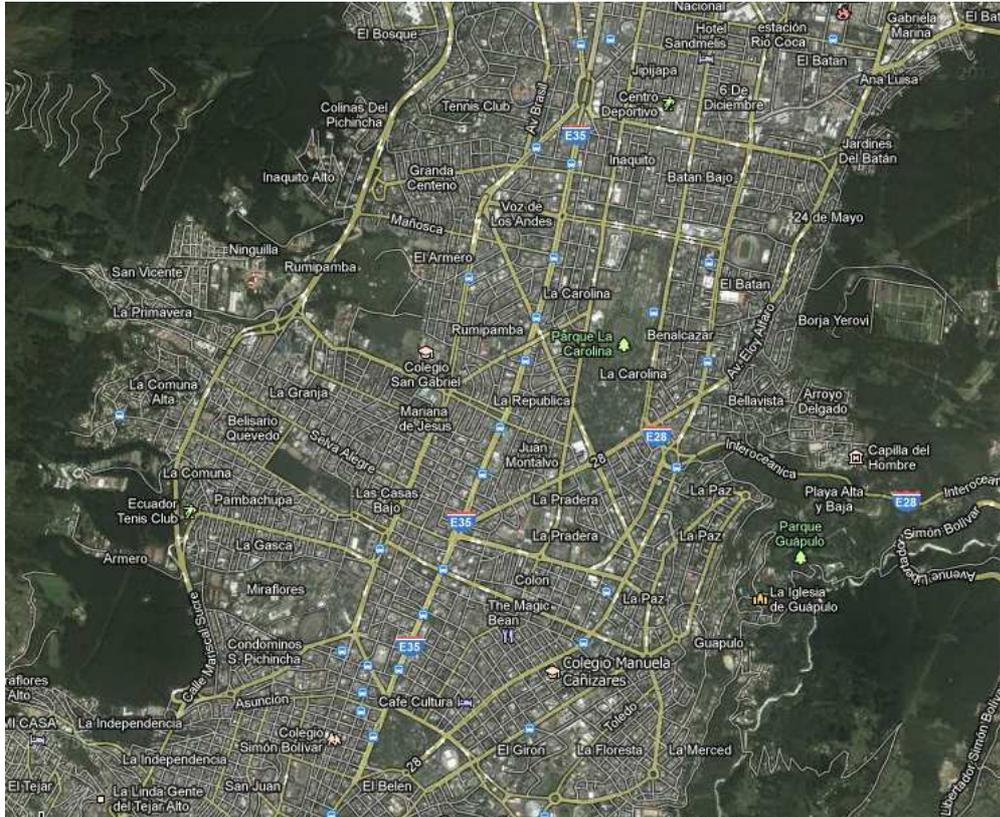


Figura 5.1. Mapa de la ciudad de Quito.

#### Consideraciones de las pruebas de Funcionamiento

Todas las pruebas fueron realizadas con un conductor de 70kg, al 100% de carga de las baterías y un consumo máximo de 200 amperios.

Las pruebas de autonomía se realizaron en la Urbanización san Nicolás - Valle de los Chillós, en un circuito cerrado. Se obtuvo una autonomía de 25,8 km a una velocidad promedio de 30 km/h

La siguiente prueba se realizó en la ciudad de Quito (Figura 5.1) en hora pico 12 horas del medio día y tuvo un recorrido de 21.1km.

Circulando por las principales avenidas de la ciudad, estas son:

Avenidas 6 de Diciembre, Patria, Naciones Unidas, Gaspar de Villarroel, Amazonas (Figura 5.2 - Figura 5.3), Rio Coca, entre otras.



Figura 5.2. Pruebas - Recorrido por la avenida Amazonas.



Figura 5.3. Pruebas - Recorrido por la avenida Amazonas.

