



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: “INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
DE UN CUATRIMOTO DE COMBUSTIÓN INTERNA AL
IMPLEMENTAR PROPULSIÓN HÍBRIDA MEDIANTE UN
SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA
K.E.R.S.”**

AUTOR: LOGACHO CAICEDO, MARIO ANDRÉS

DIRECTOR: ING. QUIROZ ERAZO, LEONIDAS ANTONIO

LATACUNGA

2019



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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN CUATRIMOTO DE COMBUSTIÓN INTERNA AL IMPLEMENTAR PROPULSIÓN HÍBRIDA MEDIANTE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA K.E.R.S**”, fue realizado por el señor **LOGACHO CAICEDO, MARIO ANDRÉS** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por las herramientas de verificación de similitud de contenido: por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 28 de enero del 2019

Ing. Quiroz Erazo Leonidas Antonio

CC: 050250999-5



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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **LOGACHO CAICEDO, MARIO ANDRÉS**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN CUATRIMOTO DE COMBUSTIÓN INTERNA AL IMPLEMENTAR PROPULSIÓN HÍBRIDA MEDIANTE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA K.E.R.S”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

Latacunga, 28 de enero del 2019

Logacho Caicedo Mario Andrés

CC: 172483900-4



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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Yo, **LOGACHO CAICEDO, MARIO ANDRÉS**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**INVESTIGACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN CUATRIMOTO DE COMBUSTIÓN INTERNA AL IMPLEMENTAR PROPULSIÓN HÍBRIDA MEDIANTE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA K.E.R.S**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido e ideas y criterios son de mi responsabilidad

Latacunga, 28 de enero del 2019

Logacho Caicedo Mario Andrés

CC: 172483900-4

DEDICATORIA

Dedicó esta investigación a la memoria de mi abuelito, ya fallecido hace 12 años, siempre es nuestro pilar de inspiración para realizar trabajos de calidad

AGRADECIMIENTO

A mi padre por su aporte en la experiencia práctica, en lo emocional y económico; ya que día a día está pendiente de mí y de mis labores diarias.

A mi madre por sus cuidados, apoyo emocional, paciencia con mi carácter y observaciones estéticas que dan lugar a una buena presentación

A mi hermana por apoyarme incondicionalmente, sus consejos y sus cuidados

A mi hermano por el aporte científico y técnico, al ser un ingeniero mecatrónico, ha sido de gran ayuda para la realización de este proyecto

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xviii
ABREVIATURAS	xx
RESUMEN.....	xxiv
ABSTRACT	xxv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes investigativos.....	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.2.1. Árbol de problemas	3
1.3. Descripción resumida del proyecto.....	3
1.4. Justificación e importancia	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos.....	5
1.6. Metas	6

1.7. Hipótesis	6
1.8. Operacionalización de variables	6
1.8.1. Variable dependiente.....	6
1.8.2. Variable independiente.....	7
1.9. Metodología de desarrollo del proyecto	8

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de propulsión en automotores.....	10
2.1.1. Térmico.....	10
2.1.2. Híbrido.....	10
2.2. Motores de combustión interna en motocicletas o cuatrimotos.....	10
2.2.1. Funcionamiento.....	10
2.2.2. Tipos.....	11
2.2.3. Curvas de rendimiento.....	11
2.2.4. Gasto horario de combustible	11
2.3. Motor - generador	13
2.3.1. Definición	13
2.3.2. Partes.....	13
2.3.3. Funcionamiento.....	15
2.3.4. Fuerza contraelectromotriz	16
2.3.5. Tipos.....	17
2.3.6. Curvas de rendimiento.....	18
2.4. Eficiencia	18
2.4.1. Mecánica.....	18
2.4.2. Térmica.....	21
2.4.3. Eléctrica.....	21

2.5. Motor de combustión interna vs. Motor eléctrico	24
2.5.1. Ventajas de un motor de combustión interna	24
2.5.2. Ventajas de un motor eléctrico	24
2.6. Sistema de recuperación de energía cinética	26
2.6.1. Funcionamiento.....	26
2.6.2. Ventajas.....	26
2.6.3. Inconvenientes	27
2.6.4. Tipos.....	27
2.6.5. Acumulador de energía.....	27
2.7. Sistema de transmisión de movimiento	29
2.7.1. Ejes o flechas	29
2.7.2. Esfuerzos.....	29
2.7.3. Embrague.....	39
2.7.4. Acoplamiento.....	40
2.7.5. Bandas o cadenas	40
2.8. Elementos de sujeción	46
2.8.1. Pernos.....	46
2.8.2. Soportes y lamina base	49
2.9. Sistema de control electrónico de seguridad	50
2.9.1. Placas de desarrollo con microcontroladores	50
2.9.2. Sensores.....	51
2.9.3. Protección	53
2.9.4. Dispositivos de salida.....	53

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

3.1. Eléctrico.....	56
---------------------	----

3.1.1. Motor generador.....	56
3.1.2. Relés.....	57
3.1.3. Embrague.....	58
3.1.4. Dispositivos de medición.....	59
3.1.5. Acumulador de energía.....	60
3.1.6. Switch máster o de paro	63
3.1.7. Conmutador	63
3.1.8. Fusibles.....	65
3.1.9. Conductor eléctrico	66
3.2. Electromecánico.....	68
3.2.1. Etapa de generador.....	69
3.2.2. Etapa de motor	70
3.3. Electrónico.....	71
3.3.1. Microcontrolador	71
3.3.2. Regulador de voltaje.....	71
3.3.3. Regulador de tensión.....	72
3.3.4. Fuente de alimentación.....	73
3.3.5. Sensor de temperatura	74
3.3.6. Sensor de voltaje	75
3.3.7. Interfaz de salida de datos	76
3.4. Mecánico	81
3.4.1. Bastidor.....	81
3.4.2. Sistema de fijación	81
3.4.4. Simulación CAE	99

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Puesta a punto del cuatrimoto	103
4.2. Descarga rápida baterías HV en banco de pruebas	104
4.3. Aceptación de carga baterías HV banco de pruebas	105
4.4. Capacidad de reserva baterías HV banco de pruebas.....	106
4.5. Descarga rápida y aceptación de carga LVE en banco de pruebas	107
4.6. Modo motor	108
4.6.1. Descarga rápida baterías HV	108
4.6.2. Capacidad de reserva baterías HV	109
4.6.3. Descarga rápida batería LVE	110
4.7. Modo generador	111
4.7.1. Descarga rápida baterías LVE	111
4.7.2. Aceptación de carga baterías HV	112
4.7.3. Aceptación de carga batería LVE	113
4.8. Dinamométricas	114
4.8.1. Propulsión térmica	114
4.8.2. Propulsión híbrida pasiva	115
4.8.3. Propulsión híbrida activa	115
4.9. Autonomía	116
4.9.1. Lineamientos.....	116
4.9.2. Consideraciones previas a las pruebas	116
4.9.3. Protocolo de funcionamiento	117
4.9.4. Procedimiento	118
4.9.5. Trayectoria.....	118
4.10. Eficiencia	125
4.10.1. Mecánica.....	125
4.10.2. Térmica.....	127

4.10.3.Eléctrica.....	127
4.11. Comprobación de la hipótesis.....	129
4.11.1.Consumo de combustible.....	131

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Factibilidad de la investigación.....	133
5.1.1. Recursos materiales.....	133
5.1.2. Talento humano.....	133
5.1.3. Recurso financiero.....	134
5.2. Título de la propuesta.....	137
5.2.1. Estructura de la propuesta.....	137
5.2.2. Desarrollo de la propuesta.....	137
5.2.3. Influencia socioeconómica de la propuesta.....	137
CONCLUSIONES.....	140
RECOMENDACIONES.....	141
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	142
NORMAS.....	148
ANEXOS.....	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rendimiento energético del combustible en diversos tipos de automóviles .	2
Tabla 2 <i>Variable dependiente: Eficiencia energética</i>	6
Tabla 3 <i>Variable independiente: Sistema K.E.R.S.</i>	7
Tabla 4 <i>WLTP clase 2 ciclo de prueba</i>	13
Tabla 5 <i>Características del motor eléctrico por su diseño</i>	17
Tabla 6 <i>Motor de combustión interna vs Motor eléctrico</i>	25
Tabla 7 <i>Ficha técnica de Ni-MH</i>	28
Tabla 8 <i>Razón de Poisson</i>	37
Tabla 9 <i>Módulos de Young para varios metales</i>	38
Tabla 10 <i>Coeficiente de rozamiento de una correa</i>	41
Tabla 11 <i>Coeficiente de tracción real de las correas</i>	42
Tabla 12 <i>Constantes físicas de materiales I</i>	47
Tabla 13 <i>Constantes físicas de materiales II</i>	49
Tabla 14 <i>Tipos de sensores</i>	52
Tabla 15 <i>Tabla de ponderación para selección del MG</i>	56
Tabla 16 <i>Especificaciones técnicas del MG</i>	57
Tabla 17 <i>Potencia consumida MG</i>	57
Tabla 18 <i>Especificaciones técnicas de relé de potencia</i>	58
Tabla 19 <i>Potencia consumida de relés en parámetros fuera de rango</i>	58
Tabla 20 <i>Especificación técnica del embrague</i>	59
Tabla 21 <i>Potencia consumida embrague</i>	59
Tabla 22 <i>Especificación técnica de los amperímetros - voltímetros</i>	60
Tabla 23 <i>Potencia consumida amperímetros - voltímetros</i>	60
Tabla 24 <i>Potencia mínima del motor de arranque</i>	61
Tabla 25 <i>Potencia consumida por los componentes eléctricos del K.E.R.S</i>	61
Tabla 26 <i>Capacidad de descarga de componentes eléctricos del K.E.R.S</i>	62
Tabla 27 <i>Especificación técnica de LVE</i>	62
Tabla 28 <i>Especificación técnica del switch máster o de paro</i>	63
Tabla 29.- <i>Diagrama de conexión de switch master o de paro</i>	63
Tabla 30 <i>Especificación técnica del conmutador</i>	64
Tabla 31 <i>Diagrama de conexión del conmutador</i>	64

Tabla 32 <i>Especificaciones técnicas conductores eléctricos</i>	66
Tabla 33 <i>Función de los conductores eléctricos por colores</i>	67
Tabla 34 <i>Descripción de la placa de bornes</i>	68
Tabla 35 <i>Especificación técnica baterías HV</i>	69
Tabla 36 <i>Especificación técnica microcontrolador</i>	71
Tabla 37 <i>Especificación técnica LM7805</i>	72
Tabla 38 <i>Calculo de la capacidad de condensador</i>	72
Tabla 39.- <i>Especificación técnica del condensador</i>	72
Tabla 40 <i>Especificación técnica LV</i>	73
Tabla 41 <i>Cálculo tiempo duración LV</i>	74
Tabla 42 <i>Especificación técnica sensor temperatura</i>	74
Tabla 43 <i>Calculo resistencia divisora de tensión</i>	75
Tabla 44 <i>Especificación técnica sensor de tensión</i>	75
Tabla 45 <i>Especificación técnica LCD</i>	76
Tabla 46 <i>Especificación técnica relé de LV</i>	77
Tabla 47 <i>Especificación técnica transistor</i>	77
Tabla 48 <i>Tensión máxima de 4 materiales para lamina base</i>	82
Tabla 49 <i>Ecuaciones para el numero de pernos que sostienen la lámina base</i>	82
Tabla 50.- <i>Ecuaciones para el numero de pernos en la base del motor</i>	83
Tabla 51 <i>Ecuaciones para el numero de pernos en la base de la chumacera</i>	85
Tabla 52 <i>Ecuaciones para el numero de pernos que sostienen el templador</i>	87
Tabla 53 <i>Ecuaciones para el numero de pernos en la base del aluminio</i>	88
Tabla 54 <i>Ecuaciones de la concentración de esfuerzos por interferencia</i>	90
Tabla 55 <i>Ecuaciones para el diámetro del eje en función de interferencia</i>	92
Tabla 56 <i>Ecuaciones para el diámetro del eje en función de los seguros</i>	94
Tabla 57 <i>Ecuaciones para el diámetro del eje en función de los destajes ranuras</i> ...95	
Tabla 58 <i>Ecuaciones para la capacidad torsional del embrague</i>	96
Tabla 59 <i>Ecuaciones para coeficiente de tracción real de una correa</i>	97
Tabla 60 <i>Ecuaciones para el numero de pernos que sostienen la jaula</i>	98
Tabla 61 <i>Calculo potencia consumidor banco de pruebas</i>	104
Tabla 62 <i>Descarga rápida batería HV en banco de pruebas</i>	104
Tabla 63 <i>Aceptación de carga baterías HV en banco de pruebas</i>	105
Tabla 64 <i>Capacidad de reserva baterías HV banco de pruebas</i>	106
Tabla 65 <i>Descarga rápida y aceptación de carga batería LVE banco de pruebas</i> 107	

Tabla 66 Descarga rápida baterías HV en K.E.R.S	108
Tabla 67 Capacidad de reserva baterías HV modo motor.....	109
Tabla 68 Descarga rápida batería LVE modo motor	110
Tabla 69 Descarga rápida baterías LVE modo generador.....	111
Tabla 70 Aceptación de carga baterías HV modo generador.....	112
Tabla 71 Aceptación de carga batería LVE	113
Tabla 72 Cálculo vehículo clase WLTP	118
Tabla 73 Datos WLTP propulsión térmica.....	119
Tabla 74 Datos WLTP propulsión híbrida pasiva	121
Tabla 75 Datos WLTP propulsión híbrida activa.....	123
Tabla 76 Eficiencia mecánica del MCI.....	126
Tabla 77 Eficiencia térmica del MCI.....	127
Tabla 78 Calculo de la eficiencia eléctrica en modo generador.....	128
Tabla 79 Calculo eficiencia eléctrica modo motor.....	129
Tabla 80 Resultados del ciclo WLTP	129
Tabla 81 Recursos materiales.....	133
Tabla 82 Talento humano.....	133
Tabla 83 Costo equipo básico	134
Tabla 84 Costo estructura	134
Tabla 85 Costo sistema de transmisión.....	135
Tabla 86 Costo Módulo de control	135
Tabla 87 Costo equipos tecnológicos.....	136
Tabla 88 Pruebas de investigación	137
Tabla 89 Costo de implementación del sistema híbrido K.E.R.S	138
Tabla 90 Costos del trabajo del sistema híbrido K.E.R.S.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Líneas características a plena carga de un motor Otto de cuatro tiempos ..	11
Figura 2 Ejemplo de Ciclo de Conducción WLTP	12
Figura 3 Funcionamiento de la Maquina de c.c. como generador o motor.....	13
Figura 4 Partes de un MG	15
Figura 5 Principio de funcionamiento del generador CC	15
Figura 6 Comparación de las acciones de motor y de generador	16
Figura 7 Torsión a plena carga vs velocidad sincrónica	17
Figura 8 Curvas característica de un motor de corriente continua	18
Figura 9 Diagrama de trabajo	20
Figura 10 Rango de Eficiencias en Mercado Alrededor de 1990.....	21
Figura 11 MG o dinamo	23
Figura 12 Balance de potencias en el generador cc.....	23
Figura 13 Curvas características de un motor térmico vs. Eléctrico	25
Figura 14 Torque vs Velocidad de un ME vs MCI	26
Figura 15 Evolución de la temperatura en las baterías de Ni-MH	28
Figura 16 Viga apoyada que muestra a V y M en direcciones positivas	31
Figura 17 Diagrama de la resistencia por el número de ciclos.....	32
Figura 18.- Diagrama del cuerpo libre de engranajes y correas	41
Figura 19 Eficiencia de una banda en función del coeficiente de tracción.....	42
Figura 20.- Dimensiones en un sistema de transmisión por banda y polea	42
Figura 21 Ejemplo de alineamiento de correas	43
Figura 22 Diagrama de esfuerzos de una banda de transmisión	45
Figura 23 Esquema básico general de un microcomputador	50
Figura 24 Ejemplo de estructura de referencia para arduino	51
Figura 25 Proceso de un sensor para interactuar con el medio	51
Figura 26.- Diagrama de funcionamiento del LM35	52
Figura 27 Forma de conectar voltímetro a Arduino	53
Figura 28 Forma de conectar LCD a Arduino uno	54
Figura 29 Diagrama de flujo del funcionamiento K.E.R.S.....	55
Figura 30 Esquema eléctrico del conmutador etapa generador.....	64
Figura 31 Esquema eléctrico del conmutador etapa motor.....	65

Figura 32 Fusible tipo tubo de vidrio.....	65
Figura 33 Diagrama eléctrico etapa generador.....	69
Figura 34 Diagrama eléctrico etapa motor.....	70
Figura 35 Sub circuito de regulador de tensión.....	73
Figura 36 Sub circuito divisor de tensión	75
Figura 37 Sub circuito señales de entrada e interfaz de salida.....	76
Figura 38 Sub circuito control electrónico.....	78
Figura 39 Circuito de control electrónico y manual	78
Figura 40 Diagrama 3D circuito control electrónico y mecánico	1
Figura 41 CAD bastidor estándar cuatrimoto	81
Figura 42 Lamina base.....	81
Figura 43 Base del MG	83
Figura 44 Ensamble base MG	84
Figura 45 Base chumacera	85
Figura 46 Ensamble base chumacera.....	86
Figura 47 Templador	86
Figura 48 Hoja de resultados por programa de cálculo de bandas	87
Figura 49 Base del embrague	88
Figura 50 Ensamblaje base del embrague.....	89
Figura 51 Eje exterior	90
Figura 52 Momento flexionante del eje exterior.....	91
Figura 53 Ensamble eje exterior.....	93
Figura 54 Eje interior.....	93
Figura 55 Momento flexionante del eje interior.....	94
Figura 56 Ensamble eje interior	97
Figura 57 Ensamble K.E.R.S en bastidor estándar.....	99
Figura 58 Esfuerzo de Von Mises en la base del sistema KERS	100
Figura 59 Desplazamiento de la base por acción de los esfuerzos.....	100
Figura 60 Bastidor con esfuerzos del sistema K.E.R.S	101
Figura 61 Desplazamiento del bastidor por acción de los esfuerzos	101
Figura 62 Bastidor aplicado esfuerzo del K.E.R.S y conductor.....	102
Figura 63 Diagrama de flujo puesta a punto cuatrimoto.....	103
Figura 64 Descarga rápida baterías HV en banco de pruebas.....	104
Figura 65 Aceptación de carga baterías HV en banco de pruebas	105

Figura 66	Capacidad de reserva baterías HV banco de pruebas	106
Figura 67	Descarga rápida y aceptación de carga batería LVE en cuatrimoto	107
Figura 68	Descarga rápida baterías HV en K.E.R.S.....	108
Figura 69	Capacidad de reserva baterías HV modo motor	109
Figura 70	Descarga rápida batería LVE modo motor.....	110
Figura 71	Descarga rápida baterías LVE modo generador	111
Figura 72	Aceptación de carga baterías HV modo generador	112
Figura 73	Aceptación de carga batería LVE	113
Figura 74	Curvas características propulsión térmica.....	114
Figura 75	Curvas características propulsión híbrida pasiva.....	115
Figura 76	Curvas características propulsión híbrida activa	116
Figura 77	Diagrama de flujo consideraciones previas a las pruebas	117
Figura 78	Diagrama de flujo protocolo de funcionamiento	117
Figura 79	Trayectoria de prueba WLTP	118
Figura 80	Prueba WLTP velocidad baja 1 propulsión térmica	120
Figura 81	Prueba WLTP velocidad media propulsión térmica	120
Figura 82	Prueba WLTP velocidad baja 2 propulsión térmica	121
Figura 83	Prueba WLTP velocidad baja 1 propulsión híbrida pasiva	122
Figura 84	Prueba WLTP velocidad media propulsión híbrida pasiva	122
Figura 85	Prueba WLTP velocidad baja 2 propulsión híbrida pasiva	123
Figura 86	Prueba WLTP velocidad baja 1 propulsión híbrida activa.....	124
Figura 87	Prueba WLTP velocidad media propulsión híbrida activa.....	125
Figura 88	Prueba WLTP velocidad baja 2 propulsión híbrida activa.....	125
Figura 89	Diagrama Presión vs. Volumen del MCI	126
Figura 90	Intensidad vs Tiempo modo generador	128
Figura 91	Tensión vs Tiempo modo motor.....	129
Figura 92	Comparación WLTP duración promedio	130
Figura 93	Comparación WLTP duración promedio	130
Figura 94	Comparación WLTP velocidad media promedio	131
Figura 95	Comparación WLTP velocidad máxima	131
Figura 96	Comparación WLTP consumo de combustible	132

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1</i> Gasto horario de combustible	11
<i>Ecuación 2</i> Eficiencia mecánica	18
<i>Ecuación 3</i> Potencia al freno o efectiva	19
<i>Ecuación 4</i> Potencia indicada	19
<i>Ecuación 5</i> Presión media efectiva indicada	20
<i>Ecuación 6</i> Consumo volumétrico de aire teórico	20
<i>Ecuación 7</i> Eficiencia térmica	21
<i>Ecuación 8</i> Eficiencia del motor eléctrico	21
<i>Ecuación 9</i> Potencia eléctrica de entrada	22
<i>Ecuación 10</i> Potencia que consume un elemento	22
<i>Ecuación 11</i> Intensidad de corriente	22
<i>Ecuación 12</i> Torque medio	29
<i>Ecuación 13</i> Torque aparente	30
<i>Ecuación 14</i> Fuerza normal	30
<i>Ecuación 15</i> Esfuerzo cortante	30
<i>Ecuación 16</i> Momento medio	31
<i>Ecuación 17</i> Momento aparente	31
<i>Ecuación 18</i> Límite de la resistencia a la fatiga	32
<i>Ecuación 19</i> Límite de resistencia a la fatiga	32
<i>Ecuación 20</i> Factor de superficie	33
<i>Ecuación 21</i> Factor de tamaño para flexión y torsión	33
<i>Ecuación 22</i> Factor de tamaño para carga axial	33
<i>Ecuación 23</i> Factor de carga	34
<i>Ecuación 24</i> Factor de concentración del esfuerzo por flexión	34
<i>Ecuación 25</i> Factor de concentración del esfuerzo por torsión	34
<i>Ecuación 26</i> Diámetro del eje	35
<i>Ecuación 27</i> Diámetro del eje para combinación de flexión y torsión	35
<i>Ecuación 28</i> Esfuerzo cortante	35
<i>Ecuación 29</i> Esfuerzo de Von Mises	36
<i>Ecuación 30</i> Factor de seguridad por fatiga	36
<i>Ecuación 31</i> Esfuerzo normal máximo	36

Ecuación 32 Factor de seguridad por fluencia en ranuras.....	37
Ecuación 33.- Interferencia diametral total entre las dos piezas	37
Ecuación 34 Presión por deformación de los materiales	38
Ecuación 35 Esfuerzos flexionante máximo	38
Ecuación 36 Esfuerzos radiales y tangenciales del eje	39
Ecuación 37 Esfuerzos radiales y tangenciales de la maza	39
Ecuación 38 Capacidad torsional de un embrague	40
Ecuación 39 Inercia de carga del embrague	40
Ecuación 40 Relación de torque entre poleas	41
Ecuación 41 Longitud de una correa.....	43
Ecuación 42 Condición de alineamiento de correas	44
Ecuación 43 de Poncelet para tensión de bandas.....	44
Ecuación 44 de Poncelet para esfuerzo a transmitir de bandas	44
Ecuación 45 Coeficiente de tracción real	45
Ecuación 46.- Coeficiente de tracción teórico	45
Ecuación 47 Condiciones de trabajo de una banda de transmisión	45
Ecuación 48 Longitud de rosca de un perno	46
Ecuación 49 Longitud no roscada de un perno.....	46
Ecuación 50 Longitud roscada en agarre de un perno	46
Ecuación 51 Área del diámetro mayor de un perno.....	47
Ecuación 52 Rigidez de un perno	47
Ecuación 53 Carga de prueba de un perno	48
Ecuación 54 Precarga de un perno.....	48
Ecuación 55 Constante de rigidez de pernos	48
Ecuación 56 Número mínimo de pernos para soportar carga.....	49
Ecuación 57 Rigidez del material	49

ABREVIATURAS

η_m : Eficiencia mecánica

P_f : Potencia al freno o efectiva

T_{MCI} : Torque del motor de combustión interna

w : velocidad angular

N : Numero de revoluciones

P_i : Potencia indicada

$PMEI$: Presión media efectiva indicada

V_D : Consumo volumétrico de aire teórico

L_{CP} : Longitud de la carrera del pistón

n_c : Número de cilindros

D : Diámetro del pistón

G_T : Gasto horario de combustible

v_c : Volumen de combustible gastado en el τ_c

ρ_c : Densidad del combustible

τ_c : Tiempo que tarde en consumir el combustible

η_t : Eficiencia térmica

C_v : Calor específico a volumen constante

C_p : Calor específico a presión constante

T_a : Temperatura de admisión

T_b : Temperatura de expansión

T_c : Temperatura de compresión

T_k : Temperatura de combustión

n_{ME} : Eficiencia del motor eléctrico

P_e : Potencia eléctrica de entrada

P_s : Potencia eléctrica de salida

V : Voltaje de alimentación

I_i : Intensidad del inducido

T_m : Torque medio

T_{max} : Torque máximo

T_{min} : Torque mínimo

T_a : Torque aparente

F_N : Fuerza normal

T : Torque

r : Radio

V : Esfuerzo cortante

dV : Derivada del esfuerzo cortante

q : carga

dx : Derivada de la distancia

V_x : Esfuerzo cortante en un punto x

dM : Derivada del momento

M_x : Momento de torsión en un punto x

M_m : Momento medio

M_{max} : Momento máximo

M_{min} : Momento mínimo

M_a : Momento aparente

S_e : Límite de la resistencia a la fatiga

S_e : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

k_a : Factor de modificación de la condición superficial

k_b : Factor de modificación del tamaño

k_c : Factor de modificación de la carga

k_d : Factor de modificación de la temperatura

k_e : Factor de confiabilidad

k_f : Factor de modificación de efectos varios

S_{ut} : Resistencia máxima del material

d : Diámetro del eje

k_f : Factor de concentración del esfuerzo por flexión

q : Sensibilidad a la muesca

k_t : Esfuerzo nominal por flexión

k_{fs} : Factor de concentración del esfuerzo por tensión o torsión

$q_{cortante}$: sensibilidad a la muesca cortante

- k_{ts} : Esfuerzo nominal por tensión o torsión
- n : factor de seguridad
- n_y : factor de seguridad por fluencia en ranuras
- τ_{xy} : Esfuerzo cortante en el eje xy
- $A_{cortante}$: Área cortante
- σ' : Esfuerzo efectivo de Von Mises
- σ_x : Esfuerzo normal en el eje x
- σ_y : Esfuerzo normal en el eje y
- $A_{contacto}$: Área en contacto
- n_f : Factor de seguridad por fatiga
- σ_a : Esfuerzo normal aparente
- σ_m : Esfuerzo normal medio
- S_y : Resistencia de fluencia por tensión
- p : Presión que se obtiene a partir de la deformación de los materiales
- δ : Interferencia diametral total entre las dos piezas
- r_i : Radio interior (si existe) de un eje hueco
- r_o : Radio exterior de la maza
- E : Modulo de Young
- ν : Modulo de Poisson
- σ_{max} : Esfuerzo flexionante máximo
- M : Momento, función de momento
- c : Distancia a la fibra exterior
- I : Segundo momento del área
- $\sigma_{t_{eje}}$: Esfuerzos radiales y tangenciales del eje
- $\sigma_{t_{maza}}$: Esfuerzos radiales y tangenciales de la maza
- CT : Capacidad torsional
- Wk^2 : Inercia de carga
- ΔN : Variación de número de revoluciones
- t : Tiempo
- L_E : Longitud o profundidad del embrague
- r_{1E} : Radio exterior del embrague

r_{2E} : Radio interior del embrague
 L_c : Longitud de la correa
 r_1 : Radio de la polea menor
 r_2 : Radio de la polea mayor
 a : Distancia entre centros
 T_0 : Tensión inicial
 P_c : Esfuerzo a transmitir
 T_1 : Torque aplicada en la polea menor
 T_2 : Torque aplicada en la polea mayor
 φ : Coeficiente de tracción real
 φ_0 : Coeficiente de tracción teórico
 L_T : Longitud de rosca
 d_p : Diámetro nominal del perno
 l_d : Longitud no roscada
 L : Longitud total del perno
 l_t : Longitud roscada en agarre
 l : Longitud en contacto del perno
 A_d : Área del diámetro mayor
 k_b : Rigidez del perno
 A_t : Área de esfuerzo en tensión
 E : Módulo de elasticidad
 F_p : Carga de prueba del perno
 S_p : Resistencia a la prueba ultima
 F_i : Precarga del perno
 n_p : Número mínimo de pernos
 C_r : Constante de rigidez de pernos
 k_m : Rigidez del material
 N_p : Mínimo número de pernos
 F_s : Fuerza de separación
 V_t : Cilindrada
 k : Coeficiente para motores a gasolina

RESUMEN

Esta investigación comenzó con la selección del modelo de motor generador, principalmente en función de su peso, porque con un mayor valor existiría mayor arrastre. Para la estructura de fijación sometida a esfuerzos cortantes, se busco materiales equilibrados entre la máxima resistencia ultima y la menor masa. En el sistema de transmisión se dispuso de un juego de poleas con una banda que nos permite un pequeño ángulo de desalineamiento entre ejes; se demuestra que los ejes sometidos a flexión, torsión y concentración de esfuerzos no se fracturan en un lapso de 10^6 ciclos de trabajo. El control eléctrico incorpora dos etapas: modo motor en el cual baterías de alta tensión HV alimentan al motor generador y en el modo generador una batería de baja tensión LV excita el motor generador al cortar las líneas magnéticas de las bobinas de campo para crear un corriente alterna rectificado con puente de diodos y cargando a las baterías HV; para esta parte se dispuso de mandos electromagnéticos manuales de alta intensidad HI, conmutador, switch master de paro y fusibles de protección. El circuito electrónico se encarga de censar parámetros de temperatura y tensión para que cuando existan parámetros fuera del rango de trabajo normal, mediante relés de baja intensidad LI, desconecte completamente el sistema.