La siguiente prueba se realizó la Carretera Simón Bolívar (Figura 5.4) desde la UIDE hasta la entrada a Cumbayá (Figura 5.5), posteriormente se recorrió hasta llegar a Tumbaco – entrada de los buses a Cunuyacu, con un recorrido de 18.7Km



Figura 5.4. Prueba - Recorrido Simón Bolívar



Figura 5.5. Prueba - Recorrido entrada a Cumbayá.

Y por último se realizó una prueba aleatoria por las siguientes avenidas y calles de la ciudad de Quito: Avenida América, La Gasca, Colon, La Mariscal, Mariana de Jesús, con una autonomía de 21.0 Km

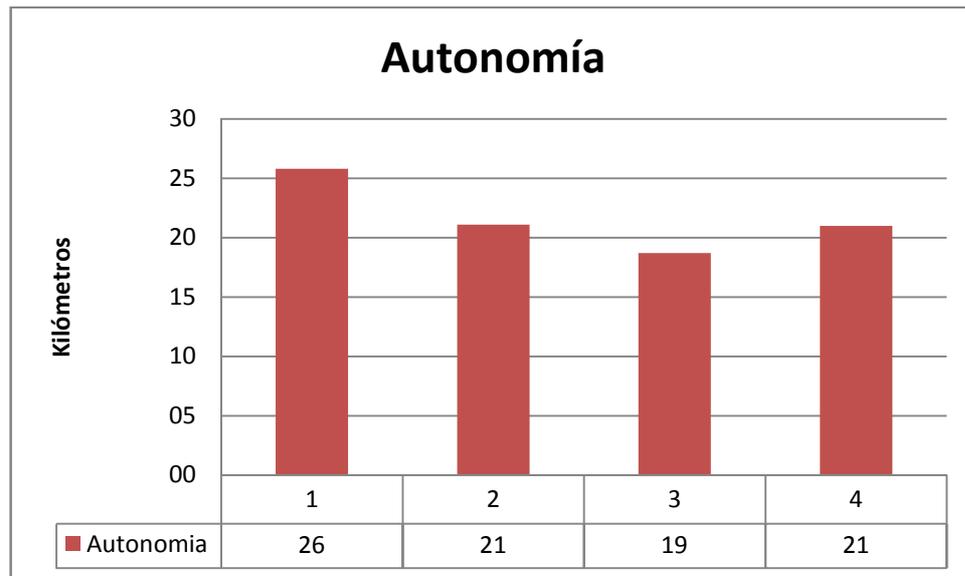


Figura 5.6. Autonomía de la motocicleta eléctrica.

A partir de la gráfica (Figura 5.6) se determina que:

- El primer valor de la gráfica muestra una autonomía de 25 km, esto se debe a que esta prueba se realizó en un circuito cerrado sin interferencias o congestión vehicular.
- La segunda y cuarta prueba son realizadas en la ciudad de Quito en hora pico con una autonomía de 21 km.
- La tercera prueba fue realizada tanto en ciudad como en carretera obteniendo una autonomía de 18 km.

La autonomía dependerá de la irregularidad de condiciones por donde circula la motocicleta y de la persona quien lo conduce, ya que si tiene aceleraciones bruscas estas implican un consumo adicional de energía, también si se sobrecarga la motocicleta, y por su puesto si hacemos un constante ascenso de pendientes donde se consume una gran cantidad de energía, es decir la autonomía dependerá del conductor.

Anatomía promedio 21Km.

Velocidad máxima comprobada 100 km/h (Simón Bolívar).

Velocidad máxima teórica 150 Km/h.

## 5.2. PRUEBAS DE ACELERACIÓN

Las pruebas fueron realizadas con un conductor de 70kg y el tanque lleno de combustible en una recta de 100m planos en la ciudad de Quito, obteniendo los siguientes resultados.

### Motocicleta a Gasolina

Número	Tiempo [s]	Velocidad [Km/h]	Aceleración [Km/h.s]
1	9,8	52	5,306
2	8,6	53	6,163
3	9,5	56	5,895
4	9,6	54	5,625
5	9,5	53	5,579
6	9,9	51	5,152
7	9,5	55	5,789
8	9,6	54	5,625
9	9,4	55	5,851
10	9,4	56	5,957
11	9,5	55	5,789
12	9,4	54	5,745
13	9,5	53	5,579
14	9,5	53	5,579
15	9,4	55	5,851
16	9,6	53	5,521
17	9,7	54	5,567
18	9,6	54	5,625
19	9,4	54	5,745
20	9,5	54	5,684
<b>PROMEDIO</b>	<b>9,495</b>	<b>53,9</b>	<b>5,681</b>

Tabla 5.1 Prueba de aceleración de la motocicleta con motor a gasolina.

La aceleración promedio de la motocicleta (Tabla 5.1) con el motor a gasolina es de 5,6 km/h.s.

### Motocicleta Eléctrica

Las pruebas con la motocicleta eléctrica fueron realizadas con un conductor de 70kg y consumo de corriente máximo de 200 A.

Número	Tiempo [s]	Velocidad [Km/h]	Aceleración [Km/h.s]
1	12,31	54	4,387
2	12,29	55	4,475
3	12,28	56	4,560
4	12,38	52	4,200
5	12,28	55	4,479
6	12,31	54	4,387
7	12,35	52	4,211
8	12,3	54	4,390
9	12,31	54	4,387
10	12,3	53	4,309
11	12,29	55	4,475
12	12,27	56	4,564
13	12,3	54	4,390
14	12,31	53	4,305
15	12,27	56	4,564
16	12,32	53	4,302
17	12,36	51	4,126
18	12,31	54	4,387
19	12,31	53	4,305
20	12,27	56	4,564
<b>PROMEDIO</b>	<b>12,306</b>	<b>54</b>	<b>4,388</b>

Tabla 5.2 Prueba de aceleración de la motocicleta Eléctrica.

La aceleración promedio de la motocicleta con el motor eléctrico (Tabla 5.2) es de 4,3 km/h.s.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. CONCLUSIONES

- Los principales problemas para la conversión de la motocicleta a gasolina en eléctrica fueron el elevado costo de la importación del motor y controlador, además de baterías con baja densidad energética en Ecuador.
- Para aumentar la autonomía se ve necesaria la implementación de una mayor cantidad de baterías, las cuales traen como consecuencia un aumento de carga (peso) que excedería la capacidad de carga de la motocicleta, impidiendo su normal funcionamiento.
- La motocicleta eléctrica es una alternativa para los problemas actuales de contaminación de la ciudad de Quito, la cual de una u otra manera necesita un menor índice de contaminación diaria, ya que el solo hecho de ser una ciudad con un excesivo parque automotor colapsa el aire respirado por los quiteños.
- La motocicleta eléctrica será el punto de partida para la nueva generación de vehículos eléctricos en la ciudad de Quito, que poco a poco, reemplazarán a los vehículos convencionales.
- Esta motocicleta eléctrica ha sido una creación ejemplar para que las generaciones futuras puedan desarrollar aun más tecnología a favor del medio ambiente.