PALABRAS CLAVE:

- **CUATRIMOTO**
- **SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA**
- **K.E.R.S**
- **PROPULSIÓN HÍBRIDA**

ABSTRACT

This investigation began with the selection of the generator engine model, mainly based on its weight, because with greater value there would be greater drag. For the fixing structure subjected to shear stress, balanced materials were sought between maximum ultimate strength and lowest mass. In the transmission system, a set of pulleys with a belt that allows a small angle of misalignment between axes was available; it is shown that the axes subjected to bending, torsion and stress concentration do not fracture in a span of 10^6 cycles of work. The electrical control incorporates two stages: motor mode in which high voltage batteries HV feed the generator motor and in generator mode a low voltage battery LV excites the generator motor by cutting the magnetic lines of the field coils to create a current alternating rectified with diode bridge and charging to the HV batteries; for this part high-intensity manual electromagnetic controls HI, commutator, master stop switch and protection fuses were available. The electronic circuit is responsible for recording temperature and voltage parameters so that when there are parameters outside the normal working range, using low intensity LI relays, disconnect the system completely.

KEY WORDS:

- **ATV**
- **KINETIC ENERGY RECOVERY SYSTEM**
- **KERS**
- **HYBRID PROPULSIÓN**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes investigativos

La aplicación originaria en los automóviles fue el de los giro buses (autobuses con motor eléctrico) en el que el acumulador de energía era un pesado volante de inercia. La manera de funcionar fue puesto a punto por August Scherl en Berlín, ya durante el año 1909, aunque en tal período el apogeo de los motores de combustión interna hizo desechar al nuevo invento. (Martínez, 2014)

En 1944 ante la escasez de combustibles derivados del petróleo provocada por la Segunda Guerra Mundial la empresa Oerlikon de Suiza produjo una locomotora de impulsión dual: un motor diésel empezaba la marcha, a la vez que transfería energía al volante inercial, luego el motor diésel (según conviniera) se paraba y el tren se trasladaba por la energía liberada por el volante. El experimento de la locomotora con impulsión dual resultó positivo y de este modo se puso en servicio un girobús. (Martínez, 2014)

“En 1950 se construye en Suiza el primer prototipo de autobús eléctrico con batería inercial. La batería de este prototipo eran acumuladores de energía de energía cinética” (Martínez, 2014).

“En 1993 se diseña y construye el primer prototipo de vehículo híbrido ligero con batería inercial” (Martínez, 2014)

“Actualmente la demanda energética a nivel mundial por parte de la sociedad y el creciente número de vehículos provocan un notable aumento en la contaminación ambiental, por ello es necesario regular y utilizar la energía disponible de forma eficiente” (Méndez, Cely, & Monar, 2016)


El frenado regenerativo puede aumentar la eficiencia energética. Tal sistema permite que la energía cinética del vehículo, que es convencionalmente disipada por los frenos durante el modo de frenado, sea recapturada y almacenada para su uso posterior en el modo de aceleración. (Clarke, Muneer, & Cullinane, 2010)

1.2. Planteamiento del problema

Los vehículos con motor de combustión interna con diésel o gasolina son energéticamente ineficientes debido a la gran cantidad de calor que producen (arrojado en los gases de escape) y a las pérdidas por rozamiento entre las partes mecánica, por ejemplo, los pistones dentro de los cilindros. (Miranda & Iglesias, 2015)

Tabla 1

Rendimiento energético del combustible en diversos tipos de automóviles

Tipo de automóvil	Energía primaria del combustible		Ciclo termodinámico	Energía final			Rendimiento global		
Motor gasolina	Energía Química		Ciclo Otto	Energía Mecánica			20%-30%		
Motor diésel	Energía Química		Energía Diesel	Energía Mecánica			30%-35%		
Motor eléctrico									
Central eléctrica	Generación eléctrica	Energía Primaria	Energía de cogeneración	Ciclo termodinámico	Energía secundaria			Energía final	Rendimiento global
ciclo combinado gas natural	Turbina de gas	Energía Química	Energía Térmica	Ciclo Brayton	Rdto. 55%	Energía Eléctrica	Rdto. 90%	Energía Mecánica	50%
	Turbina de vapor			Ciclo Rankine					

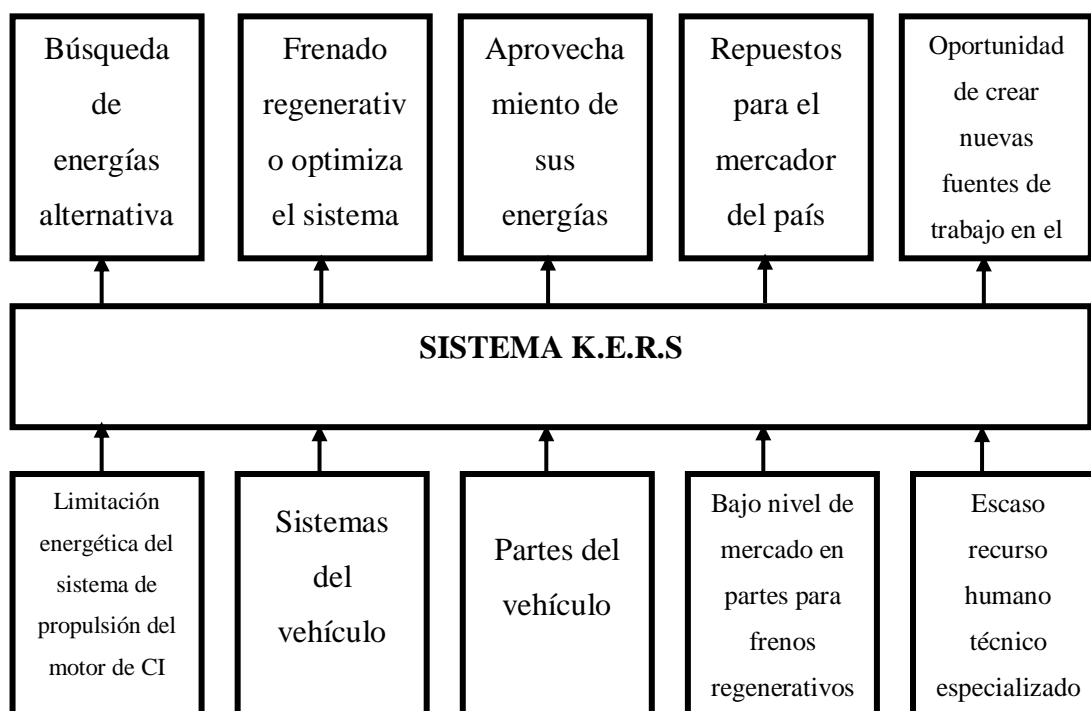
Fuente: (Miranda & Iglesias, 2015)

Los vehículos en la actualidad son altamente ineficientes ya que se tiene el motor de combustión interna como fuente única de potencia mecánica para el funcionamiento integral del mismo, esto conlleva a que en ocasiones sea necesario desechar energía ya suministrada por el motor porque no cuentan con un sistema que permita reutilizar esta energía o parte de ella. (Peréz, Martínez, & Pinilla, 2010)

“En esas frenadas, la lógica induce erróneamente a pensar que lo que se hace es recoger el calor que emana de los frenos y convertirlo en electricidad” (Gonzalo & Vidaller, 2010).

Un simple ejemplo de esto: es cuando la energía cinética que hay que disipar para conseguir la desaceleración del automóvil, será necesaria para alcanzar una nueva aceleración; pero fue desechada y de nuevo el motor de combustión interna debe abastecer, además, le exige a oscilar en un rango de operación en los cuales no rinde a su mayor eficiencia. Debido a esto, es inevitable buscar alternativas que permitan mejorar la eficiencia energética con que trabajan los vehículos. (Peréz, Martínez, & Pinilla, 2010)

1.2.1. Árbol de problemas



1.3. Descripción resumida del proyecto

Se procedió a la recolección de información de diferentes fuentes científicas tanto teóricas como prácticas para tener un fundamento del presente estudio.

El cuatrimoto fue llevado a un dinamómetro para determinar las sus curvas características iniciales de torque y potencia que entrega el automóvil con el motor de combustión interna. De igual forma se hizo la prueba de autonomía, mediante un ciclo de conducción, para especificar el consumo inicial del cuatrimoto

Se realizó el boceto computacional y físico del prototipo del sistema K.E.R.S. conectado al eje de propulsión mediante un juego de poleas, que se encargan de transmitir y desmultiplicar el movimiento cinético, tendencia, generada por la torsión que se produce al momento de frenar o reducir bruscamente la velocidad de rotación del palier.

Para el sistema eléctrico se usó un motor/generador, que, mediante mandos manuales electromagnéticos, se encarga de transformar la energía cinética a eléctrica y viceversa. También consta de un conmutador encargado de energizar la bobina del embrague y dar paso la carga a las baterías de alta tensión HV.

El sistema electrónico se encarga de censar temperatura y tensión en todo momento, de forma que sí detecta valores fuera del rango normal de funcionamiento

establecido, da el corte al suministro: al MG, a la bobina del embrague y a la línea que carga las baterías HV.

El sistema de almacenamiento de energía fue de 3 packs de baterías HV de NiMH (Níquel- Metal Hidruro)

Se tomó en cuenta aspectos importantes como las pérdidas mecánicas que tiene cada sistema de transmisión, el tipo de material, características físicas y mecánicas, con la finalidad de determinar cuál es el arquetipo que tenga mayor eficiencia energética y su relación costo/beneficio sea sustentable.

Después de implementar el K.E.R.S se volvió a realizar las pruebas dinamométricas y de autonomía para determinar si el peso de la estructura genera mayor arrastre y si la potencia aumenta

Finalmente, con estas pruebas, se realizó un análisis matemático de los resultados tabulados, para comprobar la hipótesis

1.4. Justificación e importancia

El principal objeto fue buscar las formas de aprovechar las energías que se disipan dentro de los mecanismos de accionamiento/transmisión que trabajan dentro de un vehículo con MCI, ya que aun, al depender la economía mundial del petróleo (combustibles fósiles) este tipo de vehículos tienen algunas décadas de vida en el mercado mundial y hay que hacerlos lo óptimo posibles; para que finalmente dependan en menor cantidad de este recurso finito.

El uso de energías renovables para desplegar sistemas de recarga permite que las que se hallan de carácter natural o emanadas en el medio ambiente, como lo es el flujo electromagnético sean usadas y de este modo se pueda reutilizar la energía eléctrica en una actividad como la movilidad.

La frenada regenerativa puede contribuir una energía muy preciada para las baterías de forma que, bien gestionada, se prolongue la autonomía del vehículo con solo usarlo.

Es uno de los aspectos fundamentales para esta investigación, la contribución en el desarrollo tecnológico del cambio de la matriz energética de nuestro país mediante el análisis, identificación, diseño y optimización de los sistemas K.E.R.S

Es un objetivo primordial establecer una base científica confiable acerca del diseño mecánico y estructural del sistema K.E.R.S, para de esta manera poder impulsar

hacia el siguiente nivel a futuras investigaciones que implementen de este tipo de sistemas.

El diseño se cimienta en el aprovechamiento y optimización de energías que normalmente se dilapidan en forma de calor o ruido, debido a la insuficiente investigación sobre los métodos de explotación de los diferentes bríos, que expende un vehículo convencional con MCI en su normal funcionamiento.

Al encontrar las ventajas y desventajas que presenta este prototipo, se tendrá una documentación técnica que ayude a promover futuros proyectos que impulsen alternativas viables en el diseño de sistemas regenerativos.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Investigar la eficiencia energética de un cuatrimoto de combustión interna al implementar propulsión híbrida mediante un sistema de recuperación de energía cinética K.E.R.S.

1.5.2. Objetivos específicos

- Investigar información confiable en bases digitales y escritas de relevancia que permitan fundamentar la investigación.
- Determinar la eficiencia energética y la autonomía del cuatrimoto como dato inicial.
- Seleccionar el tipo de motor – generador, a usar, en función de sus características
- Diseñar el sistema mediante la asistencia CAD
- Seleccionar la disposición y los tipos de materiales más eficientes
- Simular el prototipo mediante el sistema CAE
- Rediseñar el sistema propulsión del cuatrimoto para acoplar el conjunto de propulsión eléctrica
- Crear un circuito eléctrico para el control automatizado y programar un sistema de seguridad electrónico
- Implementar el sistema K.E.R.S en el cuatrimoto
- Ejecutar las pruebas finales para determinar la eficiencia energética y autonomía del cuatrimoto, ya implementado, el sistema de propulsión híbrida

- Analizar y comparar los resultados obtenidos con el sistema híbrido

1.6. Metas

- Aumentar 10 % en la autonomía del cuatrimoto con el sistema de freno regenerativo
- Aportar 8 % en la potencia entregada por sistema de propulsión térmica del cuatrimoto
- Establecer antecedentes investigativos sobre sistemas K.E.R.S implementados en el país

1.7. Hipótesis


El sistema K.E.R.S. diseñado en función de la estructura del prototipo tendrá un desempeño con pérdidas mínimas, generando un aporte del 2% a la autonomía del cuatrimoto

1.8. Operacionalización de variables

1.8.1. Variable dependiente

Tabla 2

Variable dependiente: Eficiencia energética

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
En la física y en ingeniería mecánica, la eficacia energética es un número sin dimensión, que es el informe que indica lo que puede recuperarse provechosamente de la máquina de lo que se ha	Características del prototipo	Potencia	KW	Medición	Guía de procedimientos
		Torque	N.m	Medición	Guía de procedimientos
		Potencia al freno o efectiva	KW	Cálculos	Ecuaciones
		Intensidad de corriente	Amperios	Medición	Pinza amperimétrica
		Voltaje	Tensión	Medición	Voltímetro
		Transmisión de movimiento	Relación de transmisión	Cálculos	Ecuaciones
				Continúa	

gastado para hacerla funcionar.	Eficiencia mecánica	%	Cálculos	Ecuaciones
	Eficiencia térmica	%	Cálculos	Ecuaciones
	Eficiencia eléctrica	%	Cálculos	Ecuaciones
	Diámetro de los ejes	m	Cálculos	Ecuaciones
	Límite de resistencia a la fatiga	MPa	Cálculos	Ecuaciones

1.8.2. Variable independiente

Tabla 3

Variable independiente: Sistema K.E.R.S.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es un prototipo diseñado el cual se encarga de transmitir y desmultiplicar el movimiento cinético de las poleas, tendencia, generada por la torsión que se produce al momento de reducir bruscamente la velocidad de rotación de los palieres en el momento de frenar.	Tipos de materiales de las poleas, tipos de acumuladores de energía	Numero de revoluciones	rpm	Medición	Guía de procedimientos
		Momento	N.m	Cálculos	Guía de procedimientos
		Resistencia ultima	MPa	Cálculos	Guía de procedimientos
		Factores de modificación		Cálculos	Guía de procedimientos
		Factor de seguridad		Cálculos	Guía de procedimientos
		Masa	Kg	Medición	Guía de procedimientos
		Peso	N	Cálculos	Guía de procedimientos
		Capacidad de descarga	A/h	Medición	Guía de procedimientos
		Temperatura de trabajo	°C	Medición	Guía de procedimientos

1.9. Metodología de desarrollo del proyecto

En la investigación de la optimización y aprovechamiento energético mediante el análisis de un sistema K.E.R.S que se pretende construir con mínimas pérdidas y eléctricas para que sea un prototipo lo más eficiente posible, se utilizaran métodos de investigación científica que se disponen a continuación.

- **Método analítico**

En esta investigación se analizó la eficiencia mecánica, térmica y eléctrica del prototipo para construir un sistema de freno regenerativo eficaz de acuerdo al costo/beneficio en el país.

- **Método de matematización**

Se utilizó este método para poder determinar las dimensiones, el peso, los esfuerzos, la eficiencia mecánica, térmica y eléctrica, el diámetro de las poleas del sistema de transmisión.

- **Método comparativo**

Se utilizó este método para comparar la estructuración del sistema y luego seleccionar el más eficiente para la construcción del sistema de freno regenerativo

- **Método de síntesis**

En la investigación se utilizó el método de síntesis para representar el proceso de diseño, pruebas y comportamiento de la estructuración en función de las pérdidas mecánicas y eléctricas que puede generar, y a partir de los resultados obtenidos determinar la estructura adecuada para la construcción del sistema.

- **Método deductivo**

La investigación se basó en el análisis de la eficiencia de sistema de freno regenerativo, se examinará en que influye las pérdidas mecánicas en la construcción del prototipo

- **Método inductivo**

A través de este método se determinó la estructuración del sistema, a partir de esta información se establecerá la ubicación más eficiente para el prototipo.

- **Método experimental**

Se utilizó este método para determinar las pérdidas mecánicas y eléctricas realizando pruebas, mediciones, e instrumentos necesarios.

- **Método de medición**

A través del método de medición se obtendrán los valores de potencia, torque, intensidad de corriente, tensión; además se determinarán las unidades que se manejarán los datos. A partir de estos valores determinar que prototipo será la más eficiente mecánica, térmica y eléctrica.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de propulsión en automotores

2.1.1. Térmico

Consiste en el sistema para poder trasladar un vehículo de forma autónoma con una sola fuente de poder que, en este caso, es el motor de combustión interna (MCI) encargado de transformar la energía térmica (producida por un combustible y un detonante) en energía cinética rotacional o también llamado trabajo mecánico de salida. (Romo & Hidalgo, 2013)

2.1.2. Híbrido

El termino híbrido, en el campo automotriz, hace referencia al uso de dos tipos de fuentes de poder para lograr la movilidad de un coche. Estos tipos de bríos pueden ser: la eléctrica (motor eléctrico) y la térmica (MCI), siendo la finalidad de esta combinación lograr la mayor eficiencia energética posible. (Romo & Hidalgo, 2013)

En las motocicletas se utilizan ya, aisladamente, motores eléctricos (24 V/750W). En el grupo de hasta 50 cm³ suelen tener potencias desde 0,4 kW hasta 1 kW a 3500 1/min aproximadamente (velocidad limitada a 25 km/h), desde 1,5 kW hasta alrededor de 2,2 kW a 5000 1//min (velocidad limitada a 40 km/h) y desde 3 kW hasta cerca de 8 kW a 9000 1//min (velocidad limitada a 80 km/h) (Bohner, y otros, 1985)

2.2. Motores de combustión interna en motocicletas o cuatrimotos

2.2.1. Funcionamiento

El motor de combustión interna (MCI) de una motocicleta o cuatrimoto es el mismo que él de un vehículo estándar, sino que reducido su tamaño; por lo general poseen un pistón y por ende una cilindrada muy baja. (Bohner, y otros, 1985)

La finalidad de este tipo de vehículos es generar, una eficiencia en consumo y velocidad de traslación (alivianando su peso) pero todo tu tiene su equilibrio, razón por la cual pierde mucho en el sistema seguridad de los ocupantes al no tener una estructura de cabina cerrada. (Bohner, y otros, 1985)

2.2.2. Tipos

Tiene sus ciclos de trabajo típicos: admisión, compresión, combustión y escape y “se encuentran motores de pistones de 4 y 2 tiempos desde 49 cm³ con una potencia de 0,42kW hasta 75 kW” (Bohner, y otros, 1985)

2.2.3. Curvas de rendimiento

Se toma en cuenta la típica gráfica (ver figura 1) de un motor cuatro tiempos; porque en esta investigación el cuatrimoto tiene este tipo de motor y su prueba principal para comprobar la hipótesis será basada en la misma. (Bohner, y otros, 1985)

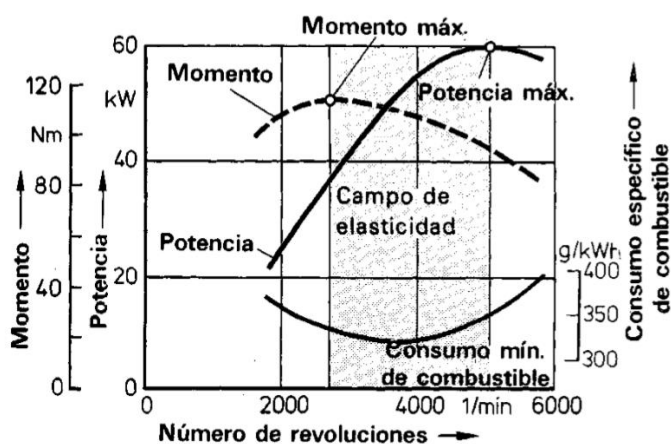


Figura 1. Líneas características a plena carga de un motor Otto de cuatro tiempos

Fuente: (Bohner, y otros, 1985)

2.2.4. Gasto horario de combustible

$$G_T = 3,6 * \frac{v_m * \rho_c}{\tau_c}$$

Ecuación 1 Gasto horario de combustible

Fuente: (Jóvaj & Máslov, 1973)

Donde:

G_T : Gasto horario de combustible $\left[\frac{kg}{h}\right]$

v_c : Volumen de combustible gastado en el τ_c [l]

ρ_c : Densidad del combustible [kg/l]

τ_c : Tiempo que tarde en consumir el combustible [h]

- **Ciclo de conducción**

El procedimiento de prueba de vehículos ligeros armonizados a nivel mundial (WLTP, por sus siglas en inglés) es una regla establecida en 2015 en todo el mundo para comprobar los niveles de contaminación y emisiones de CO₂, el consumo de combustible o energía, y el rango eléctrico de los vehículos livianos. (Wikipedia, 2018)

- ✓ **Procedimiento de prueba**

Brinda un procedimiento estricto con relación a las circunstancias de las pruebas y se establece tres tipos de ciclos de pruebas WLTP, por la relación potencia /peso PWr en kW/ton (potencia nominal del motor/peso en vacío):

- a) Clase 1: vehículos de baja potencia con $PWr \leq 22$;
- b) Clase 2: vehículos con $22 < PWr \leq 34$;
- c) Clase 3: vehículos de alta potencia con $PWr > 34$;

El ciclo de prueba Clase 2 tiene tres partes para velocidad baja, media y alta; si $V_{max} < 90 \text{ km/h}$, la parte de alta velocidad se reemplaza con la parte de baja velocidad.

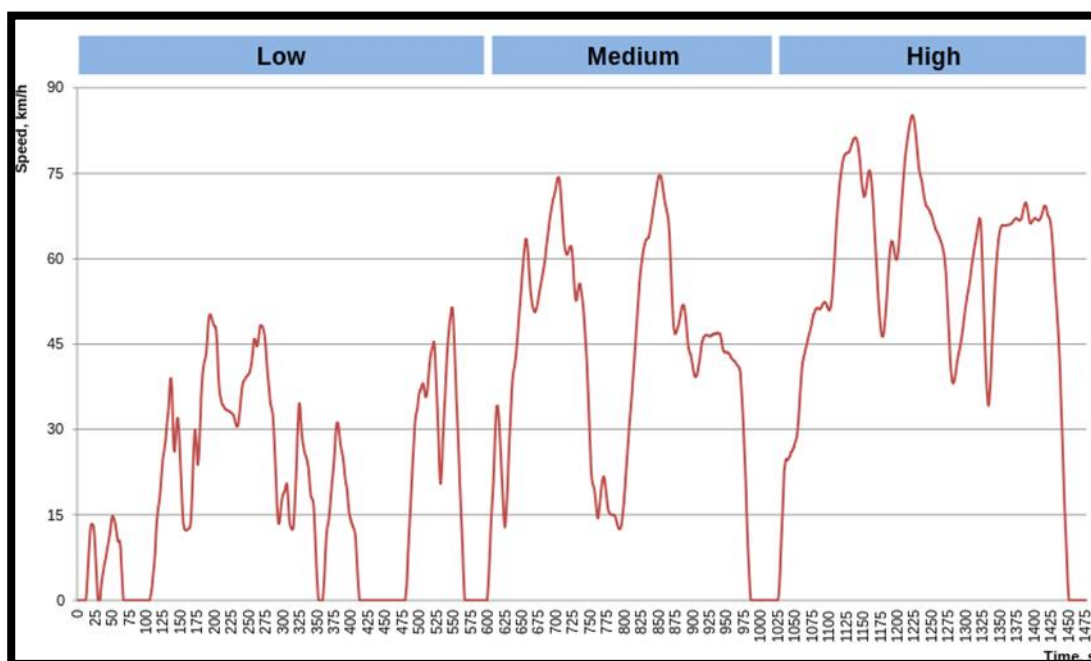


Figura 2. Ejemplo de Ciclo de Conducción WLTP

Fuente: (Wikipedia, 2018)

Tabla 4
WLTP clase 2 ciclo de prueba

	Bajo	Medio	Alto	Total
Duración [s]	589	433	455	1477
Duración de la parada [s]	155	48	30	233
Distancia [m]	3132	4712	6820	14664
Velocidad máxima [km/h]	51,4	74,7	85,2	--
Velocidad media sin paradas [km/h]	26,0	44,1	57,8	42,4
Velocidad media con paradas [km/h]	19,1	39,2	54,0	35,7

Fuente: (Wikipedia, 2018)

2.3. Motor - generador

2.3.1. Definición

Este tipo de máquinas son capaces de transformar la energía mecánica (rotacional) en eléctrica y viceversa, como se muestra la comparación (ver figura 3) donde la principal diferencia es el sentido de flujo de la intensidad de corriente.