- Como se puede apreciar a lo largo de esta tesis, los vehículos eléctricos son una realidad a nivel mundial, por lo tanto, constituyen un desafío para las instituciones públicas, que deben comprender la importancia estratégica del tema y producir las condiciones propicias que conduzcan al fortalecimiento de su desarrollo tecnológico.
- Nosotros atentos a la actual degradación del medio ambiente, especialmente en sectores de alta densidad de población, encontramos en la motocicleta eléctrica un medio altamente efectivo para contrarrestar la peligrosa contaminación causada por los motores de combustión interna.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Proponer a las instituciones gubernamentales la exoneración de impuestos en componentes para la construcción de vehículos eléctricos, ya que son un aporte para el mejoramiento del medio ambiente.
- Promover a los productores de baterías nacionales como es el caso de Baterías Ecuador a la producción de baterías para vehículos eléctricos con una gran densidad energética.
- A partir de la motocicleta eléctrica se pueden iniciar otro tipo de estudios para cargar sus baterías, como amortiguadores regenerativos, estaciones de carga solar, estudio de implementación de estaciones de servicio para cargar vehículos eléctricos.
- Analizar la tecnología empleada en la motocicleta eléctrica siendo punto de partida para nuevos prototipos ecológicos amigables con el medio ambiente.
- Promover el uso de vehículos eléctricos, ya que su fuente de energía es limpia y es de uso universal, ya que, en cada casa tenemos una toma de energía eléctrica en la cual podemos cargar los vehículos eléctricos.
- El Ecuador al ser un país con ventajas geográficas debe aprovechar la generación de energía solar, eólica e hidroeléctrica para mover vehículos eléctricos.
- Utilizar vehículos eléctricos, ya que su costo de operación es aproximadamente el 20% de un vehículo convencional con motor de combustión interna, además que sus partes son reciclables como las baterías.

## REFERENCIAS

### BIBLIOGRÁFICAS

- LOBOSCO, ORLANDO y DÍAS, JOSÉ. Selección y aplicación de motores eléctricos. Traducido del Portugués por Dr. David Oliver. Primera edición. Barcelona, Ingoprint S.A. pp 1-121, 276-351
- PITTS, DONALD y SISSOM, LEIGHTON. Transferencia de calor – Teoría y Problemas. Traducido del inglés por Ing. Santiago Gamba. Primera edición. USA. McGraw-Hill. pp 240 -259.
- NORTON, ROBERT. Diseño de Máquinas. Traducido del inglés por Ing. Gabriel Sánchez. Primera edición. Mexico. Pretice Hall. pp 4 -55.
- INMAN, D.J. Engineering Vibration. Primera edición. USA. Pretice Hall. pp 130 -139.
- SETH, LEITHMAN y BOB, BRANT. Build your own electric vehicle. Second edition, USA. McGraw-Hill. pp 1 -311.
- VOGEL, CARL. Build your own electric motorcycle. First Edition. McGraw-Hill. pp 1 -384.
- GILARDI, JAIME. Motores de combustión interna. Primera edición. Mexico. Pretice Hall. pp 1 -100.

### INTERNET

- Sistemas dinámicos  
[http://www.profjrwhite.com/system\\_dynamics/sdyn/s6/s6acase2/s6acase2.html](http://www.profjrwhite.com/system_dynamics/sdyn/s6/s6acase2/s6acase2.html)
- Contaminación en Quito  
<http://especiales.elcomercio.com/2012/06/contaminacion/>

- Contaminación en Quito  
<http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/contaminacion-en-quito-baja-un-6-434489.html>
- Contaminación en Quito  
<http://especiales.elcomercio.com/2012/06/contaminacion/>
- Motores eléctricos  
[http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?code=WBT\\_MOTORBLDCTUT\\_WP](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?code=WBT_MOTORBLDCTUT_WP)
- Baterías Mac  
[www.mac.com.co](http://www.mac.com.co)
- Motores Eléctricos  
[www.goldenmotor.com](http://www.goldenmotor.com)
- Baterías Ecuador  
<http://www.bateriasecuador.com/>
- Alternadores FORD  
<http://www.electrobat.com/?seccion=listado&marca=Ford&tipo=1>
- Motores Diesel  
<http://www.etkpower.com/FAQ.asp>

# ANEXOS

**ANEXO A**  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR

**ANEXO B**

**ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR**

**ANEXO C**

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS BATERÍAS**

**ANEXO D**

CATÁLOGO DE CADENAS

CATÁLOGO DE CATALINAS

PLANOS MECÁNICOS

**ANEXO E**  
**PLANO ELÉCTRICO**