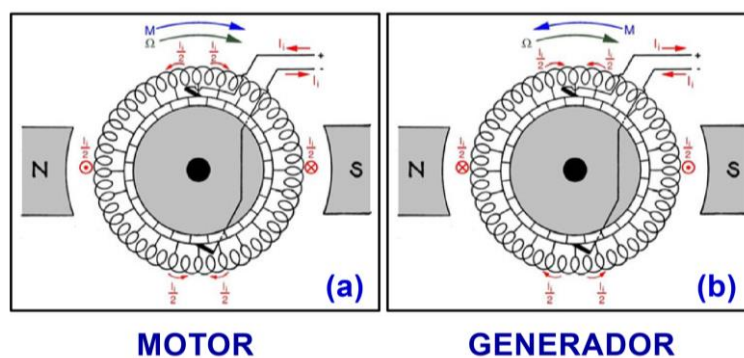


Figura 3. Funcionamiento de la Máquina de c.c. como generador o motor

Fuente: (Pozueta, 2017)

2.3.2. Partes

- a) **Yugo:** “Es el marco exterior de una máquina DC. Se compone de hierro fundido o acero. No sólo proporciona resistencia mecánica a todo el conjunto, sino que también transporta el flujo magnético producido por el devanado de campo” (Mora, 2003)

- b) Bobinado de campo:** El cobre es el material que más se usa. Estas se ubican en cada polo del yugo y se conectan en serie. Están entrelazados de tal manera que, cuando están con corriente, forman polos opuestos sur y norte. (Mora, 2003)
- c) Cableado:** “Para conductores que sustenten un único motor, la intensidad nominal a plena carga se multiplicara por 1,25” (Enriquez & Palacios, 2018)
- d) Polos:** Tienen dos objetivos: sostienen a las bobinas de campo y esparcen de manera ordenada el flujo de corriente en el entrehierro. (Mora, 2003)
- e) Núcleo de la armadura:** Es el rotor, tiene una superficie cilíndrica con ranuras para ubicar el devanado del inducido. Está hecho de discos laminados de acero delgado, estos están unidos paralelamente, pero a su vez tienen aislamiento entre ellos para reducir las pérdidas por corrientes de Foucault o parásitas. (Mora, 2003)
- f) Bobinado del inducido:** Por lo general son bobinas de cobre que se posicionan en las ranuras del inducido. (Mora, 2003)
- g) Delgas:** Son las piezas de cobre que formadas de láminas o varillas de cobre que están aisladas entre sí (igual que los laminas del núcleo), las cuales realizan el enlace entre el estator y el rotor. (Mora, 2003)
- h) Conmutador:** El conmutador está soldado con los alambres de la bobina. En un generador DC de dos bobinas, se trata de un par de anillos divididos. El conmutador transporta la corriente de la bobina del inducido a los carbones. (Mora, 2003)
- i) Escobillas o carbones:** siempre están en empalme con el conmutador y están incorporados a los cables que acarrear desde el generador. El conmutador se mueve mientras los carbones son estacionarios y transportan la corriente del conmutador. (Mora, 2003)
- j) Eje:** El eje está ubicado dentro del núcleo de la armadura y se encarga de transferir el brío mecánico al generador mediante el giro de las bobinas del inducido a través del campo magnético generado por las bobinas de campo. El eje puede adquirir movimiento rotacional gracias una turbina que funcione con aire, vapor, agua o por otros medios. (Mora, 2003)

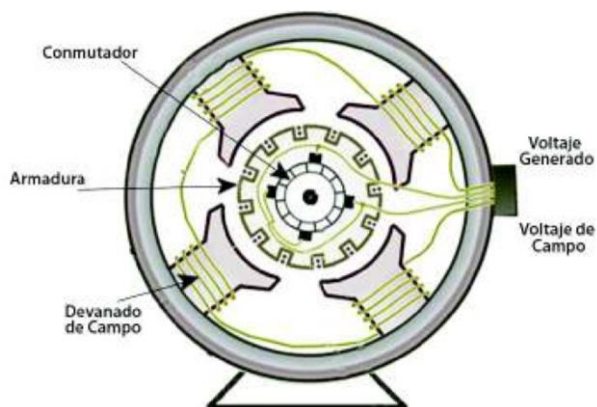


Figura 4. Partes de un MG
Fuente: (Arévalo & Estrada, 2018)

2.3.3. Funcionamiento

Se aplica el principio de la ley de inducción electromagnética de Faraday “Cuando un conductor se mueve en un campo magnético, corta las líneas magnéticas de fuerza, debido a las cuales se provoca una Fuerza Electromotriz-fem en el conductor. La capacidad de esta fem inducida depende de la velocidad de cambio de enlace del flujo (fuerza de la línea magnética) con el conductor. Esta fem hará que fluya una corriente si el circuito conductor está cerrado” (Mora, 2003)

La magnitud de la fem inducida se puede determinar a partir de la ecuación de fem del generador de DC. Si el conductor está dotado de la trayectoria cerrada, la corriente inducida fluirá dentro del trayecto. En un generador DC, las bobinas de campo provocan un campo electromagnético y los conductores de la armadura giran alrededor del campo. Por lo tanto, se crea una fuerza electromotriz inducida electromagnéticamente en los conductores de la armadura, este proceso se logra de la siguiente forma (ver la figura 5). (Arévalo & Estrada, 2018)

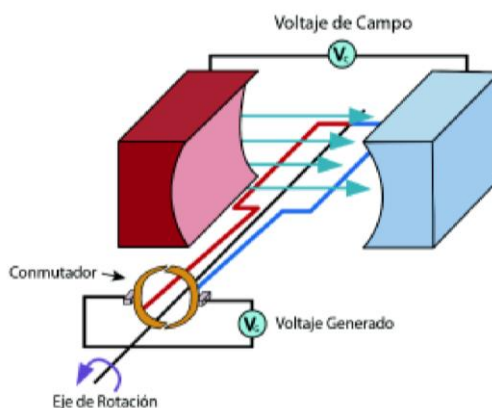


Figura 5. Principio de funcionamiento del generador CC

Fuente: (Arévalo & Estrada, 2018)

2.3.4. Fuerza contraelectromotriz

Las relaciones entre la dirección de corriente en el conductor, la dirección del campo magnético y la dirección de la fuerza desarrollada sobre el conductor se pueden recordar a gusto mediante la regla de la mano izquierda o regla del motor, que se muestra (ver figura 6a). Como en el caso de la regla de Fleming de la mano derecha (ver figura 6b) para la acción de generador, el dedo índice también indica la dirección del campo (N a S), el dedo medio indica la dirección del flujo de la corriente (o de la FEM aplicada) y el pulgar apunta en la dirección de la fuerza que se desarrolla en el conductor o en la del movimiento resultante.

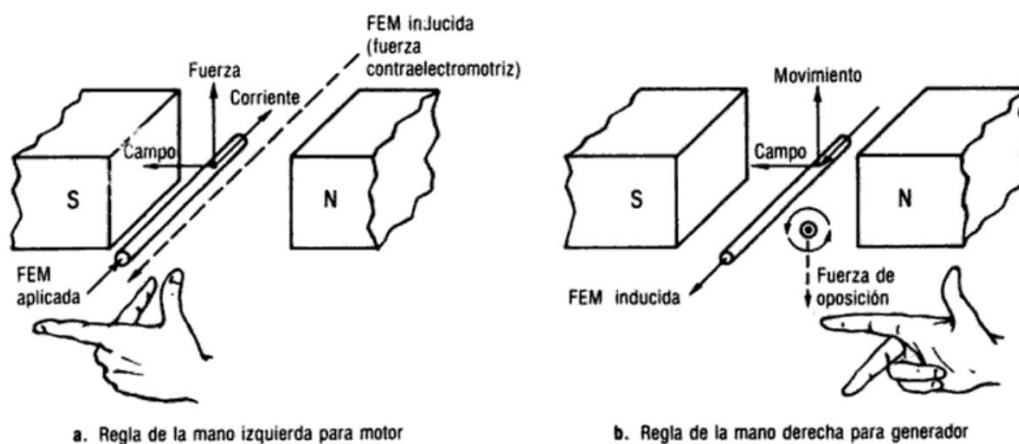


Figura 6. Comparación de las acciones de motor y de generador

Fuente: (Kosow, 1991)

Finalmente se posee (ver figura 6) la oportunidad de agrupar algunas de las relaciones que se muestran en la conversión de energía electromecánica. Se presenta (ver figura 6a) la acción de motor tal como se describió en la sección precedente, y su figura asociada. Para la dirección del campo y corriente de armadura que aparecen, la fuerza desarrollada sobre el conductor está en dirección hacia arriba. Pero la fuerza que se desarrolla en el conductor hace que éste se mueva a través del campo magnético, ocasionando un cambio del eslabonamiento de flujo alrededor de ese conductor. Se induce una FEM en el conductor "motor" de la figura 6a. La dirección de esta FEM inducida se muestra en la figura 6b, con las mismas direcciones de movimiento y dirección del campo. Aplicando esta FEM inducida al conductor de la figura 6a, obsérvese que se opone o se desarrolla en contra de la dirección del flujo de la corriente y de la FEM que crearon la fuerza o el movimiento: por tanto, se le llama fuerza contraelectromotriz. Adviértase que el desarrollo de una fuerza contraelectromotriz, mostrada en línea discontinua en la figura 6a, es una aplicación de y se encuentra en

concordancia con la Ley de Lenz, porque la dirección del voltaje inducido se opone a la FEM aplicada que lo creó. Así, siempre que se tenga acción de motor, se desarrolla simultáneamente una acción de generador, como se indica (ver figura 6a)

2.3.5. Tipos

De forma general, la “La National Electrical Manufacturers Association” (NEMA) clasifica a los motores eléctricos según su capacidad torsional, de arranque y deslizamiento.

La empresa “Ingeniería de Maquinas Eléctricas” (IME) se ha encargado de recopilar de la siguiente forma:

Tabla 5
Características del motor eléctrico por su diseño

CLASE	Momento de torsión de arranque con relación al nominal	Deslizamiento	Momento de torsión máximo a plena carga con relación al nominal	Flujo de corriente en arranque con relación a la nominal
“A”	Normal	Bajo (menos del 5%)	Entre 200% y 300%	Entre 500% y 800%
“B”	Normal	Bajo (5%)	Menor del 200%	Entre 480% y 760%
“C”	Alto	Bajo (menos del 5%)	190%	Baja
“D”	Muy alto (275%)	Alto (entre 7% a 17%)	Bajo	Baja

Fuente: (IME, 2018)

La comparación del momento de torsión a plena carga se aprecia de la siguiente forma (ver figura 7):

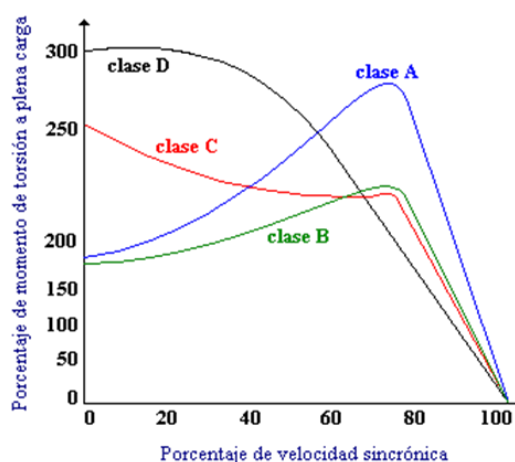


Figura 7. Torsión a plena carga vs velocidad sincrónica

Fuente: (IME, 2018)

En su clasificación enfocada al funcionamiento se clasifican en dos grandes grupos: de excitación independiente y dependiente.

Los generadores de excitación independiente son aquellas en las que en el devanado de campo se suministra voltaje DC desde una fuente de alimentación separada, esto figura que el bobinado de campo está separado eléctricamente del circuito de inducido. Los auto excitados son aquellos donde el bobinado de campo y el devanado de la armadura están sustentados de varias formas para lograr una variedad de características de funcionamiento (por ejemplo, bobinado de campo en serie o paralelo con el devanado de la armadura, o imanes permanentes). (Arévalo & Estrada, 2018)

2.3.6. Curvas de rendimiento

Las curvas características de un motor de corriente continua (ver figura 8) en el que se puede comparar entre la potencia eléctrica, rendimiento, par motor, rpm en función de la potencia, rendimiento:

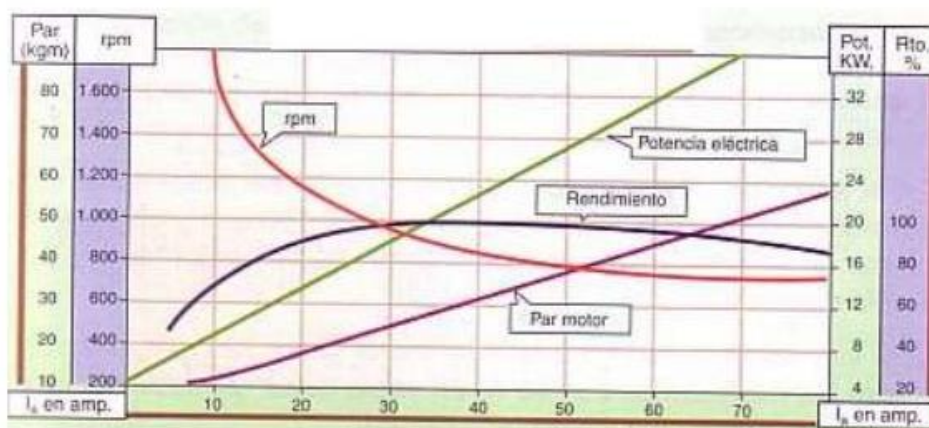


Figura 8. Curvas característica de un motor de corriente continua

Fuente: (Cavaller, 2017)

2.4. Eficiencia

2.4.1. Mecánica

“A la analogía entre la potencia producida por el motor, y la potencia total producida dentro de él, se conoce como rendimiento mecánico” (Castillo & Arequipa, 2014).

$$n_m = \frac{P_f}{P_i}$$

Ecuación 2 Eficiencia mecánica

Fuente: (Castillo & Arequipa, 2014)

Donde:

n_m : Eficiencia mecánica [%]

P_f : Potencia al freno o efectiva [KW]

P_i : Potencia indicada [KW]

- **Potencia al freno o efectiva**

“Indica la capacidad de cumplir con una determinada cantidad de trabajo producido en la unidad de tiempo” (Castillo & Arequipa, 2014)

$$P_f = T_{MCI} * w = T_{MCI} * \frac{2 * \pi * n}{60}$$

Ecuación 3 Potencia al freno o efectiva

Fuente: (Castillo & Arequipa, 2014)

Donde:

P_f : Potencia al freno o efectiva [KW]

T_{MCI} : Torque del motor de combustión interna [N.m]

w : velocidad angular [rad/s²]

N : Numero de revoluciones

- **Potencia indicada**

$$P_i = PMEI * V_D$$

Ecuación 4.Potencia indicada

Fuente: (Castillo & Arequipa, 2014)

Donde:

P_i : Potencia indicada [KW]

$PMEI$: Presión media efectiva indicada

V_D : Consumo volumétrico de aire teórico

- **Presión media efectiva indicada**

“Está determinada como la altura del rectángulo de área equivalente a la del diagrama (ver figura 8) y de la amplitud igual a la carrera del pistón” (Castillo & Arequipa, 2014).

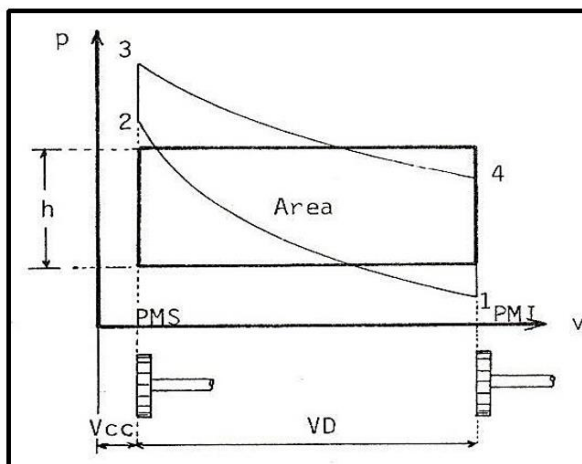


Figura 9. Diagrama de trabajo

Fuente: (Castillo & Arequipa, 2014)

$$PMEI = \frac{\text{Área}}{L_{CP}}$$

Ecuación 5 Presión media efectiva indicada

Fuente: (Castillo & Arequipa, 2014)

Donde:

PMEI: Presión media efectiva indicada $\left[\frac{KN}{m^2}\right]$

L_{CP} : Longitud de la carrera del pistón

- **Consumo volumétrico de aire teórico**

$$V_D = n_c * \pi * \frac{D^2}{4} * L_{CP} * \frac{N}{60 * K_2}$$

Ecuación 6 Consumo volumétrico de aire teórico

Fuente: (Castillo & Arequipa, 2014)

Donde:

V_D : Consumo volumétrico de aire teórico $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

$K_2 = 2$ Si el motor es de 4 tiempos

n_c : Número de cilindros

D : Diámetro del pistón [m]

2.4.2. Térmica

$$n_t = \left(1 - \frac{C_v * (T_b - T_a)}{C_p * (T_z - T_c)} \right)$$

Ecuación 7 Eficiencia térmica

Fuente: (Mena, 2011)

Donde:

n_t : Eficiencia térmica [%]

$C_v = 0,718$ Calor específico a volumen constante

$C_p = 1,005$ Calor específico a presión constante

T_a : Temperatura de admisión

T_k : Temperatura de combustión

2.4.3. Eléctrica

Este tipo de motores (dependiendo de la fecha de fabricación) tienen una eficiencia muy alta, que va “desde el 87% al 96%” (MYG, 2018) debido a que, en el proceso de transformación de energía eléctrica a mecánica tienen muy pocos componentes de por medio.

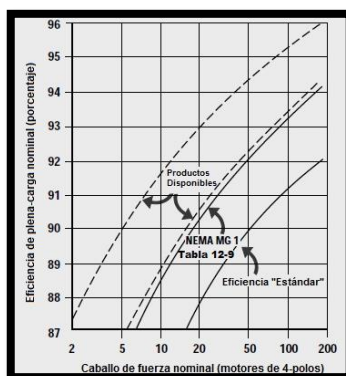


Figura 10. Rango de Eficiencias en Mercado Alrededor de 1990

Fuente: (MYG, 2018)

“La potencia eléctrica entra por los terminales del motor y la potencia mecánica que sale por el eje” (Quispe & Mantilla, 2011).

$$n_{ME} = \frac{\text{Potencia Mecánica de Salida}}{\text{Potencia Eléctrica de Entrada}} * 100$$

Ecuación 8 Eficiencia del motor eléctrico

Fuente: (Quispe & Mantilla, 2011)

Donde:

n_{ME} : Eficiencia del motor eléctrico [%]

- **Potencia de entrada**

$$P_e = V * I_i$$

Ecuación 9 Potencia eléctrica de entrada

Fuente: (Mora, 2003)

Donde:

P_e : Potencia eléctrica de entrada [W]

V : Tensión de alimentación [V]

I_i : Intensidad del inducido [A]

- **Potencia que consume**

$$W_a = \frac{n * W_v}{\eta}$$

Ecuación 10 Potencia que consume un elemento

Fuente: (Mora, 2003)

Donde:

W_v : Potencia de entrada [W]

η : Rendimiento [%]

- **Intensidad consumida**

$$I = \frac{V}{R}$$

Ecuación 11 Intensidad de corriente

Fuente: (Mora, 2003)

Donde:

V : Tensión [V]

- **Potencia de salida:**

La potencia de salida se puede determinar con dinamómetro o en las especificaciones del motor se encuentra por lo general en la unidad de HP y se transforma a Watts para poder simplificar en la ecuación.

La potencia de salida o final es obtenida en función de las pérdidas, que son determinadas según “el proceso de transformación de brío mecánico en eléctrico en un generador de c.c. se va a considerar el esquema (ver figura 11) en el que se tienen las subsiguientes ecuaciones de circuito” (Mora, 2003):

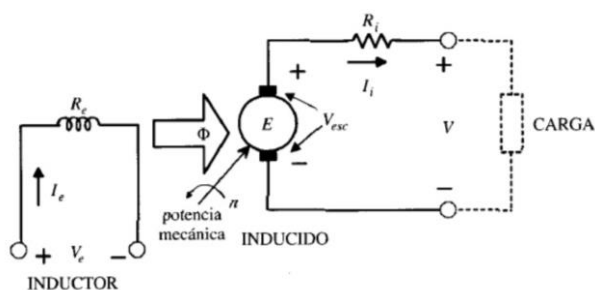


Figura 11. MG o dinamo

Fuente: (Mora, 2003)

Acotando que: el empalme de las escobillas con los anillos colectores a través de los cuales fluye la corriente genera pérdidas, las cuales son generalmente insignificantes debido a la densidad de corriente es solo del orden de 0.1 Amperes/mm², que es por mucho, más bajo que la utilizada en los conductores de cobre (Harper, 1987).

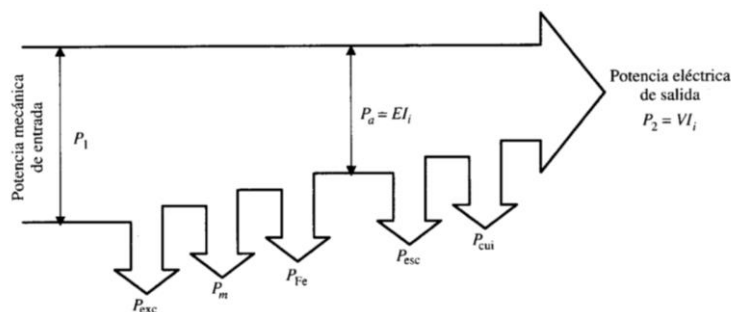


Figura 12. Balance de potencias en el generador cc

Fuente: (Mora, 2003)

2.5. Motor de combustión interna vs. Motor eléctrico

2.5.1. Ventajas de un motor de combustión interna

A pesar de toda la ingeniería y desarrollo que le han puesto, alrededor de 120 años, a este tipo de motores tienen pocas probabilidades de perdurar por la cuestión de la contaminación ambiental, pero así mismo tienen aún las ventajas primordiales para un automóvil, que son las siguientes:

- **Autonomía y tiempo de carga de combustible:** Las baterías de iones de litio, cuando se cargan en estaciones dispuestas para tal fin, pueden obtener el 80 % de su capacidad en lapsos de tiempo relativamente cortos, que van desde los 15 hasta los 20 minutos (cuestión que daña la vida útil de la batería, ya que la velocidad de recarga es de 6 a 8 horas en carga normal de 220V). Por supuesto, esto no se compara con los 3 o 4 minutos que tardas en llenar el depósito de combustible de un auto convencional. (Vendrell, 2017)
- **Potencia y rendimiento en situaciones adversas:** “Los motores de combustión interna, puede desarrollar todo su potencial, en altas temperaturas o en climas gélidos bajo cero” (Vendrell, 2017). Ya que las baterías de los autos eléctricos necesitan un reducido rango de temperatura de funcionamiento óptimo para poder tener toda su intensidad de flujo en la transmisión de energía.

2.5.2. Ventajas de un motor eléctrico

- a) El valor de la energía utilizada en automóviles eléctricos equivale a la tercera parte del costo del combustible usado en los de MCI. (Rodríguez, 2011)
- b) El vehículo eléctrico es el único medio que consigue obtener cero en emisiones de residuos, de gases efecto invernadero y de emisiones de contaminantes. (Rodríguez, 2011)
- c) Un ME funciona como un generador, mientras el coche frena. La salida de energía emanada después de ser transformada se utiliza para recargar las baterías. Esto significa que el vehículo restituye energía al sistema. (Rodríguez, 2011)

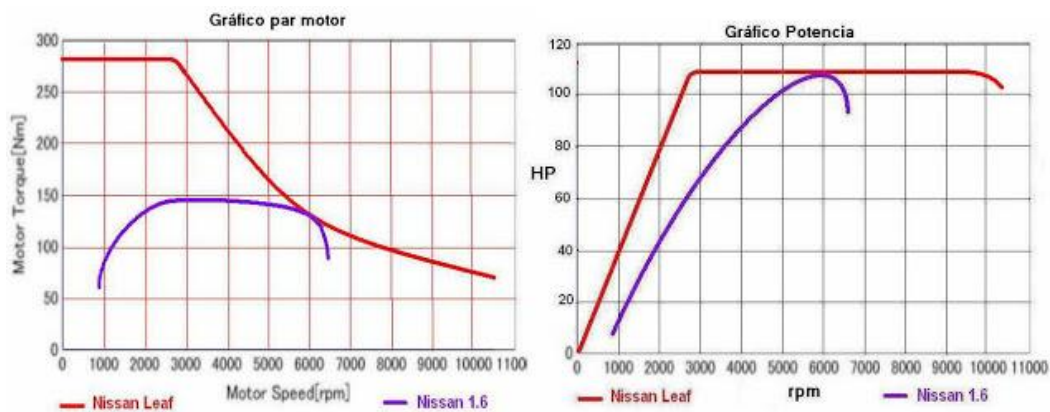
Tabla 6*Motor de combustión interna vs Motor eléctrico*

CARACTERÍSTICA		RPM	
		MCI	ME
Potencia máxima	Desde	5800	2800
	Hasta	6200	9800
Mínima para ralentí		700	20
Automóvil detenido		700	0

Fuente: (Rodríguez, 2011)

- d) En la tabla 6 se traduce las curvas características (ver figura 13) y se puede observar la gran superioridad del ME al tener una potencia máxima durante mucho tiempo y desde muy pocas RPM; al reducir o no tener revoluciones en el motor significa tener un desgaste menor de materiales, un menor consumo de energía o combustible y un tiempo de vida útil mayor.

En el gráfico (ver figura 13) puede ver las curvas de un motor eléctrico y de un motor de gasolina de 1600 cm³.

**Figura 13.** Curvas características de un motor térmico vs. Eléctrico

Fuente: (Rodríguez, 2011)

- e) “En la siguiente grafica (ver figura 14) se determina que al aumentar la velocidad el torque y la potencia en un MCI decrece mientras que la ventaja del ME es que se mantiene constante en la mayoría del tiempo” (Rodríguez, 2011).

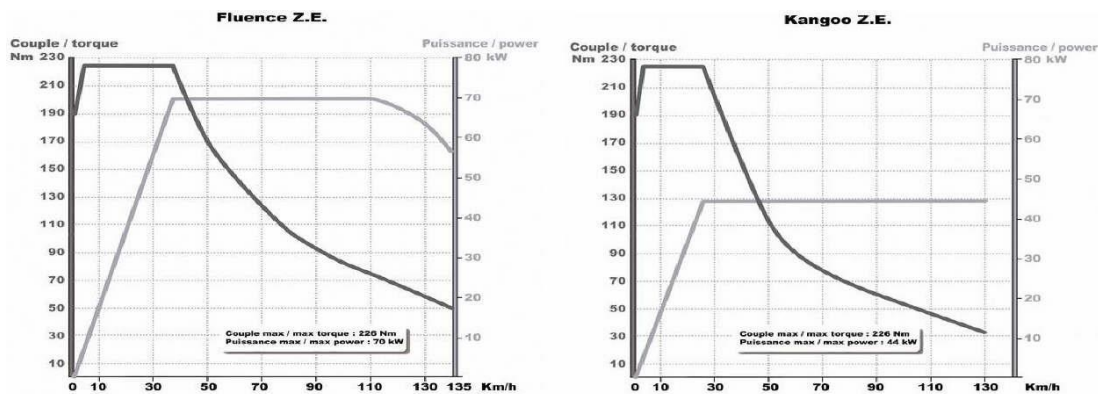


Figura 14. Torque vs Velocidad de un ME vs MCI

Fuente: (Rodríguez, 2011)

2.6. Sistema de recuperación de energía cinética

2.6.1. Funcionamiento

En inglés “kinetic energy recovery system” (KERS) es un mecanismo encargado de usar la energía cinética que se desperdicia en forma de calor (por la vibración de las partículas en la torsión de los palieres) al momento de frenar el automóvil. Mediante un motor-generator y un sistema de transmisión, la transforma en brío eléctrica almacenándola en un acumulador para poder aportar con energía al MCI y así lograr el principal objetivo: reducir las emisiones contaminantes y aumentar la autonomía.

La suma de energía a dilapidar está restringida a la capacidad de absorción de ésta por parte del sistema de energía, o el estado de carga de las baterías o los condensadores. Un efecto no regenerativo puede suceder si las baterías o condensadores están cargados al 100%. Por esta razón es obligatorio tener un freno reostático que absorba el exceso de energía (Aguilera & Aponte, 2015)

2.6.2. Ventajas

- a) Tecnología limpia (no emisión de gases contaminantes, no ruido).
- b) Mayor salida de potencia inicial al trabajar con motor eléctrico (torque constante).
- c) Gran estabilidad en el frenado.
- d) Los gastos de operación y funcionamiento son mínimos.
- e) Durante su funcionamiento no genera calor ni presenta vibraciones, lo que implica que tanto el conductor como el tripulante tengan sensación de confort. (Aguilera & Aponte, 2015)

2.6.3. Inconvenientes

- a) La carga completa de las baterías se hace en aproximadamente 6 horas, tiempo en el que el vehículo quedaría fuera de servicio, es de anotar que para que el tiempo de carga se reduzca, se deben adquirir elementos adicionales lo que se refleja en costos
- b) Los gastos iniciales son mayores que en la motocicleta o scooter de gasolina equivalente
- c) Menor autonomía antes de repostar
- d) Menor velocidad máxima (Aguilera & Aponte, 2015)

2.6.4. Tipos

En realidad, el sistema de recuperación de energía cinética propuesto en la Fórmula 1 se basa en dos ideas:

- a) Generación de energía eléctrica con el auxilio de un volante de inercia a partir de un mecanismo basado en una batería inercial, y que pueda marchar como dinamo-alternador, o bien como motor eléctrico. Este sistema es el llamado eléctrico. (Gonzalo & Vidaller, 2010)
- b) Acumulación de energía cinética en un volante de inercia, en condición de vacío, que acrecienta su energía cinética en las frenadas al transmitirle el giro de la corona cónica de la transmisión trasera del monoplaza y por tanto aumentando su velocidad de giro (y por tanto también su energía cinética). Al estar “al vacío”, puede conservar un estado de giro “casi perpetuo” debido a la inercia creada, que solo se pierde en fases de aceleración cuando la energía cinética de dicho flyhweel retorna corona cónica. Este método, es el llamado KERS mecánico. No transformando la energía cinética en eléctrica, y por tanto no necesita ningún tipo de motor eléctrico o batería. (Gonzalo & Vidaller, 2010)

2.6.5. Acumulador de energía

“Las baterías son unas de las escasas maneras confiables de almacenar la energía eléctrica. Estos terminales transforman el brío eléctrico en energía química y viceversa.” (Pérez J. C., 2003):

Tabla 7*Ficha técnica de Ni-MH*

Fabricante	Panasonic
Voltaje por celda	1,2 [V]
Capacidad nominal	6,5 Ah
Corriente de carga	1-2 [C]
Energía específica	30-80 [Wh/Kg]
Densidad energética	140-300 [Wh/l]
Potencia específica	250-1000 [W/Kg]
Ciclos de carga-descarga	300-500

Fuente: (Cabrera, 2015)

- **Índices de funcionamiento**

La temperatura de las baterías se acerca a la temperatura límite de trabajo continuo de esta tecnología (45 °C). El laborar sobre esta temperatura advierte una limitación del número de ciclos de carga-descarga a que se puede someter estas baterías; por tanto, la prohibición de la carga rápida cuando la batería consigue los 45 °C es necesaria a fin de conseguir un mejor rendimiento de las baterías. (Pérez J. C., 2003)

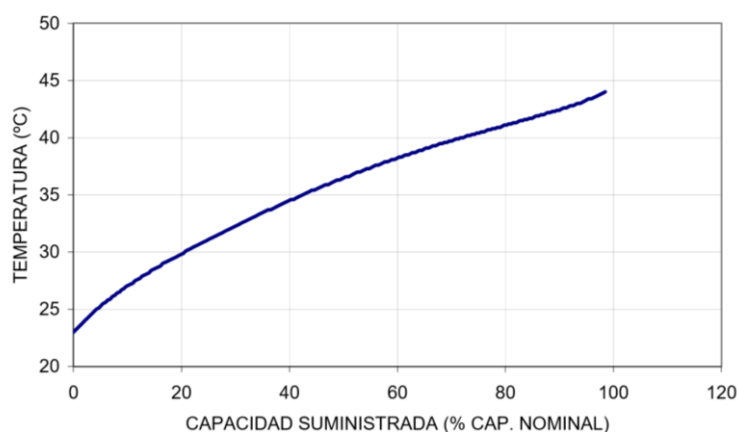


Figura 15. Evolución de la temperatura en las baterías de Ni-MH

Fuente: (Pérez J. C., 2003)

2.7. Sistema de transmisión de movimiento

Son los mecanismos encargados de transferir movimiento de un punto a otro, de forma lineal, rotacional o alternativo con la mayor eficiencia posible; entre los cuales tiene:

2.7.1. Ejes o flechas

Una flecha es un mecanismo rotatorio, por lo general de sección transversal circular, que se utiliza para transferir potencia o movimiento. Ella forma el eje de rotación u oscilación de elementos como engranes, poleas, volantes de inercia. Un eje no rotatorio puede diseñarse con facilidad y analizarse como una viga estática. (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

- **Materiales de ejes**

“La resistencia necesaria para soportar esfuerzos de carga afecta la elección de los materiales y sus tratamientos” (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008) como se detallan sus propiedades en su propio apéndice A, pero para fines de esta investigación tomar en cuenta los siguientes:

2.7.2. Esfuerzos

- **Torque medio y aparente**

“La carga es una combinación de torques variables que son sincrónicos. Para los cálculos del esfuerzo se necesitan las componentes media y alternante del torque” (Norton, 2011):

$$T_m = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

Ecuación 12 Torque medio

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

T_m : Torque medio [N.m]

T_{max} : Torque máximo [N.m]

T_{min} : Torque mínimo [N.m]

$$T_a = \frac{T_{max} - T_{min}}{2}$$

Ecuación 13 Torque aparente

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

T_{max} : Torque máximo [N.m]

T_{min} : Torque mínimo [N.m]

T_a : Torque aparente [N.m]

- **Fuerza normal**

$$F_N = \frac{T}{r}$$

Ecuación 14 Fuerza normal

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

T_a : Torque aparente [N.m]

F_N : Fuerza normal [N.m]

T : Torque [N.m]

- **Momento medio y aparente**

“Deben actuar una fuerza cortante interna V y un momento flexionante M sobre la superficie cortada para asegurar el equilibrio (ver figura 16b.)” (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008).

$$V = \frac{dM}{dx}$$

Ecuación 15 Esfuerzo cortante

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

V : Esfuerzo cortante [N.m]

dM : Derivada del momento

dx : Derivada de la distancia

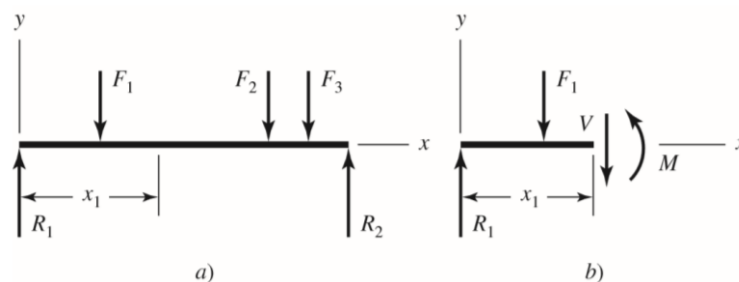


Figura 16. DCL de una viga simplemente apoyada que muestra a V y M en direcciones positivas

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Se determina que: “La carga es una combinación de momentos variables que son sincrónicos. Para los cálculos del esfuerzo se necesitan las componentes media y alternante del momento” (Norton, 2011):

$$M_m = \frac{M_{max} + M_{min}}{2}$$

Ecuación 16 Momento medio

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

M_m : Momento medio

M_{max} : Momento máximo

M_{min} : Momento mínimo

$$M_a = \frac{M_{max} - M_{min}}{2}$$

Ecuación 17 Momento aparente

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

M_{max} : Momento máximo

M_{min} : Momento mínimo

M_a : Momento aparente

- **Límite de la resistencia a la fatiga**

Los límites de resistencia a la fatiga que se obtienen de estimados con base en pruebas estáticas deben modificarse para justificar las discrepancias físicas entre la muestra de prueba y la parte real que se diseña. (Norton, 2011)

$$\text{Aceros: } \begin{cases} S_e \cong 0,5 * S_{ut} & \text{para } S_{ut} < 200\text{kpsi (1400MPa)} \\ S_e \cong 100\text{kpsi(700MPa)} & \text{para } S_{ut} \geq 200\text{kpsi (1400MPa)} \end{cases}$$

Ecuación 18 Límite de la resistencia a la fatiga

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

S_e : Límite de la resistencia a la fatiga

S_{ut} : Resistencia máxima del material

En la figura (ver figura 17) se determina que la ecuación 18 también trabaja también función de los numero de ciclos de vida del eje a diseñar.

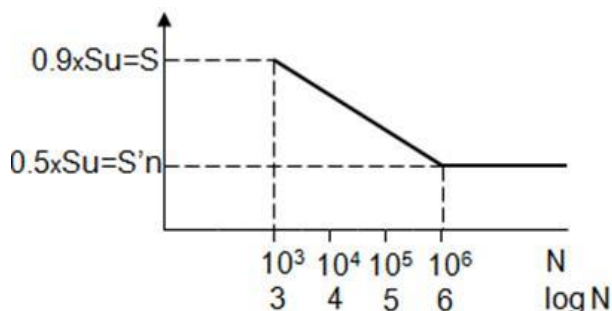


Figura 17. Diagrama de la resistencia por el número de ciclos

Fuente: (Zapata, 2013)

- **Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga**

“Marin identificó factores que ponderan los efectos de la condición” (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008).

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_e$$

Ecuación 19 Límite de resistencia a la fatiga

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

S_e : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso. []

k_a : Factor de modificación de la condición superficial []

k_b : Factor de modificación del tamaño []

k_c : Factor de modificación de la carga []

k_d : Factor de modificación de la temperatura []

k_e : Factor de confiabilidad []

k_f : Factor de modificación de efectos varios []

✓ Factor de superficie

Este factor consiste en determinar el tipo de acabado que tiene cada elemento al finalizar su producción

$$k_a = a * S_{ut}^B$$

Ecuación 20 Factor de superficie

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

✓ Factor de tamaño

$$k_b = \left\{ \begin{array}{ll} (d/0,3)^{-0,107} = 0,879 * d^{-0,107} & 0,11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0,91 * d^{-0,157} & 2 \leq d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7,62)^{-0,107} = 1,24 * d^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51 * d^{-0,157} & 51 \leq d \leq 254 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

Ecuación 21 Factor de tamaño para flexión y torsión

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

“Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual” (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

$$k_b = 1$$

Ecuación 22 Factor de tamaño para carga axial

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

k_b : Factor de tamaño

✓ **Factor de carga**

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0,85 & \text{axial} \\ 0,59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Ecuación 23 Factor de carga

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

✓ **Factor de temperatura**

Se debe considerar la temperatura de trabajo en la cual se va a desenvolver el eje

✓ **Factor de confiabilidad**

“Los datos que presentaron Haugen y Wirching muestran desviaciones estándar de la resistencia a la fatiga de menos de 8%” (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

✓ **Factor de efectos varios**

$$k_f = 1 + q * (k_t - 1)$$

Ecuación 24 Factor de concentración del esfuerzo por flexión

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

k_f : Factor de concentración del esfuerzo por flexión []

q : Sensibilidad a la muesca [lbf. in]

k_t : Esfuerzo nominal por flexión []

Estos factores se encuentran en el apéndice A del libro (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008), pero para fines de esta investigación tomar en cuenta los siguientes:

“En el trabajo de análisis o diseño, primero encuentre k_{ts} , a partir de la geometría de la parte. Después, especifique el material, encuentre $q_{cortante}$, y despeje para k_{fs} de la ecuación” (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008).

$$k_{fs} = 1 + q_{cortante} * (k_{ts} - 1)$$

Ecuación 25 Factor de concentración del esfuerzo por torsión

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

k_{fs} : Factor de concentración del esfuerzo por tensión o torsión []

$q_{cortante}$: sensibilidad a la muesca cortante [Mpa]

k_{ts} : Esfuerzo nominal por tensión o torsión []

- **Diámetro mínimo**

“Estos esfuerzos medios y alternantes equivalentes pueden evaluarse usando una curva, de falla por energía de distorsión, apropiada sobre el diagrama de Goodman modificada, que están dados por” (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008).

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4 * (K_f * M_a)^2 + 3 * (K_{fs} * T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4 * (K_f * M_m)^2 + 3 * (K_{fs} * T_m)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/2} \right)^{1/3}$$

Ecuación 26 Diámetro del eje

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

d: Diámetro del eje [mm]

n: factor de seguridad []

“Se puede usar como una ecuación para conseguir el diámetro del eje para cualquier miscelánea de carga de sesión y de torsión, de cero carga axial y razón inmutable entre los valores alternante y medio de carga en el tiempo” (Norton, 2011)

$$d = \left\{ \frac{32n_f}{\pi} \left[\frac{\sqrt{(k_f \cdot M_a)^2 + \frac{3}{4}(k_{fs} \cdot T_a)^2}}{S_f} + \frac{\sqrt{(k_{fm} \cdot M_m)^2 + \frac{3}{4}(k_{fsm} \cdot T_m)^2}}{S_{ut}} \right] \right\}^{1/3}$$

Ecuación 27 Diámetro del eje para combinación de flexión y torsión

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

d: Diámetro del eje [mm]

- **Concentración de esfuerzos en ranuras**

- ✓ **Falla por cortante**

“El esfuerzo promedio debido al cortante directo” (Norton, 2011):

$$\tau_{xy} = \frac{F_N}{A_{cortante}}$$

Ecuación 28 Esfuerzo cortante

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

τ_{xy} : Esfuerzo cortante en xy [MPa]

$A_{cortante}$: Área cortante [mm²]

✓ **Esfuerzo de Von Mises**

“El esfuerzo efectivo de Von Mises σ' para el caso tridimensional es” (Norton, 2011):

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x * \sigma_y + 3 * \tau_{xy}^2}$$

Ecuación 29 Esfuerzo de Von Mises

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

σ' : Esfuerzo efectivo de Von Mises

σ_x : Esfuerzo normal en el eje x

σ_y : Esfuerzo normal en el eje y

✓ **Factor de seguridad por fatiga**

“Para expresarlo matemáticamente, se resuelven en forma simultánea las ecuaciones” (Norton, 2011):

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

Ecuación 30 Factor de seguridad por fatiga

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

n_f : Factor de seguridad por fatiga

σ_a : Esfuerzo normal aparente

σ_m : Esfuerzo normal medio

✓ **Esfuerzo normal máximo**

$$\sigma_{max} = \frac{F_m + F_a}{A_{contacto}}$$

Ecuación 31 Esfuerzo normal máximo

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

σ_{max} : Esfuerzos flexionante máximo [N.mm]

$A_{contacto}$: Área en contacto [mm²]

✓ **Factor de seguridad**

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

Ecuación 32 Factor de seguridad por fluencia en ranuras

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

n_y : Factor de seguridad por fluencia en ranuras []

S_y : Resistencia de fluencia por tensión

✓ **Factor de esfuerzos en los cuñeros**

Se utiliza las mismas ecuaciones 24 y 25 pero con otros factores de concentración para cuñas que se observa en el anexo

• **Ajustes de interferencia**

✓ **Esfuerzos en ajustes de interferencia**

“Crea el mismo estado de esfuerzos en el eje que el de una presión externa uniforme sobre su superficie” (Norton, 2011):

$$\delta = 2 * \Delta r$$

Ecuación 33.- Interferencia diametral total entre las dos piezas

Fuente: (Norton, 2011)

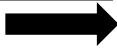
Donde:

δ : Interferencia diametral total entre las dos piezas []

Δr : Diferencia de radios de las piezas con interferencia [in]

Tabla 8

Razón de Poisson

Material	ν
Aluminio	0,34
Cobre	0,35
Hierro	0,28
Continua	

Acero	0,28
Magnesio	0,33
Titanio	0,34

Fuente: (Norton, 2011)

Después de determinar la interferencia diametral, se debe considerar la presión de interferencia entre los ejes

$$p = \frac{0,5 * \delta}{\frac{r}{E_o} * \left(\frac{r_o^2 + r^2}{r_o^2 - r^2} + \nu_o \right) + \frac{r}{E_i} * \left(\frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} + \nu_i \right)}$$

Ecuación 34 Presión por deformación de los materiales

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

p: Presión que se obtiene a partir de la deformación de los materiales [Psi]

δ: Interferencia diametral total entre las dos piezas []

r_i: Radio interior (si existe) de un eje hueco [in]

r_o: Radio exterior de la maza [in]

E:Modulo de Young [lb/in²]

ν:Modulo de Poisson

Tabla 9

Módulos de Young para varios metales

Material	MPSi	GPa
Aluminio	10,4	71,8
Titanio	16,5	114
Hierro fundido dúctil	24	166
Acero	30	207

Fuente: (Norton, 2011)

✓ **Esfuerzos flexionante máximo**

Este tipo de arresto considera el mayor doblamiento en pruebas de laboratorio

$$\sigma_{max} = \frac{M * c}{I}$$

Ecuación 35 Esfuerzos flexionante máximo

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

σ_{max} : Esfuerzo flexionante máximo []

M : Momento, función de momento [mm⁴]

c : Distancia a la fibra exterior [mm]

I : Segundo momento del área [mm²]

✓ Esfuerzos radiales y tangenciales

Cuando hay una obstrucción entre dos cuerpos existen este tipo de esfuerzos y los principales parámetros son el radio

$$\sigma_{t_{eje}} = -p * \frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2}$$

Ecuación 36 Esfuerzos radiales y tangenciales del eje

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

$\sigma_{t_{eje}}$: Esfuerzos radiales y tangenciales del eje [Pa]

Hay que considerar la interferencia en los dos lados, tanto en la maza como en el eje, para poder tener un cálculo aproximado del mismo

$$\sigma_{t_{maza}} = p * \frac{r_o^2 + r^2}{r_o^2 - r^2}$$

Ecuación 37 Esfuerzos radiales y tangenciales de la maza

Fuente: (Norton, 2011)

Donde:

$\sigma_{t_{maza}}$: Esfuerzos radiales y tangenciales de la maza [Pa]

✓ Concentración de esfuerzos

Se utiliza las mismas ecuaciones 24 y 25 pero con otros factores de concentración para ajuste de interferencia que se establece en el anexo

2.7.3. Embrague

“Los embragues que usan áreas de fricción, como medio de transmitir el par torsional para arrancar o parar un mecanismo, se pueden clasificar: embrague de placa, de cono, de banda” (Mott, 1997)

- **Capacidad torsional**

$$CT = \frac{W * k^2 * (\Delta N)}{308 * t}$$

Ecuación 38 Capacidad torsional de un embrague

Fuente: (Mott, 1997)

Donde:

CT: Capacidad torsional [lbf.in]

Wk²: Inercia de carga []

ΔN: Variación de numero de revoluciones []

t: Tiempo [seg]

“Caso especial para acero:” (Mott, 1997):

$$Wk^2 = \frac{L_E * (r_{1E}^4 - r_{2E}^4)}{323,9}$$

Ecuación 39 Inercia de carga del embrague

Fuente: (Mott, 1997)

Donde:

L_E: Longitud o profundidad del embrague [in]

r_{1E}: Radio exterior del embrague [in]

r_{2E}: Radio interior del embrague [in]

2.7.4. Acoplamiento

Un eje, como una entidad rígida, tiene seis grados potenciales de libertad (GDL) con proporción a un segundo eje. Sin embargo, debido a la proporción sólo cuatro de estos GDL son de interés. Se trata de las desalineaciones axial, angular, paralela y torsional. (Norton, 2011) que se puede apreciar una tabla comparativa en el anexo 2

2.7.5. Bandas o cadenas

“La transmisión de potencia entre engranajes es viable gracias a la fuerza de acción/reacción en el contacto del diente; y en una transferencia por correa requiere de la fricción” (Higinio, 2015):

- a) La correlación de velocidades, en un par de engranajes reales, es igual a la relación de transmisión ideal, pero la fricción induce que la relación entre torques sea menor de la ideal. (Higinio, 2015)
- b) En la transferencia por correas real, ocurre, al contrario, la relación de torques es igual a la ideal pero la relación de velocidades no lo es. (Higinio, 2015)

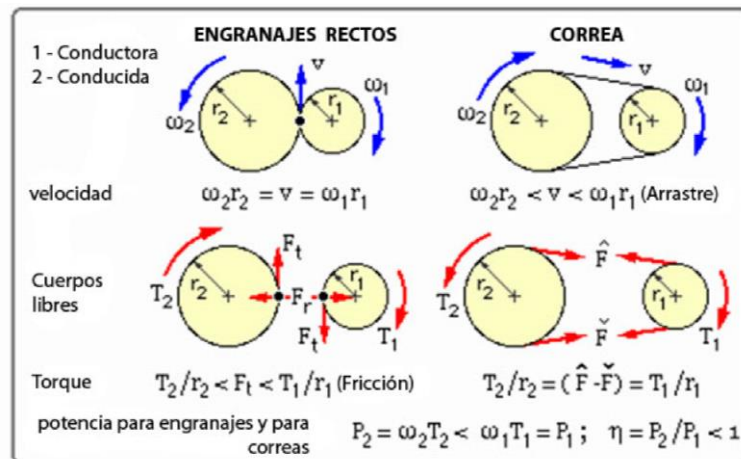


Figura 18. Diagrama del cuerpo libre de engranajes y correas
Fuente: (Higinio, 2015)

$$\frac{T_2}{r_2} = \frac{T_1}{r_1}$$

Ecuación 40 Relación de torque entre poleas

Fuente: (Higinio, 2015)

- **Material**

La base del trabajo de la transferencia por correas se basa en la dependencia analítica que existe entre las tensiones de un hilo flexible que envuelve un cilindro

Tabla 10

Coefficiente de rozamiento de una correa

Tipo de correa	Material de la llanta de la polea			
	Papel prensado	Madera	Acero	Fundición
Cuero	0,5	0,45	0,4	0,4
Caucho	0,35	0,32	0,3	0,3
Algodón	0,28	0,25	0,22	0,22
Lana	0,45	0,4	0,35	0,35

Fuente: (Higinio, 2015)

- **Eficiencia**

La potencia es igual al producto del torque por la velocidad angular, luego la eficiencia de los engranajes y correas reales es inferior al 100%.

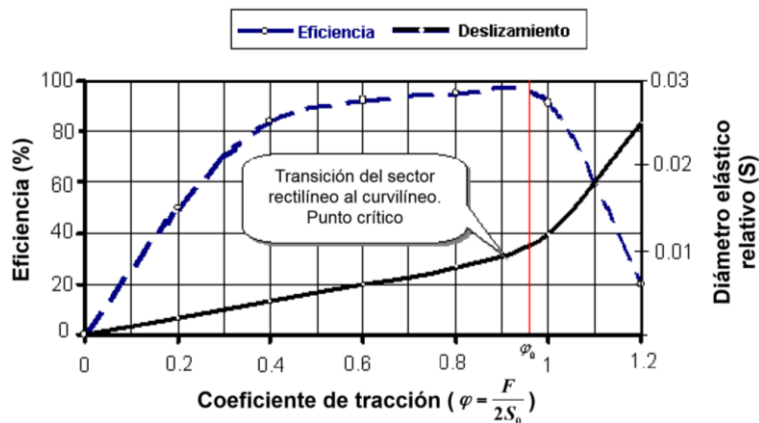


Figura 19. Eficiencia de una banda en función del coeficiente de tracción
Fuente: (Higinio, 2015)

“ φ_0 es el máximo valor admisible de la carga en condiciones de aprovechamiento racional de la correa” (Higinio, 2015)

Tabla 11

Coefficiente de tracción real de las correas

Tipo de correa	Material	φ_0
Plana	Poliamida	0,45-0,5
	Cuero	0,6
	Caucho	0,6
	Algodón	0,4
Trapezoidal	Cauchutada	0,7-0,9

Fuente: (Higinio, 2015)

- **Magnitudes específicas**

- ✓ **Longitud de la correa**

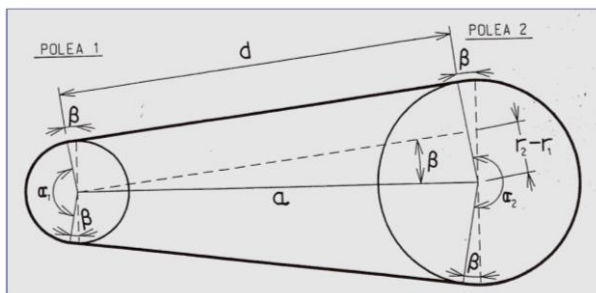


Figura 20. Dimensiones en un sistema de transmisión por banda y polea
Fuente: (Higinio, 2015)

La longitud de la correa se puede calcular de la siguiente forma:

$$L_c = \pi * (r_1 + r_2) + \frac{(r_2 - r_1)^2}{a} + 2 * a$$

Ecuación 41 Longitud de una correa

Fuente: (Higinio, 2015)

Donde:

L_c : Longitud de la correa [in]

r_1 : Radio de la polea menor [in]

r_2 : Radio de la polea mayor [in]

a : Distancia entre centros [in]

✓ Alineamiento de correas

La alineación es un principal tema para considerar, ya que, se puede crear una ruptura si el trabajo es continuo de esta forma.

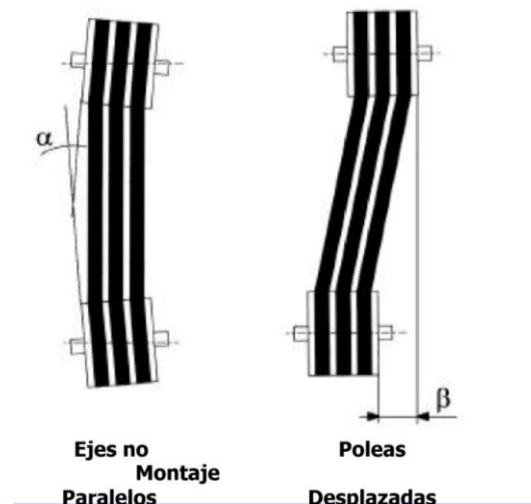


Figura 21. Ejemplo de alineamiento de correas

Fuente: (Higinio, 2015)

Los valores para los cálculos son los siguientes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{max} = 0,5^\circ \\ \beta_{max} = 8 \text{ mm por cada metro entre eje} \end{array} \right\}$$

Ecuación 42 Condición de alineamiento de correas

Fuente: (Higinio, 2015)

- **Esfuerzos**

- ✓ **Distribución de fuerzas en la correa**

Ecuación de Poncelet: En una transferencia por correas, la correa sufre tensiones y distensiones, de forma que acrecienta la tensión en una rama de la correa (T_1) y esto hace que reduzca la tensión en el otro (T_2), mientras que la suma de las tensiones se conserva invariable. (Higinio, 2015)

$$T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

Ecuación 43 de Poncelet para tensión de bandas

Fuente: (Higinio, 2015)

Donde:

T_0 : Tensión inicial [Pa]

T_1 : Fuerza aplicada en la polea menor [Pa]

T_2 : Fuerza aplicada en la polea mayor [Pa]

$$P_c = T_1 - T_2$$

Ecuación 44 de Poncelet para esfuerzo a transmitir de bandas

Fuente: (Higinio, 2015)

Donde:

T_0 : Tensión inicial [Pa]

P_c : Esfuerzo a transmitir [Pa]

T_1 : Fuerza aplicada en la polea menor [Pa]

T_2 : Fuerza aplicada en la polea mayor [Pa]

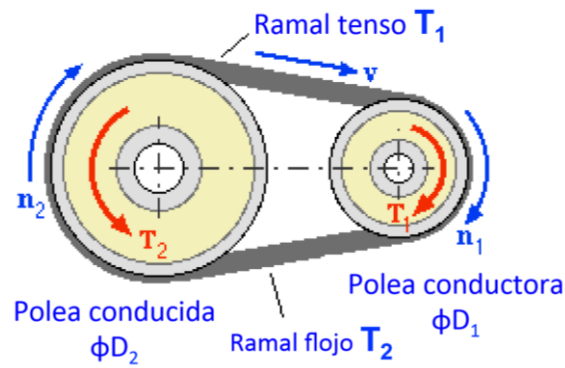


Figura 22. Diagrama de esfuerzos de una banda de transmisión
Fuente: (Higinio, 2015)

✓ **Coefficiente de tracción real**

$$\varphi = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}$$

Ecuación 45 Coeficiente de tracción real

Fuente: (Higinio, 2015)

Donde:

φ : Coeficiente de tracción real

✓ **Coefficiente de tracción teórico**

$$\varphi_o = \frac{P_c}{2 * T_0}$$

Ecuación 46.- Coeficiente de tracción teórico

Fuente: (Higinio, 2015)

Donde:

φ_o : Coeficiente de tracción teórico

Siendo las condiciones, a cumplir:

$$\left. \begin{array}{l} \varphi > \varphi_o \\ \varphi = \varphi_o \\ \varphi < \varphi_o \end{array} \right\} \begin{array}{l} \textit{Sobrecarga.} - \textit{La capacidad de traccion se supera} \\ \textit{Optima} \\ \textit{Infrautilizada.} - \textit{La capacidad de traccion no se aprovecha} \end{array}$$

Ecuación 47 Condiciones de trabajo de una banda de transmisión

Fuente: (Higinio, 2015)

2.8. Elementos de sujeción

2.8.1. Pernos

- **Material**

Los pernos se los adquirieron en “LA CASA DEL PERNO” porque tienen una base de datos con las propiedades mecánicas de sus productos como se muestra en la tabla del anexo 3

- **Magnitudes específicas**

- ✓ **Longitud de rosca**

$$L_T = \begin{cases} 2 * d_p + \frac{1}{4} \text{ pulg} & L \leq 6 \text{ pulg} \\ 2 * d_p + \frac{1}{2} \text{ pulg} & L > 6 \text{ pulg} \end{cases}$$

Ecuación 48 Longitud de rosca de un perno

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

L_T : Longitud de rosca

d_p : Diámetro nominal del perno

- ✓ **Longitud no roscada**

Hay diferentes tipos de extensión en los pernos para poder determinar los esfuerzos a los cuales están sometidos.

$$l_d = L - L_T$$

Ecuación 49 Longitud no roscada de un perno

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

l_d : Longitud no roscada [in]

L : Longitud total del perno [in]

- ✓ **Longitud roscada en agarre**

$$l_t = l - l_d$$

Ecuación 50 Longitud roscada en agarre de un perno

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

l_t : Longitud roscada en agarre [in]

l : Longitud en contacto del perno [in]

✓ **Área del diámetro mayor**

$$A_d = \frac{\pi * d_p^2}{4}$$

Ecuación 51 Área del diámetro mayor de un perno

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

A_d : Área del diámetro mayor [mm²]

✓ **Constantes físicas de los materiales**

Tabla 12

Constantes físicas de materiales I

Material	Módulo de elasticidad E	
	Mpsi	GPa
Abeto Douglas	1,6	11,0
Acero al carbón	30,0	207,0
Acero al níquel	30,0	207,0
Hierro fundido (gris)	14,5	100,0
Bronce fosforado	16,1	111,0

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

• **Esfuerzos**

✓ **Rigidez**

La dureza de un perno es principalmente en función del material

$$k_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_t + A_t * l_d}$$

Ecuación 52 Rigidez de un perno

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

k_b : Rigidez del perno [Mlbf/in²]

E : Módulo de elasticidad [Psi]

A_t : Área de esfuerzo en tensión [in^2]

✓ Carga de prueba

Los esfuerzos que se crean en las roscas a causa de la fuerza que se aplica produce lo siguiente:

$$F_p = A_t * S_p$$

Ecuación 53 Carga de prueba de un perno

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

F_p : Carga de prueba del perno

S_p : Resistencia a la prueba ultima

✓ Precarga

“Con base en estas directrices, se recomienda tanto para la carga estática como para la de fatiga que se use lo siguiente para la precarga” (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

$$F_i = \begin{cases} 0,75 * F_p & \text{para conexiones no permanentes} \\ 0,90 * F_p & \text{para conexiones permanentes} \end{cases}$$

Ecuación 54 Precarga de un perno

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

F_i : Precarga del perno [Kpi]

✓ Constante de rigidez

$$C_r = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

Ecuación 55 Constante de rigidez de pernos

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

C_r : Constante de rigidez de pernos []

✓ **Número mínimo**

Al obtener este dato se especifica la cantidad mínima, pero si se pone más aumentas el factor de seguridad, pero a su vez el peso

$$n_p = \frac{S_p * A_t - F_i}{C_r * P}$$

Ecuación 56 Número mínimo de pernos para soportar carga

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

n_p : Número mínimo de pernos

C_r : Constante de rigidez de pernos

2.8.2. Soportes y lamina base

- **Magnitudes específicas**

- ✓ **Constantes físicas de los materiales**

Se tomo el dato de los materiales únicamente usados en la estructura para poder determinar el número de pernos mínimo

Tabla 13

Constantes físicas de materiales II

Material	Módulo de elasticidad E	
	Mpsi	GPa
Hierro sinterizado	14,5	99.98
Poliamida PA 6	0,3	2,07

Fuente: (Sanmetal, 2018) (MFS-Sintering, 2018)

- **Esfuerzos**

- ✓ **Rigidez**

$$K_m = \frac{0,5774 * \pi * E * d_p}{2 * \ln \left(5 * \frac{0,5774 * l + 0,5 * d_p}{0,5774 * l + 2,5 * d_p} \right)}$$

Ecuación 57 Rigidez del material

Fuente: (Shigley, Nisbett, & Budynas, 2008)

Donde:

k_m : Rigidez del material [Mlbf/in²]

2.9. Sistema de control electrónico de seguridad

2.9.1. Placas de desarrollo con microcontroladores

- **Definición**

La CPU es el "cerebro" del microcomputador y procede bajo el control del programa guardado en la memoria. La CPU se ocupa fundamentalmente de acarrear las indicaciones del programa desde la memoria, descifrarlas y hacer que se ejecuten. En un microcomputador, la CPU no es otra cosa que el microprocesador, el circuito integrado capacitado de efectuar las funciones (ver figura 24) antes aludidas. (Pérez & Areny, 2007).

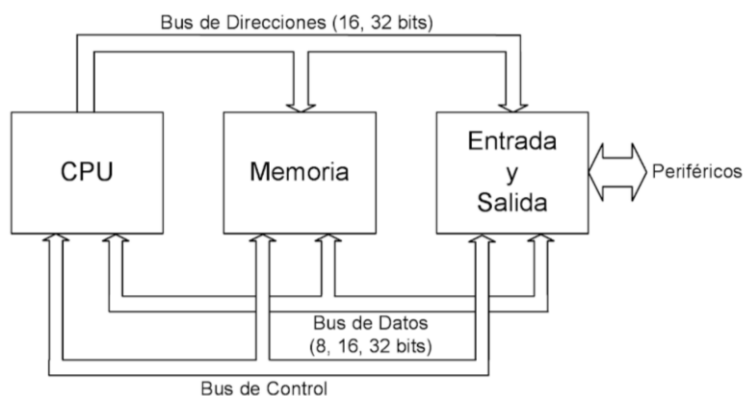


Figura 23. Esquema básico general de un microcomputador

Fuente:(Pérez & Areny, 2007)

- **Tipos**

Estas placas tienen algo en común, que están dispuestas por algún microcontrolador de alguna empresa como Microchip, Atmel, etc. o también por un procesador de alguna plataforma como ARM, y no tienen un Sistema Operativo. Además, solo responden a un lenguaje en particular. (Quispe O. , 2017)

- Arduino
- Tessel
- Launchpad MSP430
- Printoo
- Wiring
- Parallax Propeller

- g) NoMADA Go
- h) Tarjeta Entrenadora de PIC18F4550 PINGUINO

“Donde Arduino es una plataforma de computación física (son sistemas digitales conector a sensores y actuadores) establecida en una placa de entrada/salida y desarrollada sobre una biblioteca C/C++” (Pedrera, 2017)

- **Lenguaje C++**

Los programas par Arduino son realizados teniendo como reseña el lenguaje C++. Resguardando su sintaxis clásica y con eso posee las referencias del lenguaje, estas logran ser divididas en tres partes principales: las estructuras, los valores (variables y contantes) y las funciones. (Pedrera, 2017)

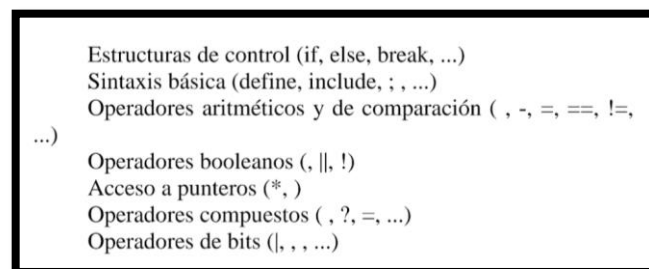


Figura 24 Ejemplo de estructura de referencia para arduino
Fuente: (Pedrera, 2017)

2.9.2. Sensores

- **Definición**

“Los sensores son emisor-receptor de datos físicos que miden cantidades físicas. Su ocupación es análoga a la de nuestros sentidos, con el cual alcanzara luego de un proceso poder interactuar con nuestro medio, tal como se muestra a continuación” (Ruiz del Solar & Salazar, 2010)

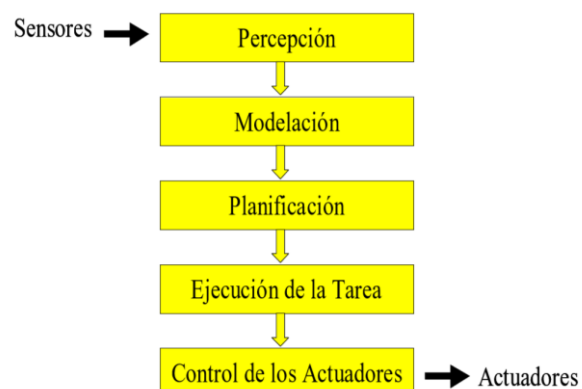


Figura 25. Proceso de un sensor para interactuar con el medio
Fuente: (Ruiz del Solar & Salazar, 2010)

- **Tipos**

Tabla 14*Tipos de sensores*

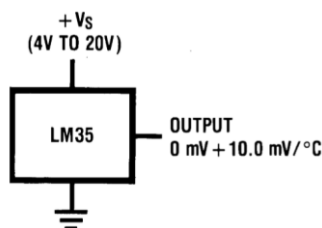
Propiedad Física	Tecnología
Contacto	Switch, sensor de contacto
Distancia	Ultrasonido, radar, infrarrojo
Luz	Diodo Infrarrojo, Fotorresistencia
Temperatura	Termal, infrarrojo
Tensión eléctrica – Diferencia de potencial - Voltaje	Voltímetro

Fuente: (Ruiz del Solar & Salazar, 2010)

- ✓ **LM35:**

“Son sensores de temperatura de circuito integrado de precisión, cuya tensión de salida es linealmente proporcional a la temperatura. Como extrae solo 60 μ A de su suministro, tiene un autocalentamiento muy bajo, menos de 0.1°C” (Datasheet, 2018), con las siguientes características:

- Calibrado directamente en ° Celsius (Centígrados). (Datasheet, 2018)
- Lineal + 10.0 mV / °C factor de escala. (Datasheet, 2018)
- 0.5°C de precisión garantizada (a + 25°C). (Datasheet, 2018)
- Bajo costo. (Datasheet, 2018)
- Clasificado para rango completo de -55° a + 150°C. (Datasheet, 2018)

**Figura 26.** Diagrama de funcionamiento del LM35

Fuente: (Datasheet, 2018)

- ✓ **Voltímetro:**

“Este módulo se basa en el principio de presión de los puntos de resistencia, y puede hacer que el voltaje de entrada del terminal rojo se reduzca 5 veces el voltaje original” (EKT, 2014) , con las siguientes características:

- Rango de voltaje de entrada: DC0-25 V
- Rango de detección del voltaje: DC0.02445 V-25 V

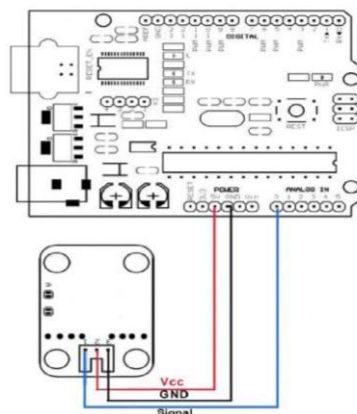


Figura 27. Forma de conectar voltímetro a Arduino

Fuente: (EKT, 2014)

2.9.3. Protección

El interruptor o fusible para resguardar conductores y equipos deben abrir automáticamente el circuito que esta salvaguarda si el flujo de corriente en el circuito consigue un valor que exceda el establecido del dispositivo, la cual puede producir una temperatura peligrosa o calor excesivo en los conductores y contactos del dispositivo de protección. (Navas, 2018)

Hay tres tipos de fallas eléctricas, a saber:

- a) Sobrecargas
- b) Corto circuito
- c) Falla de fase a tierra

2.9.4. Dispositivos de salida

- **Definición**

“Los ordenadores requieren dispositivos de salida para exponer los resultados de las operaciones que ejecuta el ordenador” (Robello, 2011)

- **Tipos**

- ✓ **LCD 16X2**

- **Funcionamiento**

La pantalla de cristal líquido 16x2 (LCD 16X2), es un terminal que simplemente retrata como esclavo, pues no forma ninguna señal hacia el microcontrolador, ya que es el apoderado de conservar una interfaz gráfica con el beneficiario. A través

de esta pantalla se expondrán tanto las opciones de códigos de línea que se pueden efectuar cómo las opciones de la secuencia binaria a codificar. (Torres, 2015)

— Conexiones

“Para conectar su pantalla LCD a su tablero, conecte los siguientes pines” (ARDUINO, 2018):

- a) Pin LCD RS a pin digital 12
- b) LCD Habilitar pin a pin digital 11
- c) Pin LCD D4 a pin digital 5
- d) Pin LCD D5 a pin digital 4
- e) Pin LCD D6 a pin digital 3
- f) LCD D7 pin a digital pin 2

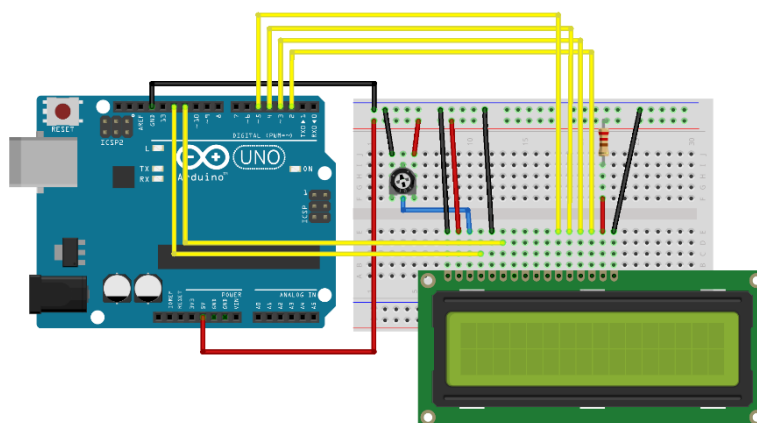


Figura 28. Forma de conectar LCD a Arduino uno
Fuente: (ARDUINO, 2018)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

El K.E.R.S consiste en un trabajo cíclico, que consta principalmente con un MG y trabaja en dos etapas:

1. En modo generador, mediante la excitación del MG por parte de la batería de bajo voltaje (LVE) del cuatrimoto con tensión nominal de 12,3 [V] y la energía cinética acumulada en la inercia del cuatrimoto, carga una batería de alto voltaje (HV) de 28,8 [V], esta batería consta con 3 packs con 9,6 [V] cada uno conectados en serie.
2. En modo motor se alimenta o consume los 28,8 [V] para crear energía cinética y aportar la potencia nominal del MG de 0,4 HP, durante 6 [seg] con intensidad de arranque 55,93[A], al eje de propulsión del cuatrimoto.

Para tener seguridad en el funcionamiento del sistema, se ha incorporado un control electrónico automatizado, energizado con una fuente de bajo voltaje LV de 9[V], encargado de interrumpir (mediante el RL5 - RL6) las líneas de excitación o alimentación del MG al censar datos de tensión superior a 31 [V] y temperatura 45 [°C] (estado de alerta) de la fuente HV:

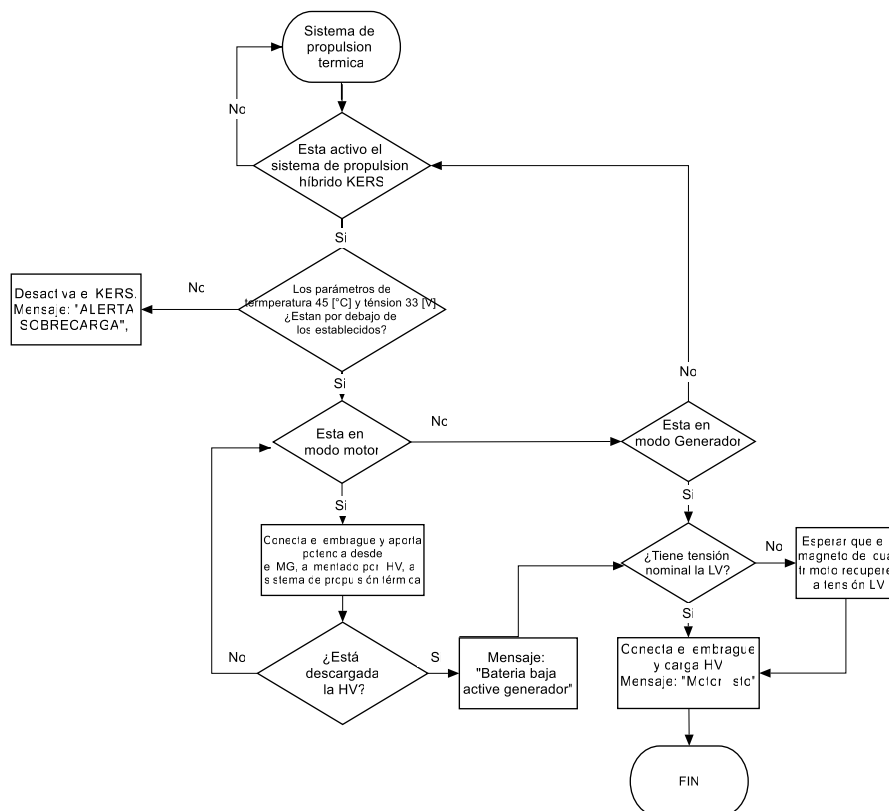


Figura 29. Diagrama de flujo del funcionamiento K.E.R.S

3.1. Eléctrico

Los requerimientos necesarios para implementar el sistema K.E.R.S en el cuatrimoto son: motor generador, embrague, mandos electromagnéticos, baterías, conmutador, amperímetros, voltímetros, microprocesador electrónico, regulador de tensión y sensor de temperatura

3.1.1. Motor generador

La selección del MG se realizó en base a 5 modelos existentes en el mercado, en la siguiente tabla cuantitativa:

Tabla 15

Tabla de ponderación para selección del MG

Modelo	GW-U		Y3-712-2		Y3-80M2-2		Y3-90L-2		Y3-112M-2		
	8110R										
Caract.	Val. Asig. [%]	Cant.	Val. Obt.	Cant.	Val. Obt.	Cant.	Val. Obt.	Cant.	Val. Obt.	Cant.	Val. Obt.
Peso [Kg]	30	12	3,6	12	3,6	17	2,54	23	1,88	42	1,03
Eficiencia [%]	20	51	10,2	73	14,6	77	15,4	81	16,2	85	17
Tensión de alimentación [V]	25	27	6,75	380	0,48	380	0,48	380	0,48	380	0,48
Potencia [KW]	15	0,4	0,06	0,75	0,11	1,1	0,17	2,2	0,33	5,5	0,83
Costo [\$]	10	300	30	1000	9	1200	7,5	1400	6,43	1800	5
TOTAL	100		50,61		27,79		26,09		25,32		24,34

En el caso del peso del sistema que está constituido por: el MG, packs de baterías HV, estructura, sistema de transmisión K.E.R.S, circuito electrónico, se realizó un análisis cuantitativo inverso, debido a que, a mayor peso de los componentes, podría causar deformación o fracturas en el chasis. A su vez mayor consumo de combustible y pérdida de potencia para el cuatrimoto.


Bajo el mismo concepto anterior, se ha tenido en cuenta el costo porque al ser una idea de implementación en masa, es necesario disminuir el valor de la producción de tal manera de equilibrar calidad-prestaciones

Tomando en cuenta los anteriores parámetros, se determina que el modelo GW-U 8110R es el seleccionado en la tabla 15 y con sus especificaciones técnicas:

Tabla 16

Especificaciones técnicas del MG

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Marca	Standand Electric Lorenz
Modelo	GWU 810R
Intensidad [A]	36
Tensión de alimentación [V]	27
Potencia [VA]	300
Frecuencia [Hz]	50
Ciclo de trabajo [rpm]	3000



En función de la fuente de alimentación LVE para la excitación del MG y la resistencia de las bobinas del rotor $1,4 [\Omega]$ se establece la intensidad teórica pico de $8,57 [A]$:

Tabla 17

Potencia consumida MG

Valores obtenidos		Ecuaciones		
Tensión [V]	$V_E = 12$	Intensidad [A]	$I_E = 8,57$	$W_v = V * I [9]$
Potencia para excitar el MG $W_{vE} = 0,103 [kW]$				
Coefficient e de seguridad []	$n = 2$	Rendimiento [%]	$\eta = 80$	$W_a = \frac{n*W_v}{\eta} [10]$
Potencia que consume el MG $W_{aE} = 1,5 [kW]$				

Tomando en cuenta la potencia que consume $W_{aE} = 1,5 [kW]$, la excitación del MG afectará a la caída de tensión del acumulador de energía LVE

3.1.2. Relés

Para los mandos electromagnéticos se usó los siguientes relés, existentes en el mercado, capaces de soportar la intensidad pico de excitación del MG $55,93 [A]$; medido experimentalmente mediante una pinza amperimétrica:

Tabla 18
Especificaciones técnicas de relé de potencia

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Intensidad máxima soportada [A]	100
Tensión [V]	12
Nº de terminales	5
Nº de posición de salida	2



En el caso de que el control electrónico detecte el estado de alerta; se encarga de energizar 2 relés (RL5 – RL6) al mismo tiempo, para que interrumpan el paso de corriente hacia el MG:

Tabla 19
Potencia consumida de relés en parámetros fuera de rango de temperatura o tensión

Valores obtenidos		Ecuaciones		
Tensión [V]	$V_r = 12$	Resistencia [Ω]	$R_r = 81,2$	$I = \frac{V}{R}$ [11]
Intensidad consumida $I_r = 0,3$ [A]				
Tensión [V]	$V_r = 12$	Intensidad [A]	$I_r = 0,3$	$W_v = V * I$ [9]
Potencia $W_{vr} = 0,004$ [kW]				
Coefficient e de seguridad []	$n = 2$	Rendimiento [%]	$\eta = 80$	$W_a = \frac{n * W_v}{\eta}$ [10]
Potencia final de consumo $W_{ar} = 0,01$ [kW]				


La potencia final que consume al activarse los 2 relés es de 0,01 [kW]

3.1.3. Embrague

El embrague se constituye por una bobina alimentada por la LVE, que trabaja como electroimán para magnetizar al plato del embrague y transmitir el movimiento radial de los ejes exterior al interior:

Tabla 20
Especificación técnica del embrague

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Resistencia [Ω]	2,8
Tensión [V]	12
AWG del alambre	18
Nº de espiras	320



Considerando las características de resistencia y tensión de alimentación en la tabla 20, su potencia consumida se establece a continuación:

Tabla 21
Potencia consumida embrague

Valores obtenidos				Ecuaciones
Tensión [V]	$V_e = 12$	Resistencia [Ω]	$R_e = 2,8$	$I = \frac{V}{R}$ [11]
Intensidad consumida por embrague $I_e = 4,29$ [A]				
Tensión [V]	$V_e = 12$	Intensidad [A]	$I_e = 4,29$	$W_v = V * I$ [9]
Potencia en el embrague $W_{ve} = 0,052$ [kW]				
Coefficient e de seguridad []	$n = 2$	Rendimiento [%]	$\eta = 80$	$W_a = \frac{n * W_v}{\eta}$ [10]
Potencia que consume el embrague $W_{ae} = 0,13$ [kW]				


La potencia final que consume la bobina del embrague es de 0,13 [kW]

3.1.4. Dispositivos de medición

Los mecanismos de valoración visual de intensidad y tensión son amperímetros-voltímetros digitales con las siguientes características:

Tabla 22*Especificación técnica de los amperímetros - voltímetros*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Resistencia [Ω]	2,8
Tensión [V]	12
Intensidad de consumo [mA]	50



Los amperímetros-voltímetros tienen la función que, en caso de fallo del sistema de control electrónico; el conductor visualice parámetros del sistema KERS fuera del rango normal de temperatura y tensión, active manualmente el switch de paro o máster (SW1) y de esta forma interrumpir la corriente de activación de los relés que permiten el paso de las líneas de excitación del MG:

Tabla 23*Potencia consumida amperímetros - voltímetros*

Valores obtenidos			Ecuaciones	
Tensión [V]	$V_e = 12$	Intensidad [A]	$I_e = 50 * 10^{-3}$	$W_v = V * I$ [9]
Potencia en los amperímetros-voltímetros $W_{A-V} = 0,006$ [kW]				
Coefficient e de seguridad []	$n = 2$	Rendimiento [%]	$\eta = 80$	$W_a = \frac{n * W_v}{\eta}$ [10]
Potencia que consume los amperímetros-voltímetros $W_{aA-V} = 0,015$ [kW]				

La potencia final que consumen los amperímetros-voltímetros digitales al estar activos es de 0,015 [kW]

3.1.5. Acumulador de energía

- **Arranque del motor de combustión interna**

En función de las especificaciones técnicas del cuatrimoto: cilindraje 0,25 [l], ciclos 150 [rpm], se podrá conocer la potencia mínima del motor de arranque durante los giros iniciales

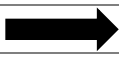
Tabla 24
Potencia mínima del motor de arranque

		Valores obtenidos		Ecuaciones
Cilindrada [l]	$V_t = 0,25$	Coeficiente para motores a gasolina [pulg]	$k = 4$	$C_m = V_t * k$ [6]
Par resistente del motor $C_m = 1$ [kgf.m]				
Ciclos [rpm]	$N = 150$	Par resistente del motor [kgf.m]	$C_m = 1$ kgf.m	$W_v = \frac{C_m * N}{716,2} * 0,736$ [4]
Potencia para arrancar el motor térmico $W_v = 0,15$ [kW]				
Coeficient e de seguridad []	$n = 2$	Eficiencia [%]	$\eta = 80$	$W_a = \frac{n * W_v}{\eta}$ [10]
Potencia que consume el motor de arranque $W_a = 0,375$ [kW]				
Potencia que consume los amperímetros [kW]	W_{V-A} $= 0,05$	Potencia para arrancar el motor térmico [kW]	$W_v = 0,15$	$W = W_v + W_a$
Potencia mínima del motor de arranque $W = 0,525$ [kW]				

El número de arranques del MCI del cuatrimoto no es alterado, porque el K.E.R.S es independiente en este tópico.

Para determinar la capacidad de descarga del LVE, se procedió a hacer una sumatoria de la potencia que consumen todos los dispositivos:

Tabla 25
Potencia consumida por los componentes eléctricos del K.E.R.S

		Valores obtenidos		Ecuaciones
Potencia mínima del motor de arranque [kW]	$W = 0,525$	Potencia que consume el MG [kW]	$W_{aE} = 1,5$	$W_m = W + W_{aE} + W_{ae}$ $+ W_{ar}$
Continua				

Potencia que consume el embrague [kW]	$W_{ae} = 0,13$	Potencia que consume los relés [kW]	$W_{ar} = 0,01$
---------------------------------------	-----------------	-------------------------------------	-----------------

Potencia máxima consumida por todos los elementos $W_m = 2,275$ [kW]

Debido al funcionamiento, activación de los componentes eléctricos del K.E.R.S. la potencia consumida es de $W_m = 2,275$ [kW]; y la LVE se enfrentó a un aumento de 10 activaciones durante un trayecto de 17 Km, lo que implica caídas de tensión.

Tabla 26

Capacidad de descarga de componentes eléctricos del K.E.R.S

Valores obtenidos		Ecuaciones	
Tensión nominal de la batería [V]	$V = 12$	Potencia máxima consumida [kW]	$W_m = 2,275$
			$I = \frac{W}{V}$ [9]

Corriente que consume el K.E.R.S $I = 189,58$ [A]

Corriente que consume el K.E.R.S [A]	$I = 189,58$	$I_a = \frac{I}{3600}$ [11]
--------------------------------------	--------------	-----------------------------

Capacidad de descarga $I_a = 0,04$ [Ah]

Número de activación []	$z = 10$	Capacidad de descarga [Ah]	$I_a = 0,03$	$I_p = I_a * z$
--------------------------	----------	----------------------------	--------------	-----------------

Capacidad de descarga en trayecto $I_p = 0,4$ [Ah]

LVE debe tener la capacidad de cubrir el consumo extra de 0,5 [A] en una hora; adicionales a la capacidad nominal de la fuente del cuatrimoto de 6[Ah]:

Tabla 27

Especificación técnica de LVE

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tensión [V]	12
Capacidad de descarga [Ah]	7
Capacidad de arranque en frío – CCA @-18°C [A]	80 A
Peso [Kg]	3,1



Dando como resultado la implementación de una LVE de 7 [Ah]


3.1.6. Switch máster o de paro

Se encarga de interrumpir el paso desde la LVE hacia las bobinas de los relés de potencia:

Tabla 28

Especificación técnica del switch máster o de paro

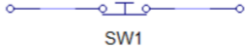
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Marca	Camsco
Modelo	Pulsador hongo con retención
Intensidad soportada [A]	3



El cual dispone de la siguiente configuración electrónica:

TABLA 29

Diagrama de conexión de switch master o de paro

Modelo	Número de polos	Posiciones	Diagrama de conexión
Pulsador hongo con retención	1	2	 SW1

En el diagrama de la tabla 29 se aprecia que el switch trabaja normalmente cerrado, de tal forma que el circuito siempre tiene continuidad hasta que el conductor acción manualmente el mecanismo.

3.1.7. Conmutador

Se utilizo un conmutador que bloquea la activación simultanea de las 2 etapas: generador y motor del sistema. Evitando una sobrecarga de tensión o intensidad para el MG.

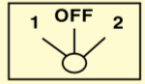
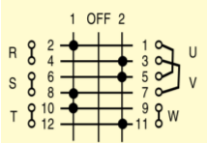
Tabla 30*Especificación técnica del conmutador***ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Marca	Camsco
Numero de vías de entrada	5
Numero de vías de salida	5
Intensidad soportada [A]	16



El cual dispone de la siguiente configuración eléctrica:

Tabla 31*Diagrama de conexión del conmutador*

Modelo	Número de polos	Posiciones	Nombre de placa	Diagrama de conexión
C32-117	3	3		

Fuente: (Camsco, 2015)

- Detalle de conexión

Este tipo de interruptores tienen 3 posiciones, 5 líneas de entrada y 5 líneas de salida, que trabajan de la siguiente manera:

— En la etapa de generador conmutamos 3 líneas:

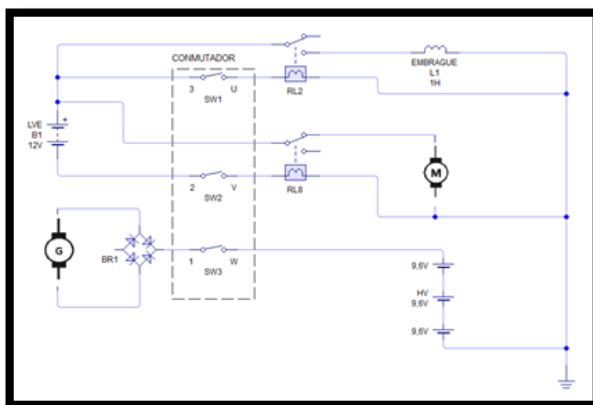


Figura 30. Esquema eléctrico del conmutador etapa generador

- 2-V: Activa el relé RL8 encargado de dar paso la excitación del generador, desde la batería LVE
- 3-U: Energiza la bobina del electroimán para que transmita el movimiento inerte desde de las llantas del cuatrimoto al MG

- c) 1-W: Da continuidad la tensión desde el generador a las baterías HV
 — En la etapa de motor conmutamos 2 líneas:

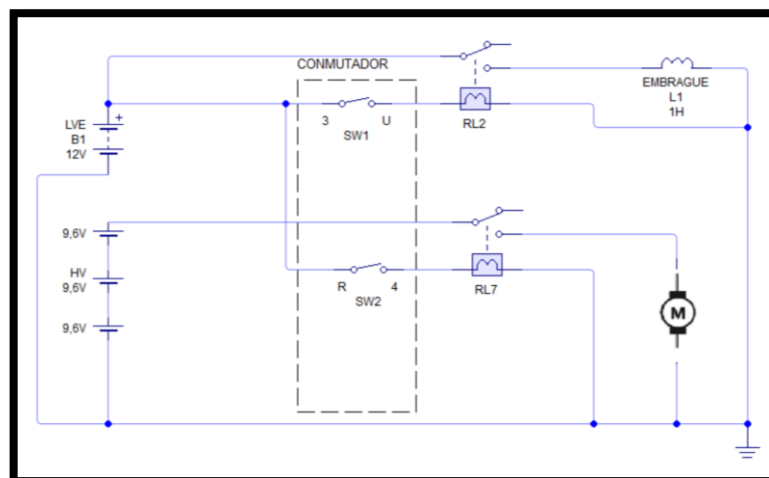


Figura 31. Esquema eléctrico del conmutador etapa motor

- a) 3-U: De forma similar a la etapa de generación energiza la bobina del electroimán, pero en este caso transmite el movimiento cinético desde el MG hacia el eje de propulsión del cuatrimoto
 b) R-4: Activa el relé RL7 encargado de dar paso la alimentación del MG por parte de las baterías HV

3.1.8. Fusibles

En el sistema se dispone de 2 tipos: 3 de clavija y 1 tubo de vidrio.



Figura 32. Fusible tipo tubo de vidrio

En total se utilizó 4 fusibles de diferente capacidad (establecidos en la tabla 16, 21), de la siguiente manera:

- Etapa de generación se colocó en las siguientes líneas:
 - a) 80 [A] excitación por parte de la batería LVE.
 - b) 7,5 [A] bobina del embrague, la cual funciona en esta etapa y en la de motor.

- c) 3[A] carga de las baterías HV.
- Etapa de motor, se colocó en las siguientes líneas:
 - a) 80 [A] para la excitación por parte de las baterías HV

3.1.9. Conductor eléctrico

En función de la intensidad, se determinó la sección de los conductores como establece el código AWG (anexo 4)

Para la fase de potencia de igual forma se tomó en cuenta el valor medido experimentalmente con intensidad pico de 55,93 [A] desde baterías HV al momento de excitar al MG, de tal manera que se seleccionó un conductor de calibre 6.

En el control manual y electrónico, se calcula en la tabla 21 que el mayor consumidor es la bobina del embrague con una $I = 4,29$ [A]; para lo que se generalizo el uso de del cable calibre 18



En la parte de control electrónico se establece el mayor consumidor es el microcontrolador con 50 [mA] en las especificaciones técnicas de la tabla 36 por lo que se usó el conductor eléctrico de calibre 26 como se detallan a continuación:

Tabla 32
Especificaciones técnicas conductores eléctricos

FASE DE POTENCIA	
AWG	6
Modelo	THHN
Capacidad [A]	65
Resistencia DC a 20°C [Ω /Km]	1,3
Peso total aproximado [Kg/Km]	166
CONTROL MANUAL	
AWG	18
Modelo	Flexible
Capacidad [A]	6
Resistencia DC a 20°C [Ω /Km]	21,4



Continua

Peso total aproximado [Kg/Km]	16	
CONTROL ELECTRÓNICO		
AWG	26	
Modelo	Flexible	
Capacidad [A]	2	
Resistencia DC a 20°C [Ω/Km]	8,3	
Peso total aproximado [Kg/Km]	7	

De acuerdo con la siguiente tabla 33, se designó los siguientes colores de los conductores para las conexiones:

Tabla 33

Función de los conductores eléctricos por colores

FASE DE POTENCIA	
COLOR	FUNCIÓN
Verde	Positivo de excitación del MG desde baterías LVE
Verde/Negro	Negativo de excitación del MG desde baterías LVE para modo generador /señal de lectura de amperímetro de alta intensidad
Rojo	Positivo de excitación del MG desde baterías HV
Rojo/Negro	Negativo de excitación del MG desde baterías HV para modo motor /señal de lectura de amperímetro de alta intensidad
CONTROL MANUAL	
COLOR	FUNCIÓN
Blanco	Alimentación positiva de 12 [V] desde baterías LVE
Negro	Alimentación negativa de 12 [V] desde baterías LVE
Naranja	Carga desde el MG a las baterías HV
Amarillo	Señal de voltímetros
Amarillo/Negro	Señal de amperímetros de baja intensidad
Verde	Control manual del relé de excitación de la batería LVE en modo generador

Rojo	Control manual del relé de excitación de la batería LVE en modo generador
CONTROL ELECTRÓNICO	
COLOR	FUNCIÓN
Blanco	Alimentación positiva de 9 [V] desde baterías de bajo voltaje LV
Negro	Alimentación negativa de 9 [V] desde baterías LV
Amarillo	Transmisión de datos desde o hacia el microcontrolador por parte del sensor y regulador de tensión

En el diagrama de conexión normalizado, para estos colores se utilizó los acrónimos en el idioma inglés.

3.2. Electromecánico

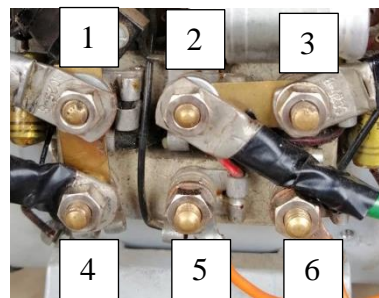
- **Placa de bornes del motor generador**

Se tomó en cuenta la placa de bornes que tiene el MG, el que determina la conexión de los 6 pines:

Tabla 34

Descripción de la placa de bornes

DESCRIPCIÓN	
Pin 1	GND de excitación – Etapa generador
Pin 2	Entrada DC de excitación – Etapa generador – Batería 12 voltios
Pin 3	Entrada DC de alimentación – Etapa motor – Batería 27 voltios
Pin 4	GND de alimentación – Etapa motor
Pin 5	Salida de AC – Etapa generador
Pin 6	Salida de AC – Etapa generador



La notación de la placa se realizó desde la parte superior izquierda y termina en la parte inferior derecha

- **Baterías HV**

En función de su capacidad de descarga, potencia específica, ciclos de carga y descarga especificados en la tabla 7 se seleccionó las siguientes baterías HV:

Tabla 35
Especificación técnica baterías HV

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Fabricante	Panasonic
Tensión [V/celda]	1,2
Numero de celdas []	8
Capacidad [Ah]	6,5



Cada pack de batería HV dispone de 8 celdas que suman una tensión nominal de 9,6 [V] por lo cual se dispuso la conexión en serie de tres packs cuya tensión es de 28,8 [V] para alimentar al MG en su etapa de motor (tracción).

3.2.1. Etapa de generador

El circuito de este periodo dispone de 3 interrupciones en el conmutador que se representan mediante el SW1 y SW2, como se aprecia a continuación:

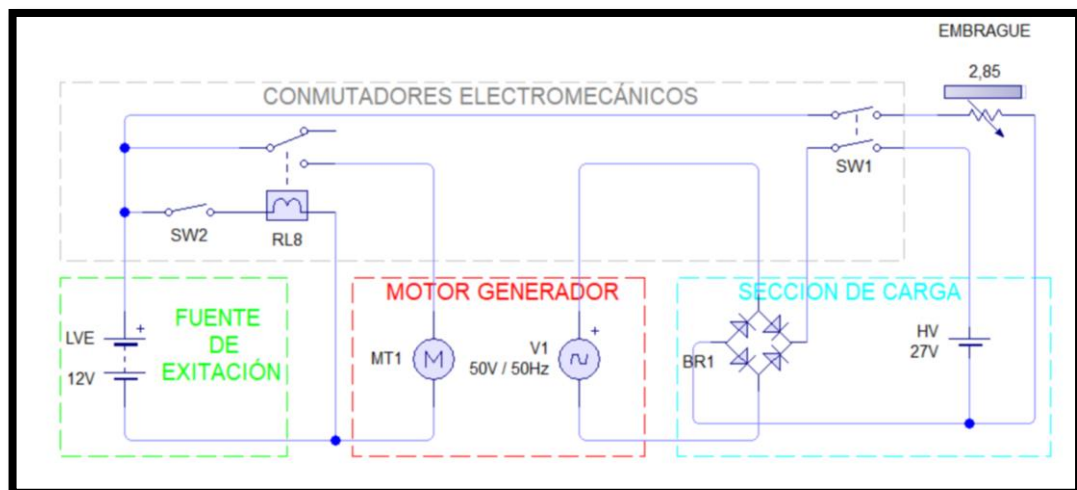


Figura 33. Diagrama eléctrico etapa generador

Empieza desde la línea positiva de la batería de 12 voltios que llega al relé RL8 normalmente abierto, el SW2 activa la bobina del mismo relé RL8, y da paso para alimentar o excitar al MG desde la LVE.

Excitado el rotor (conductor magnético) genera energía cinética en el medio del yugo y al cortar las líneas magnéticas de las bobinas de campo (polarizadas) se provoca

una FEM en el conductor y gracias a sus anillos rozantes se obtiene la corriente alterna. (Ley de Faraday capítulo 2)

Después de obtener la AC (V1) se rectifica con un puente de diodos; esta tensión llega al SW1, encargado de dar paso para que las baterías HV se carguen.

Por último, el SW1 también permite la alimentación del electroimán encargado de transmitir el movimiento inercial del cuatrimoto al generador aumentando la tensión de recarga de las baterías HV.

3.2.2. Etapa de motor

Esta fase dispone de 2 interrupciones conectadas al mismo conmutador de la etapa de generador, que se representan mediante el SW3, como se observa a continuación:

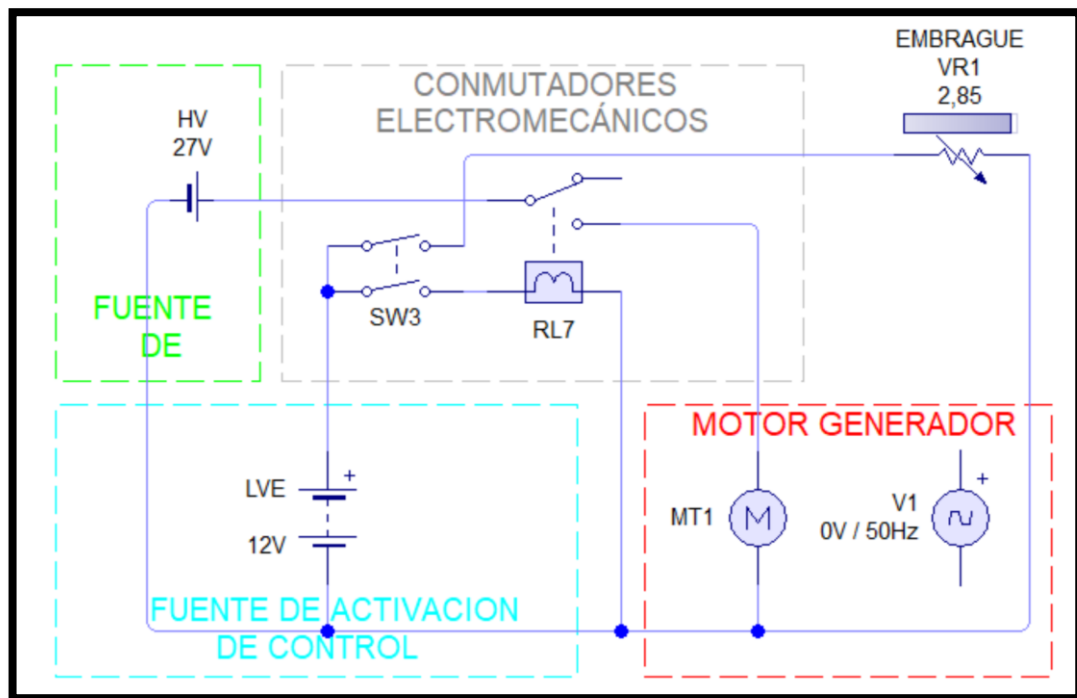


Figura 34. Diagrama eléctrico etapa motor

Esta etapa se asemeja a la anterior, ahora la excitación es por parte de las baterías HV; pero su descarga se concentra únicamente en girar al motor y no tiene que recargar baterías, como cuando trabajaba en modo generador

Esa tensión llega al relé RL7 normalmente abierto y con la activación de la bobina por medio del SW3, permite el paso de corriente que excita el motor; creando la FEM necesaria para que impulse el cuatrimoto.

De igual forma que en el modo generador, la batería LVE suministra la carga necesaria en el SW3 para activar la bobina del electroimán se magnetice y pueda transmitir esa energía cinética del motor eléctrico al eje de propulsión.

3.3. Electrónico

El sistema automatizado electrónico de seguridad se encarga de estar censando en todo momento la temperatura y la tensión del acumulador HV.

3.3.1. Microcontrolador

Se encarga de leer las señales de entrada por parte del sensor de temperatura LM35, regulador de tensión; corre un programa de control y refleja los parámetros en la LCD:

Tabla 36

Especificación técnica microcontrolador

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Marca	Arduino
Modelo	UNO
Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de entrada [V]	$6 < V_i < 20$
Consumo de intensidad [mA]	$I_o = 50$
Entradas analógicas	6
Salidas digitales	14



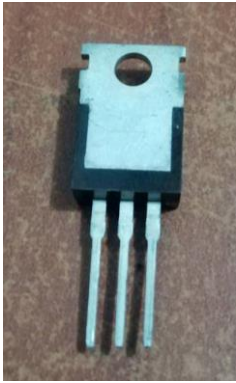
La especificación principal por tomar en cuenta es el consumo de intensidad de 50[mA], parámetro, que determinará el tiempo de duración de la fuente de alimentación de bajo voltaje LV

3.3.2. Regulador de voltaje

El regulador LM7805 permite que el índice de alimentación sea variable 5 a 18 [V] y a su vez obtener una tensión de salida 4,8 a 5,4 [V] para la LV como se detalla a continuación:

Tabla 37
Especificación técnica LM7805

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Marca	Texas Instruments
Modelo	7805
Tensión de entrada [V]	$5 < V_i < 18$
Tensión de salida [V]	$4,8 < V_o < 5,4$
Intensidad de entrada [A]	$I_i < 0,5$
Intensidad de salida [A]	$0,4 < I_o < 2,2$



Lo recomendable es tener una entrada máxima de 9 [V] o 2 [A] para no aumentar un disipador de calor, al circuito

3.3.3. Regulador de tensión

Para controlar los picos de intensidad de corriente que se pueden provocar por corrientes parasitas o conexiones inestables se calculó la capacidad de los condensadores de la siguiente forma:


Tabla 38 *Calculo de la capacidad de condensador*

Valores obtenidos				Ecuaciones
constante []	$c = 159300$	Frecuencia [Hz]	$Hz = 60$	$C = \frac{c * I}{Hz * V}$
Intensidad [A]	0,3	Tensión [V]	$V = 9$	
Capacidad del condensador C = 88,5 [μF]				

Se determinó que el condensador debe tener una capacidad mínima de 88,5 [μF], pero en el mercado existe de 100 [μF] como se detalla a continuación:

Tabla 39.- Especificación técnica del condensador

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Marca	Antel
Modelo	100 μF
Tensión de entrada [V]	$V_i < 25$
Capacitancia [μF]	$C = 100$



Al simular la tensión de entrada LV en conjunto con el regulador de voltaje LM7805 y los capacitores calculados anteriormente el circuito de alimentación queda de la siguiente forma

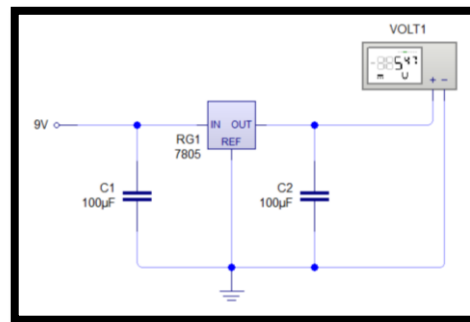


Figura 35. Sub circuito de regulador de tensión

En donde se puede apreciar (ver figura 35) el voltaje de salida de 5,47 voltios y así se asegura una tensión constante para el microcontrolador en el control electrónico

3.3.4. Fuente de alimentación

Experimentalmente se determinó colocar una fuente independiente LV de 9 [V]. Porque si se utilizaba las baterías LVE o HV, cuando estas excitan al MG existe el pico de corriente de 55,93 [A]; haciendo que el consumidor que oponga menor resistencia se vea afectado su funcionamiento, al recibir reflujos de corrientes parasitas

Tabla 40

Especificación técnica LV

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Modelo	6F22
Tensión [V]	9
Capacidad de descarga [Ah]	1,2



En la tabla 36 se establece que el microcontrolador consume 50 [mA] por lo que el tiempo que se demora en descargar la fuente LV se calcula a continuación:

3.3.6. Sensor de voltaje

Se usó un divisor de tensión como sensor de voltaje, que regular la lectura (máxima de 5 [V]) de entrada, para el microcontrolador.

Para determinar la resistencia 2, los elementos que se tiene son: la tensión de entrada de 30 [V], la tensión de salida 5[V], una resistencia 1 fija de 30 [k Ω].

Tabla 43 *Calculo resistencia divisora de tensión*

Valores obtenidos			Ecuaciones
Tensión de salida [Vo]	$V_o = 5$	Resistencia 2 [k Ω]	$V_o = \frac{V_i * R_2}{R_1 + R_2}$
		$R_2 = 30$	
Tensión de entrada [V]		$V_i = 36$	
Resistencia 2 $R_2 = 4,7$ [kΩ]			

Se selecciono la tensión de entrada de 36[V] para encontrar una resistencia 2 de 4,7 [k Ω] existente en el mercado

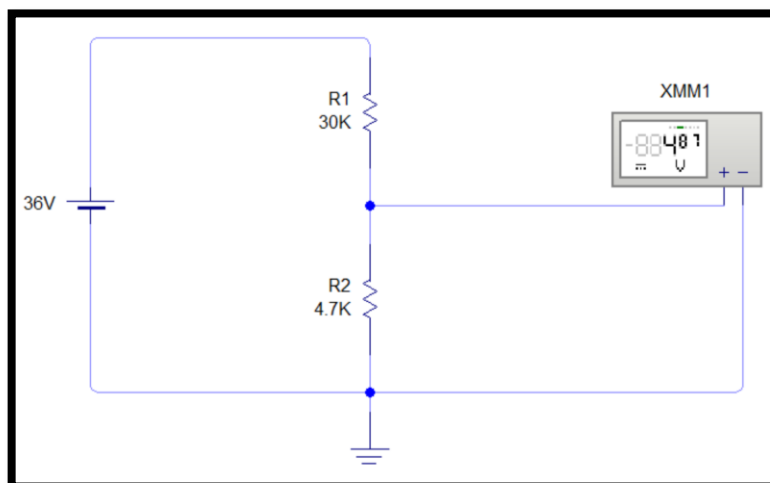


Figura 36. Sub circuito divisor de tensión

Como se observa en la gráfica anterior (ver figura 36) da como resultado una tensión de salida de 4,87 [V] para el microcontrolador, la cual, mediante factores de conversión en el lenguaje de programación, vuelve a su valor real en la pantalla LCD.

Tabla 44 *Especificación técnica sensor de tensión*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Marca	Arduino
Modelo	Sensor de voltaje
Tensión de entrada [V]	$0 < V_i < 36$
Tensión de salida [V]	$0 < V_o < 5$



La ventaja de este dispositivo es que usted puede variar el valor de la resistencia 2 y obtener la medición de valores de tensión más altos.

3.3.7. Interfaz de salida de datos

En función de su número de caracteres, pocos pines de comunicación y dimensiones, establecido en el capítulo 2; tiene las siguientes características:

Tabla 45 Especificación técnica LCD

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Marca	Arduino
Modelo	LCD 16X2
Tensión de entrada [V]	$V_i = 5$



Establecidos los parámetros de estado de alerta en el control electrónico, la recepción de señales por parte del sensor de temperatura LM35 y voltaje; se puede reflejar en el interfaz LCD 16x2 de la siguiente forma:

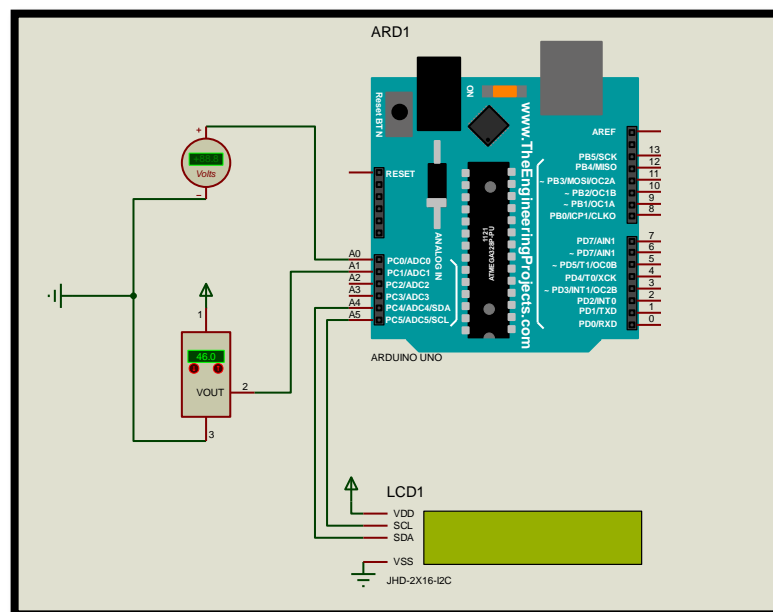


Figura 37. Sub circuito señales de entrada e interfaz de salida

Al considerar el bajo consumo de intensidad para activarse las bobinas de los relés de control, se escogió los siguientes:

Tabla 46*Especificación técnica relé de LV*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Modelo	05VDC
Tensión de entrada DC [V]	$5 < V_i < 28$
Intensidad soportada [A]	$0 < I_o < 10$
Resistencia	70



Para que el microcontrolador no se vea afectado por los picos de corriente de activación de las bobinas de los relés de control; se utilizó transistores NPN que recibe la señal en la base por parte del microcontrolador (no activa las bobinas directamente), y de esta forma, dan paso para que se cierre el flujo a tierra.

Tabla 47*Especificación técnica transistor*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Marca	ON Semiconductor
Modelo	2N3904
Tensión de saturación de la base [mV]	$V_b = 600$
Intensidad de la base [mA]	$I_b < 100$



El circuito electrónico y mecánico, mediante el microcontrolador y conmutador, de cada componente, queda de la siguiente manera:

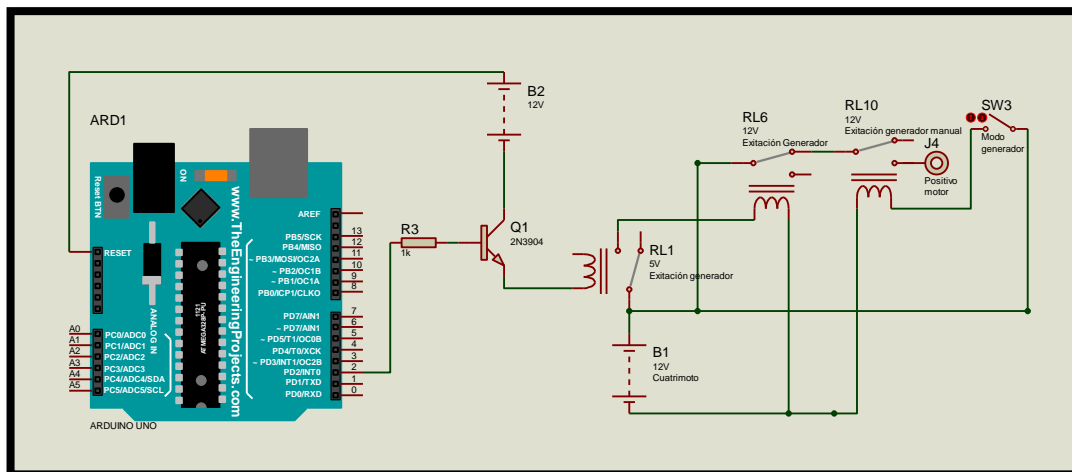


Figura 38. Sub circuito control electrónico

Finalmente, la intervención electrónica trabaja en serie con el control mecánico de la siguiente forma:

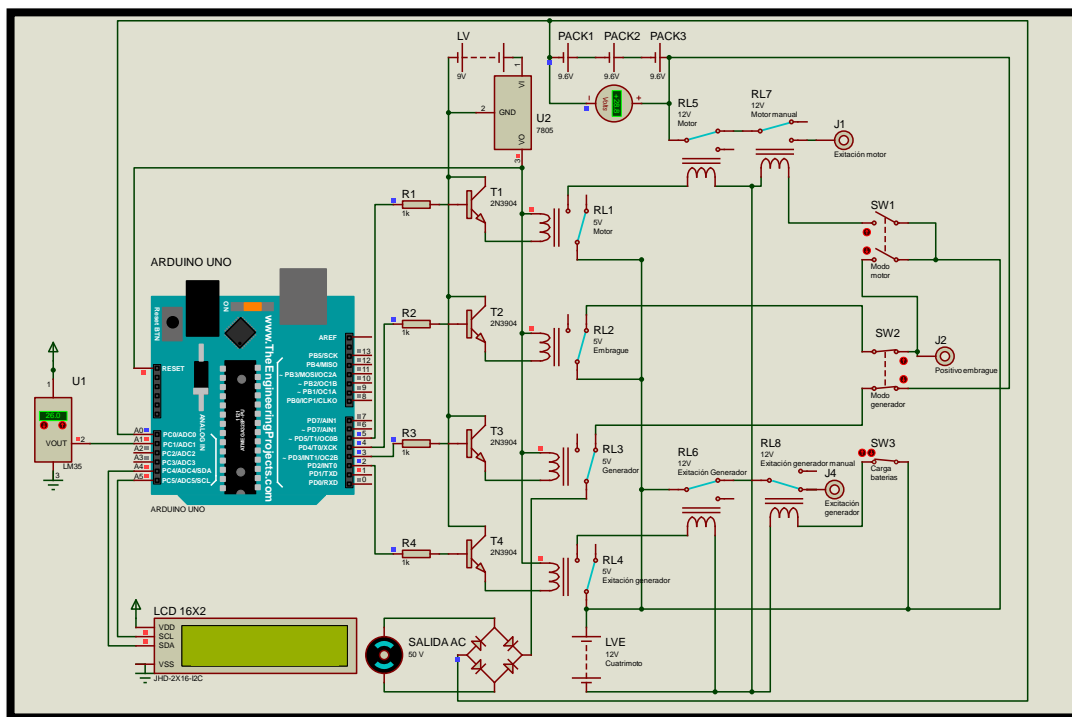


Figura 39. Circuito de control electrónico y manual

Como se explicó en el diseño electromecánico del modo generador o motor (graficas 33,34) se dispone de 2 relés de potencia (RL7 – RL8) controlado manualmente para cada etapa que, al estar activado, fluye la excitación de alta intensidad por el terminal normalmente abierto hasta el MG.

Pero se dispone relés (RL5 – RL6) conectados en serie (activación controlada electrónicamente), antes de estos interruptores electromagnéticos (RL7 - RL8); en los

cuales, por estar desactivados se transmite la intensidad por su terminal normalmente cerrado.

El comando electrónico trabaja con relés de control de 5[V] (RL1 – RL4) y su terminal común se alimenta por la LVE; cuando detecta los parámetros de alerta, el microcontrolador activa los relés de control, dando paso el flujo de 12 [V] (energizando) a la bobina de los relés de potencia (RL5 – RL6) normalmente cerrado. Dando corte de corriente del circuito de excitación del MG ya que la intensidad llega al terminar normalmente abierto.

En cambio, las líneas de activación de la bobina del embrague y la carga de baterías HV tienen una intensidad máxima de 4,29 [A] (tabla 21); las cuales se comunican por el terminal normalmente cerrado de 2 relés de control (RL2 – RL3) y al detectar los mismos parámetros de alerta, interrumpen el paso de corriente.

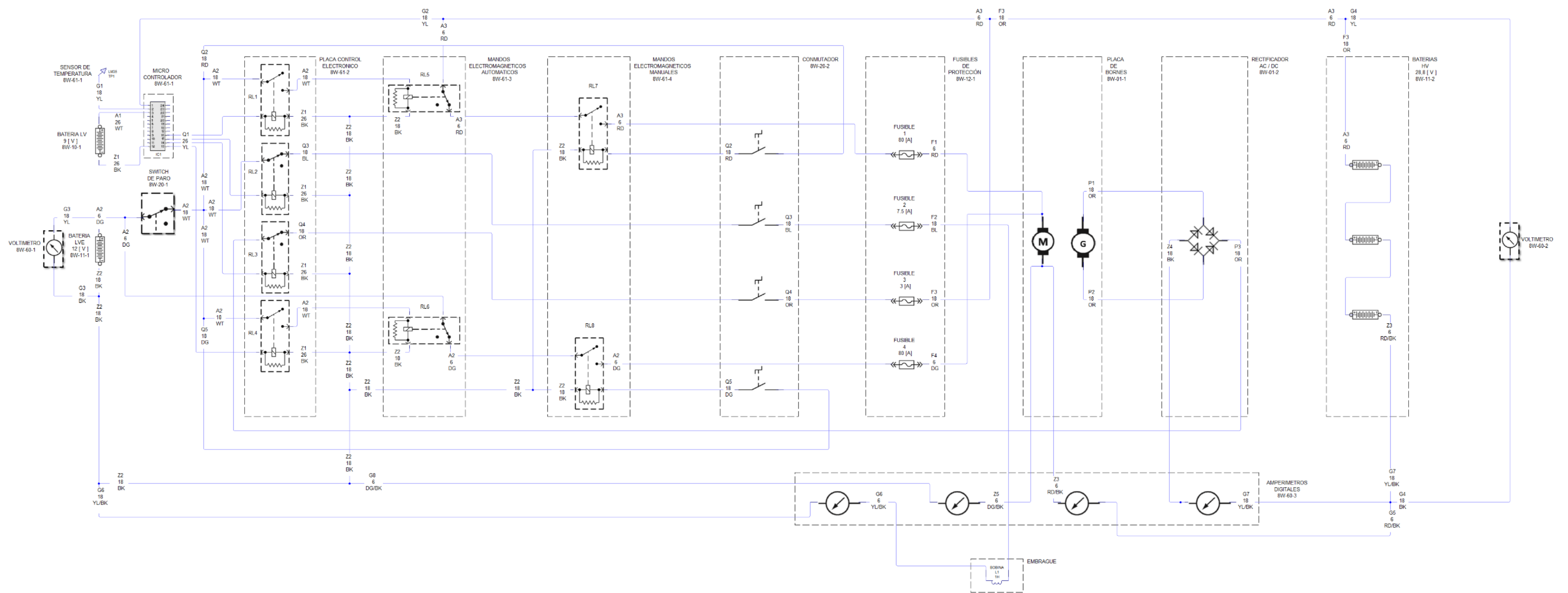


Figura 40. Diagrama 3D circuito control electrónico y mecánico

3.4. Mecánico

3.4.1. Bastidor

Por falta de datos del fabricante se asume que el material del perfil estructural es Acero A36 y según el plano establecido en el anexo 5, el bastidor estándar del cuatrimoto es el siguiente:

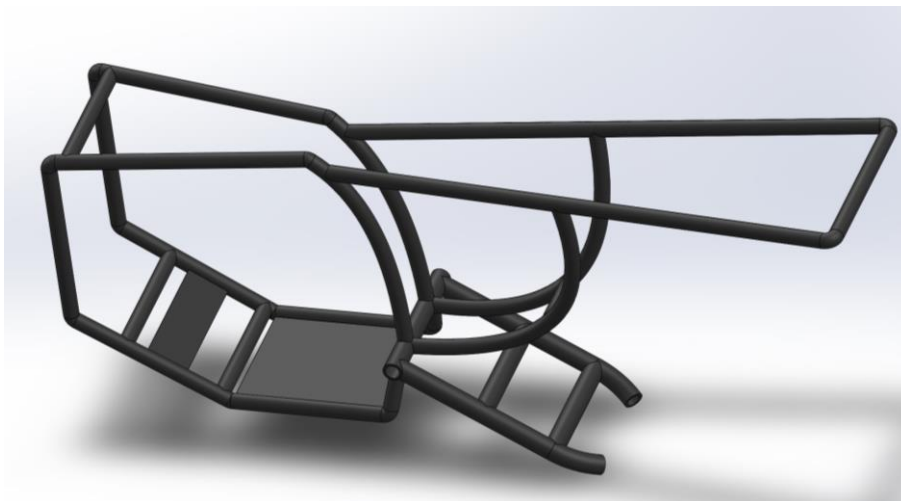


Figura 41. CAD bastidor estándar cuatrimoto

A partir de estas dimensiones se establecerá la distribución de los componentes del sistema K.E.R.S

3.4.2. Sistema de fijación

- **Lamina base**

El peso estimado del K.E.R.S es de 60 [lbf] fue determinado experimentalmente mediante una balanza; de tal forma que se modelo una lámina base con 24 orificios, pensados, en la disposición de los componentes del sistema K.E.R.S.

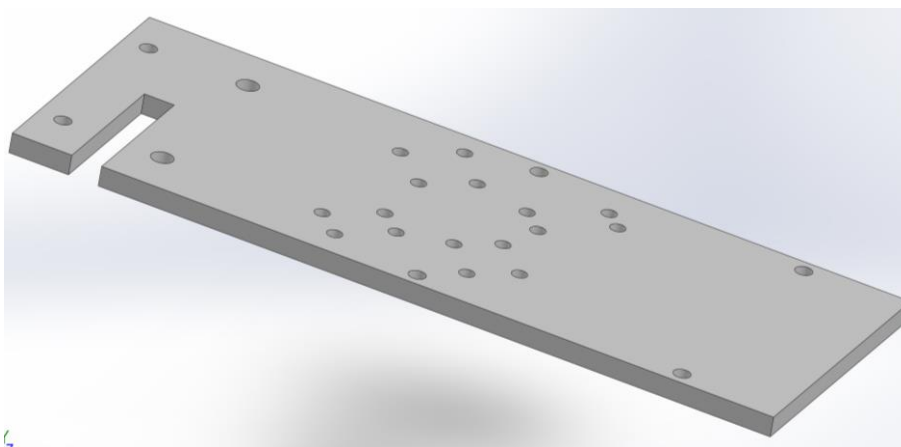


Figura 42. Lamina base

Luego se realizó una variación de 4 tipos de material para encontrar el más liviano y resistente como se detalla en la siguiente tabla

Tabla 48*Tensión máxima de 4 materiales para lamina base*

Material	Espesor [mm]	Peso [Kg]	Tensión máxima [N/m ²]
Grillon PA 6	12	1	3,58 * 10 ⁶
Acero A36	6	2	2,974 * 10 ⁶
Aluminio 1060	6	1,5	2,37 * 10 ⁶
Bronce al magnesio	10	1,3	1,864 * 10 ⁶

El peso entre el bronce y el grillon PA6 tiene una variación del 30%, pero claramente su tensión máxima soportada es el doble del bronce. Y la finalidad es reducir peso, pero a su vez, no rebasar el límite elástico provocado por los esfuerzos de torsión.

Los pernos que van a sostener contra la jaula deben tener una longitud superior al espesor de la lámina por lo que se estableció la medida de 1,25 pulgadas:

Tabla 49*Ecuaciones para el numero de pernos que sostienen la lámina base*

Valores obtenidos		Ecuaciones	
Diámetro del perno [pulg]	$d_p = \frac{5}{16}$	Longitud total del perno [pulg]	$L = 1 \frac{1}{4}$
Longitud en contacto [pulg]	$l = \frac{9}{16}$		
Long. Total $L_T = 0,875$ [pulg]		Long. no roscada $l_d = 0,375$ [pulg]	
Long. roscada en agarre $l_t = 0,188$ [pulg]		Área de diámetro mayor $A_d = 0,077$ [pulg²]	
Área de esfuerzo en tensión [pulg ²]	$A_t = 0,0775$	Módulo de elasticidad del perno [MPsi]	$E_p = 30$
Rigidez del perno $K_b = 3,543$ [Mlbf/pulg]			
Módulo de elasticidad de la placa de grilon [MPsi]	$E_g = 0,3$	Módulo de elasticidad de la lámina [MPsi]	$E_b = 14,5$
		$K_m = \frac{0,5774 * \pi * E * d_p}{2 * \ln \left(5 * \frac{0,5774 * l + 0,5 * d_p}{0,5774 * l + 2,5 * d_p} \right)}$	
Rigidez del elemento placa grilon $K_{m_g} = 0,109$ [Mlbf/pulg]			
Rigidez del elemento chumacera $K_{m_b} = 5,29$ [Mlbf/pulg]			

Continua 

Constante de rigidez		$C = \frac{K}{K + K_m}$	
Constante de rigidez del grilon $C_g = 0,982$			
Constante de rigidez de la base metálica $C_b = 0,401$			
Resistencia a la prueba mínima del perno [KPsi]	$S_p = 33$	$F_i = 0,75 * A_t * S_p$	
Precarga del perno $F_i = 1,297$ [Kip]			
Fuerza de separación [Klbf]	$F_s = 60 \cdot 10^{-3}$	Factor de seguridad	$n = 2$
			$N_p = \frac{C * n * F_s}{S_p * A_t - F_i}$
Mínimo número de pernos para la platina de hierro $N_b = 4,117 \cong 8$ pernos			
Mínimo número de pernos para la placa de grilon $N_g = 4,283 \cong 8$ pernos			

Para los esfuerzos cortantes a los que está sometida la lámina base es suficiente 8 pernos para sostenerle a la jaula

- **Base del motor generador**

Asumimos que el material de la base del MG es un Acero A36, las medidas son tomadas del objeto real y se establece una fuerza de separación de 46 [lbf];

La fuerza se le toma como de separación porque es la misma que intenta separar al MG de la lámina base:

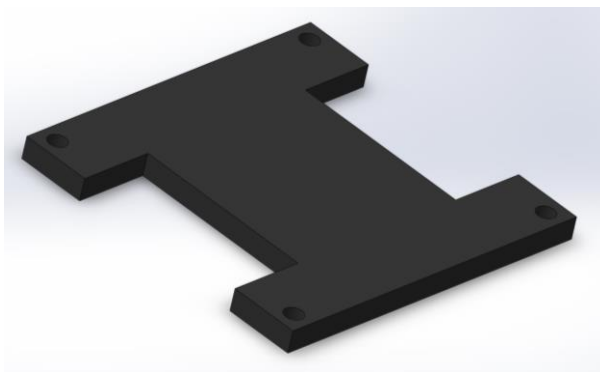


Figura 43. Base del MG

La base esta soldada al MG, tiene 4 orificios; también se tomó en cuenta el alto $1 \frac{1}{2}$ y el diámetro $\frac{3}{8}$ de pulgada de los huecos:

Tabla 50

Ecuaciones para el numero de pernos en la base del motor

Valores obtenidos			Ecuaciones
Diámetro del perno [pulg]	$d_p = \frac{3}{8}$	Longitud total del perno [pulg]	$L_T = 2 * d_p + \frac{1}{4}$
		$L = 1 \frac{1}{2}$	$l_d = L - L_T$
			$l_t = l - L_d$

Continua



Longitud en contacto [pulg]	$l = 1$	$A_d = \frac{\pi * d^2}{4}$
Long. Total $L_T = 1$ [pulg] Long. no roscada $l_d = 0,5$ [pulg]		
Long. roscada en agarre $l_t = 0,5$ [pulg] Área de diámetro mayor $A_d = 0,11$ [pulg²]		
Área de esfuerzo en tensión [pulg ²]	$A_t = 0,0775$	Módulo de elasticidad del perno [MPsi]
		$E_p = 30$
		$K_b = \frac{A_d * A_t * E_p}{A_d * l_t * A_t * l_d}$
Rigidez del perno $K_b = 2.728$ [Mlbf/pulg]		
Módulo de elasticidad de la placa de grilon [MPsi]	$E_g = 0,3$	Módulo de elasticidad de la base metálica [MPsi]
		$E_b = 14,5$
		$K_m = \frac{0,5774 * \pi * E * d_p}{2 * \ln \left(5 * \frac{0,5774 * l + 0,5 * d_p}{0,5774 * l + 2,5 * d_p} \right)}$
Rigidez del elemento placa grilon $K_{m_g} = 0,11$ [Mlbf/pulg]		
Rigidez del elemento lámina metálica $K_{m_b} = 5,325$ [Mlbf/pulg]		
Constante de rigidez		$C = \frac{K}{K + K_m}$
Constante de rigidez del grilon $C_g = 0,96$		
Constante de rigidez de la base metálica $C_b = 0,339$		
Resistencia a la prueba mínima del perno [KPsi]	$S_p = 33$	$F_i = 0,75 * A_t * S_p$
Precarga del perno $F_i = 1,918$ [Kip]		
Fuerza de separación [Klbf]	$F_s = 46.10^{-3}$	Factor de seguridad
		$n = 2$
		$N_p = \frac{C * n * F_s}{S_p * A_t - F_i}$
Mínimo número de pernos para la base de hierro $N_b = 2,129 \cong 2$ perno		
Mínimo número de pernos para la placa de grilon $N_g = 2,046 \cong 2$ perno		

El MG en función de su fuerza de separación puede ser fijado a la lámina base mínimo con 2 pernos

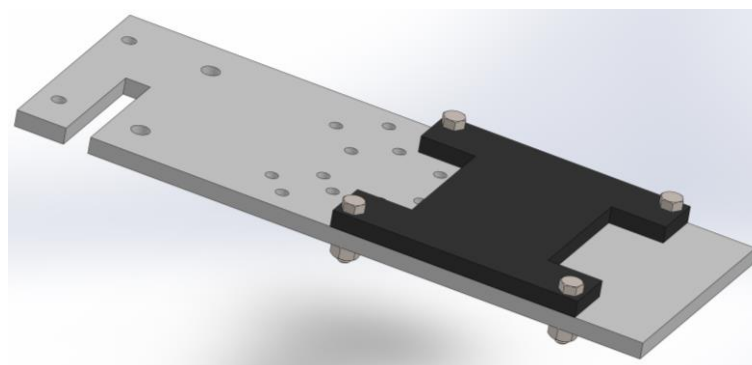


Figura 44. Ensamble base MG

Al colocar el doble de pernos (4), lo que se hace es aumentar en la misma proporción el factor de seguridad.

- **Chumacera**

Al ser un eje de transmisión largo de $\frac{5}{8}$ de pulgada, se dispuso una chumacera para evitar flexión:

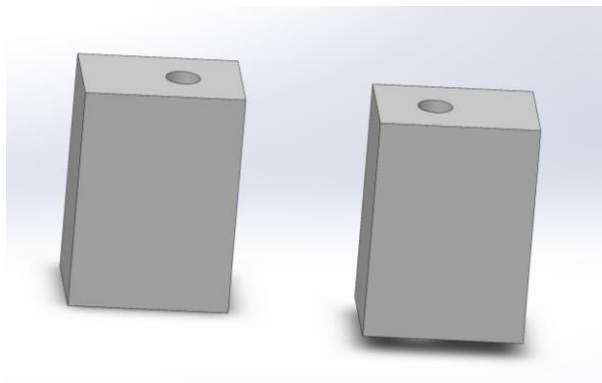


Figura 45. Base chumacera

La chumacera desde fabrica viene con 2 orificios en su parte lateral para poder fijarla, razón por la cual, para su base se consideró el diámetro $\frac{1}{2}$ y la altura de $4\frac{3}{4}$ de pulgada desde la lámina base hasta el eje de salida del MG:

Tabla 51

Ecuaciones para el numero de pernos en la base de la chumacera

Valores obtenidos		Ecuaciones	
Diámetro del perno [pulg]	$d_p = \frac{1}{2}$	Longitud total del perno [pulg]	$L = 4\frac{3}{4}$
Longitud en contacto [pulg]			
		$l = 4\frac{1}{2}$	
Long. Total $L_T = 1,25$ [pulg]		Long. no roscada $l_d = 3,5$ [pulg]	
Long. roscada en agarre $l_t = 0,75$ [pulg]		Área de diámetro mayor $A_d = 0,196$ [pulg²]	
Área de esfuerzo en tensión [pulg ²]	$A_t = 0,1419$	Módulo de elasticidad del perno [MPsi]	$E_p = 30$
			$K_b = \frac{A_d * A_t * E_p}{A_d * l_t * A_t * l_d}$
Rigidez del perno $K_b = 1.298$ [Mlbf/pulg]			
Módulo de elasticidad de la placa de grilon [MPsi]	$E_g = 0,3$	Módulo de elasticidad de la chumacera [MPsi]	$E_b = 14,5$
			$K_m = \frac{0,5774 * \pi * E * d_p}{2 * \ln\left(5 * \frac{0,5774 * l + 0,5 * d_p}{0,5774 * l + 2,5 * d_p}\right)}$
Rigidez del elemento placa grilon $K_{mg} = 0,105$ [Mlbf/pulg]			
Rigidez del elemento lámina metálica $K_{mb} = 5,079$ [Mlbf/pulg]			
Constante de rigidez		$C = \frac{K}{K + K_m}$	
Constante de rigidez del grilon $C_g = 0,925$			
Constante de rigidez de la base metálica $C_b = 0,204$			

Continua

Resistencia a la prueba mínima del perno [KPsi]	$S_p = 33$	$F_i = 0,75 * A_t * S_p$	
Precarga del perno $F_i = 3,512$ [Kip]			
Fuerza de separación [Klbf]	$F_s = 318,02 \cdot 10^{-3}$	Factor de seguridad $n = 2$	$N_p = \frac{C * n * F_s}{S_p * A_t - F_i}$
Mínimo número de pernos para la base de hierro $N_b = 0,111 \cong 1$ perno			
Mínimo número de pernos para la placa de grilon $N_g = 0,503 \cong 1$ perno			

Debido a su gran diámetro y a su largo total se establece que con 1 perno es suficiente para poder sostener la chumacera, pero existiría un desequilibrio:

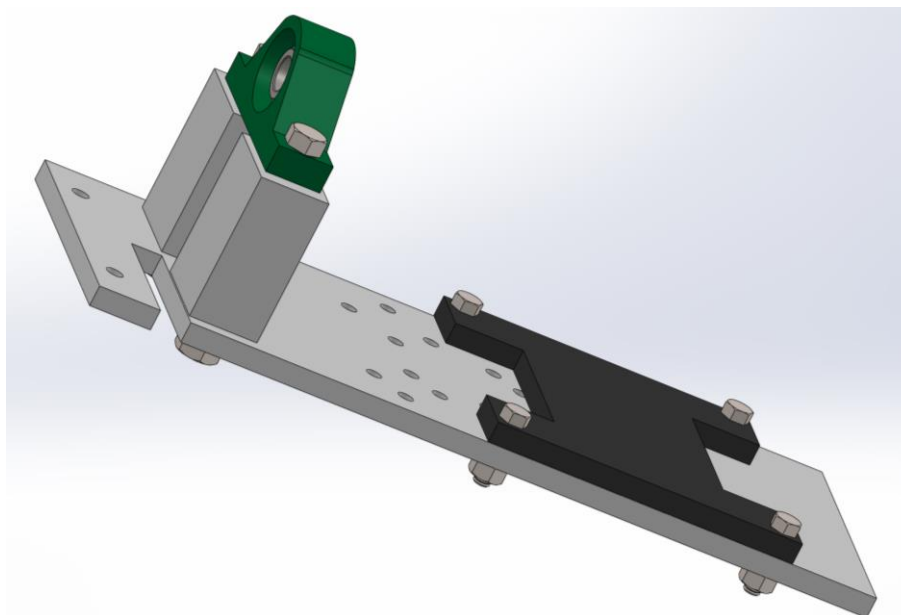


Figura 46. Ensamble base chumacera

Al ver su gran capacidad de rigidez $K_{m_g} = 0,11$ [Mlbf/pulg] (tabla 51) de la lámina grilon PA6, las bases de la chumacera son del mismo material

- **Templador**

Es de funcionamiento opcional y manual que va colocado en la parte inferior derecha, para regular la tensión de la banda, en el caso de que exista un terreno irregular o un peso extra en el cuatrimoto; se lo puede ajustar:

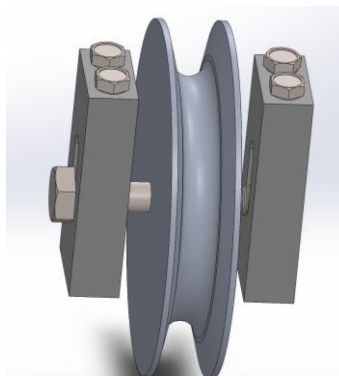


Figura 47. Templador

Para determinar la fuerza a la que están sometidos estos pernos se usó un software de bandas o correas, donde se especifica (ver figura 48):

	New	Used
Defl. Force (lbs)	5,2	3,7
Defl. Dist. (64ths)	11	11
Tension (lbs)	71,1	47,4
Frequency (Hz)	113,0	92,3
Span Length (m)	0,279	
Belt Mass (kg/m)	0,080	

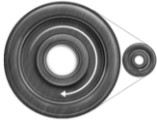



Figura 48. Hoja de resultados por programa de cálculo de bandas
Fuente: (ContiTech, 2018)

Siendo una correa nueva la que se va a implementar, la fuerza de deflexión es de 5,2 [lbf]

Tabla 52

Ecuaciones para el numero de pernos que sostienen el templador

Valores obtenidos		Ecuaciones	
Diámetro del perno [pulg]	$d_p = \frac{1}{4}$	Longitud total del perno [pulg]	$L = 4$
			$L_T = 2 * d_p + \frac{1}{4}$
			$l_d = L - L_T$
			$l_t = l - L_d$
Longitud en contacto [pulg]		$l = 4$	$A_d = \frac{\pi * d^2}{4}$
Long. Total $L_T = 0,75$ [pulg]		Long. no roscada $l_d = 3,25$ [pulg]	
Long. roscada en agarre $l_t = 0,75$ [pulg]		Área de diámetro mayor $A_d = 0,049$ [pulg²]	
Área de esfuerzo en tensión [pulg ²]	$A_t = 0,0318$	Módulo de elasticidad del perno [MPsi]	$E_p = 30$
			$K_b = \frac{A_d * A_t * E_p}{A_d * l_t * A_t * l_d}$
Rigidez del perno $K_b = 0,395$ [Mlbf/pulg]			
Módulo de elasticidad del grilon [MPsi]		$E_g = 0,3$	$K_m = \frac{0,5774 * \pi * E * d_p}{2 * \ln\left(5 * \frac{0,5774 * l + 0,5 * d_p}{0,5774 * l + 2,5 * d_p}\right)}$
Rigidez del elemento placa grilon $K_{mg} = 0,048$ [Mlbf/pulg]			
Constante de rigidez			$C = \frac{K}{K + K_m}$
Constante de rigidez del grilon $C_g = 0,892$			
Continua 			

Resistencia a la prueba mínima del perno [KPsi]	$S_p = 33$	$F_i = 0,75 * A_t * S_p$
Precarga del perno $F_i = 1,918$ [Kip]		
Fuerza de separación [Klbf]	$F_s = 5,2 \cdot 10^{-3}$	Factor de seguridad $n = 2$
		$N_p = \frac{C * n * F_s}{S_p * A_t - F_i}$
Mínimo número de pernos para la placa de grilon $N_g = 2,015 \cong 2$ perno		

Por su bajo esfuerzo de deflexión en la banda se calcula el uso mínimo de 2 pernos

- **Embrague**

El sistema consta de un embrague electromagnético por lo cual se realizó bases para su carcasa

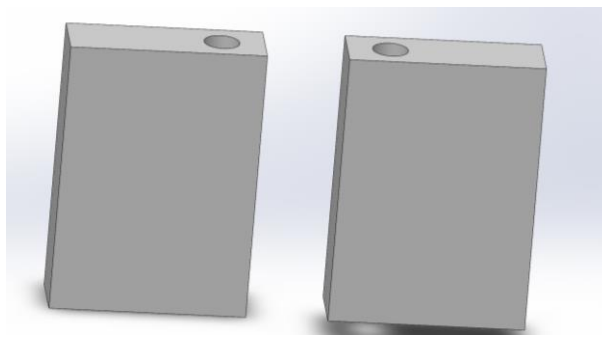


Figura 49. Base del embrague

Esta carcaca tiene 2 orificios y una dimensión de alto de 3 [pulg] que exige pernos de gran longitud para atravesar la carcaca, las bases y la lámina:

Tabla 53

Ecuaciones para el numero de pernos en la base del aluminio

Valores obtenidos		Ecuaciones	
Diámetro del perno [pulg]	$d_p = \frac{3}{8}$	Longitud total del perno [pulg]	$L = 7$
			$L_T = 2 * d_p + \frac{1}{2}$
			$l_d = L - L_T$
Longitud en contacto [pulg]	$l = 6$		$l_t = l - L_d$
			$A_d = \frac{\pi * d^2}{4}$
Long. Total $L_T = 1,25$ [pulg] Long. no roscada $l_d = 5,75$ [pulg]			
Long. roscada en agarre $l_t = 0,25$ [pulg] Área de diámetro mayor $A_d = 0,11$ [pulg²]			
Área de esfuerzo en tensión [pulg ²]	$A_t = 0,0775$	Módulo de elasticidad del perno [MPsi]	$E_p = 30$
			$K_b = \frac{A_d * A_t * E_p}{A_d * l_t * A_t * l_d}$
Rigidez del perno $K_b = 0,543$ [Mlbf/pulg]			
Continua ➔			

Módulo de elasticidad de la placa de grilon [MPsi]	$E_g = 0,3$	Módulo de elasticidad de la chumacera [MPsi]	$E_b = 14,5$	$K_m = \frac{0,5774 * \pi * E * d_p}{2 * \ln \left(5 * \frac{0,5774 * l + 0,5 * d_p}{0,5774 * l + 2,5 * d_p} \right)}$
Rigidez del elemento placa grilon $K_{m_g} = 0,072$ [Mlbf/pulg]				
Rigidez del elemento chumacera $K_{m_b} = 2,486$ [Mlbf/pulg]				
Constante de rigidez				$C = \frac{K}{K + K_m}$
Constante de rigidez del grilon $C_g = 0,883$				
Constante de rigidez de la base metálica $C_b = 0,179$				
Resistencia a la prueba mínima del perno [KPsi]		$S_p = 33$		$F_i = 0,75 * A_t * S_p$
Precarga del perno $F_i = 1,918$ [Kip]				
Fuerza de separación [Klbf]	$F_s = 318,02 \cdot 10^{-3}$	Factor de seguridad	$n = 2$	$N_p = \frac{C * n * F_s}{S_p * A_t - F_i}$
Mínimo número de pernos para la base de aluminio $N_b = 0,178 \cong 1$ perno				
Mínimo número de pernos para la placa de grilon $N_g = 0,879 \cong 1$ perno				

De igual forma que la anterior base se establece un perno para la sujeción, pero por tener 2 bases separadas se dispuso uno en cada una.

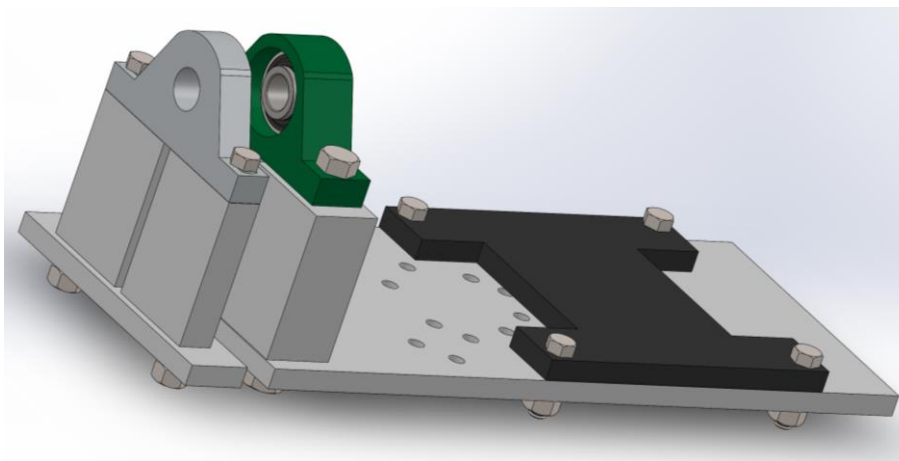


Figura 50. Ensamblaje base del embrague

De esta forma queda diseñada la parte de sujeción para la base del motor, carcasa del embrague y de la chumacera; con la pequeña notación que la base del embrague es esquemática, ya que, en la estructura real varía sus dimensiones, pero esto no afecta al aplicar los esfuerzos de torsión en la simulación CAE

3.4.3. Sistema de transmisión

Usando el principio del sistema convencional del embrague de aire acondicionado, se adaptó el K.E.R.S. para que los puntos donde se aplica la fuerza radial sean de diferentes coordenadas lineales en el eje de referencia.

En la prueba inicial del dinamómetro (ver figura 73) se obtuvo, mediante las curvas características del cuatrimoto a 3000 [rpm], el torque máximo de 13,59 y mínimo 0 [N.m]; dato primordial en el diseño de los ejes:

- **Ejes o flechas**
 - ✓ **Exterior hueco**

El eje exterior está acoplado a la polea de arrastre mediante una presión que crea interferencia

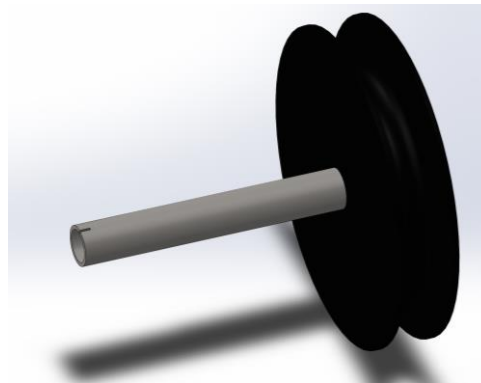


Figura 51. Eje exterior

Se tomo medidas, mediante un calibrador pie de rey como son: el radio de la maza exterior es de 175 [mm], el radio interior del eje hueco es de 75 [mm] y el diámetro de interferencia diametral entre los dos elementos de 3 [mm]; ayudando a determinar el factor de efectos varios a flexión:

Tabla 54

Ecuaciones de la concentración de esfuerzos por interferencia

VALORES OBTENIDOS		ECUACIONES
Interferencia diametral total entre las dos piezas [mm]	$\delta = 3$	$\delta = 2 * \Delta r$
Radio interior de un eje hueco [mm]	$r_i = 7,5$	$= \frac{p}{0,5 * \delta} \left(\frac{r}{E_o} * \left(\frac{r_o^2 + r^2}{r_o^2 - r^2} + \nu_o \right) + \frac{r}{E_i} * \left(\frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} + \nu_i \right) \right)$
Continua		

Radio exterior de la maza [mm]	$r_o = 17,5$	Módulo de Young [GPa]	$E = 207$
Módulo de Poisson [MPa]	$\nu = 0,28$		
Presión que se obtiene a partir de la deformación de los materiales $p = 2522,24$ [MPa]			
Momento [N.m]	$M = 467,08$	Distancia a la fibra exterior [m]	$c = 17,5 * 10^{-3}$
Segundo momento del área [m^4]	$I = 1.1388 * 10^{-3}$		
			$\sigma_{max} = \frac{M * c}{I}$
			$\sigma_{t_{eje}} = -p * \frac{r_o^2 + r_i^2}{r_o^2 - r_i^2}$
			$\sigma_{t_{maza}} = p * \frac{r_o^2 + r^2}{r_o^2 - r^2}$
Esfuerzo flexionante máximo $\sigma_{max} = 7177,55$ [MPa]			
Esfuerzos radiales y tangenciales del eje $\sigma_{t_{eje}} = -4203,73$ [MPa]			
Esfuerzos radiales y tangenciales de la maza $\sigma_{t_{maza}} = 16491,57$ [MPa]			
Factor de efectos varios a flexión	$k_t = 2,4$ $q = 0,5$ $k_f = 1,7$	$k_f = 1 + q * (k_t - 1)$	
Factor de efectos varios a flexión $k_f = 1,7$			

Por un ajuste de interferencia en el eje exterior, se determina el factor de efectos varios a flexión de $k_f = 1,7$ y “en este caso no tiene factor de efectos varios a torsión” (Norton, 2011)

Con un software de simulación al aplicar la fuerza del peso de la masa y del embrague de 13,345 [N] se determinará las reacciones, el esfuerzo cortante y el momento flexionante:

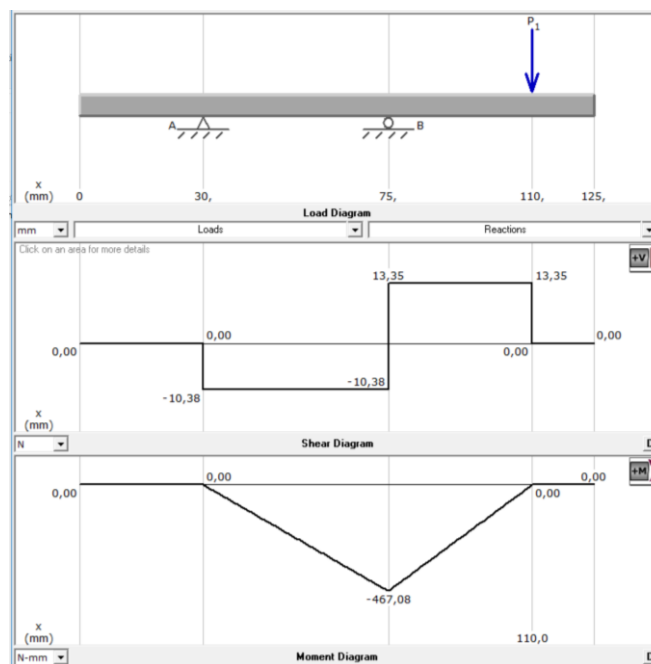


Figura 52. Momento flexionante del eje exterior

Consecuencia de la simulación establecida (ver figura 51) por las cargas en el eje (analizado como barra estática), se obtuvo el momento máximo de -467,08 y mínimo de 0 [N.m].

Tabla 55

Ecuaciones para el diámetro del eje en función del ajuste de interferencia

VALORES OBTENIDOS				ECUACIONES
Torque máximo [N.m]	$T_{m\acute{a}x} = 13,59$	Torque mínimo [N.m]	$T_{m\acute{i}n} = 0$	$T_m = \frac{T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n}}{2}$ $T_a = \frac{T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n}}{2}$
Torque medio $T_m = 6,797$ [N.m]		Torque aparente $T_a = 6,797$ [N.m]		
Momento máximo [N.m]	$M_{m\acute{a}x} = 0$	Momento mínimo [N.m]	$M_{m\acute{i}n} = -467,08$	$M_m = \frac{M_{m\acute{a}x} + M_{m\acute{i}n}}{2}$ $M_a = \frac{M_{m\acute{a}x} - M_{m\acute{i}n}}{2}$
Momento medio $M_m = -233,54 \times 10^{-3}$ [N.m]				
Momento aparente $M_a = 233,54 \times 10^{-3}$ [N.m]				

Acero AISI 1018

$$S_{ut} = 440 \text{ [MPa]}$$

Límite de la resistencia a la fatiga [Mpa]	$S_e = 220$	Factor de modificación de la condición superficial	$a = 1,58$ $b = -0,085$ $k_a = 0,942$	$S_e = 0,5 * S_{ut}$ $S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot S_e$ $k_a = a \cdot S_{ut}^b$ $k_b = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,107}$ $k_c @ \text{flexión}$ $k_d @ 20^\circ\text{C}$ $k_e @ 99\%$
Factor de tamaño	$k_b = 0,91$	Factor de carga	$k_c = 1$	
Factor de temperatura	$k_d = 1,000$	Factor de confiabilidad	$k_e = 0,62$	

Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso $S_e = 116,93$ [Mpa]

Factor de seguridad $n = 5$	$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4 * (K_f * M_a)^2 + 3 * (K_{fs} * T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4 * (K_f * M_m)^2 + 3 * (K_{fs} * T_m)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/2} \right)^{1/3}$
-----------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Diámetro del eje $d = 0,603$ [cm]

El eje exterior al estar sometido a flexión, diferentes factores de corrección, concentración de esfuerzos por su ajuste de interferencia; debe tener un diámetro mínimo de 0,603 cm y de esta forma logra cumplir 10^6 ciclos de vida sin fracturarse

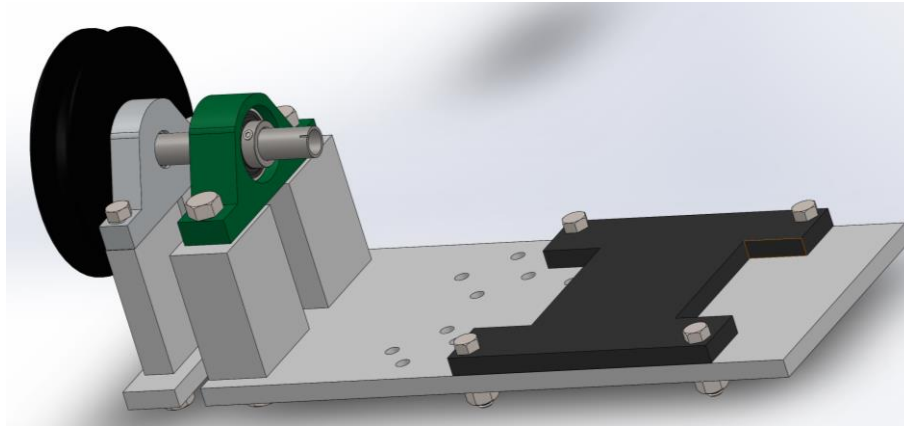


Figura 53. Emsamble eje exterior

✓ Interior

El eje interior está conectado mediante un estriado al plato de embrague y tiene un canal o destaja para colocar un seguro radial y evitar el desplazamiento longitudinal del eje por la fuerza centrífuga que produce al girar

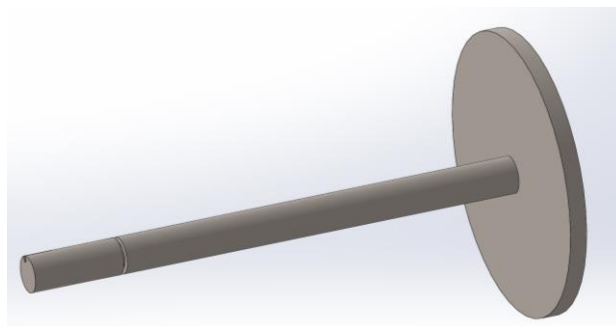


Figura 54. Eje interior

La profundidad del eje a diseñar es de 155 [mm] y al aplicar la fuerza 4,45N por peso del plato del embrague, se hace el estudio como si fuera una viga estática y con la ayuda del programa de simulación generará un diagrama del cuerpo libre (DCL) y determinará las reacciones, el esfuerzo cortante y el momento flexionante como se establece a continuación

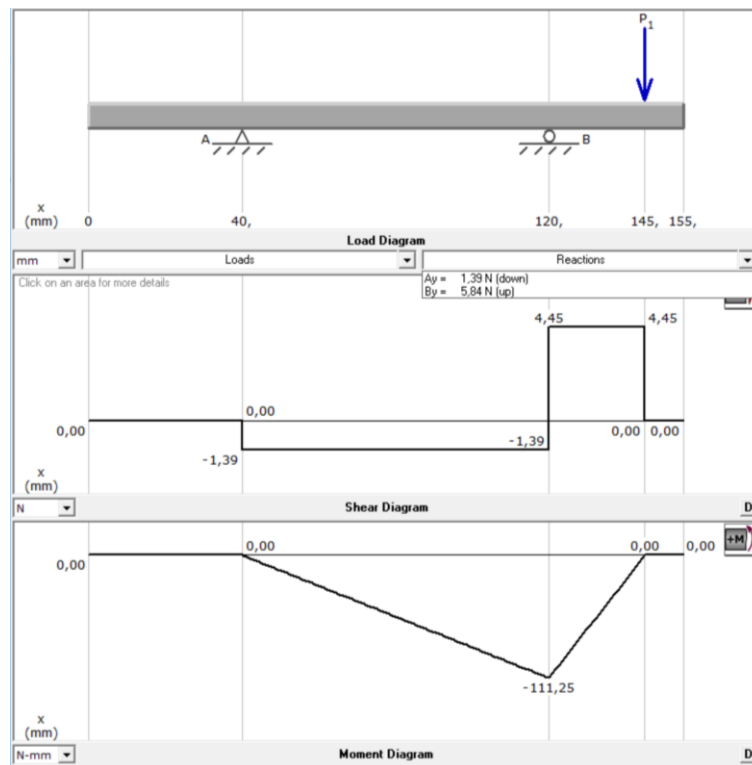


Figura 55. Momento flexionante del eje interior

Después de la simulación establecida se obtuvo el momento máximo de -111,25 y mínimo de 0 [N.m]

Tabla 56

Ecuaciones para el diámetro del eje en función de los destajes para seguros

VALORES OBTENIDOS				ECUACIONES
Torque máximo [N.m]	$T_{m\acute{a}x} = 13,59$	Torque mínimo [N.m]	$T_{m\acute{i}n} = 0$	$T_m = \frac{T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n}}{2}$
				$T_a = \frac{T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n}}{2}$
Torque medio $T_m = 6,797$ [N.m]		Torque aparente $T_a = 6,797$ [N.m]		
Momento máximo [N.m]	$M_{m\acute{a}x} = 0$	Momento mínimo [N.m]	$M_{m\acute{i}n} = -111,25$	$M_m = \frac{M_{m\acute{a}x} + M_{m\acute{i}n}}{2}$
				$M_a = \frac{M_{m\acute{a}x} - M_{m\acute{i}n}}{2}$
Momento medio $M_m = -55,63 \times 10^{-3}$ [N.m]		Momento aparente $M_a = 55,63 \times 10^{-3}$ [N.m]		
Acero AISI 1020 Laminado en caliente		$S_{ut} = 448$ [MPa]		$S_e = 0,5 * S_{ut}$
Límite de la resistencia a la fatiga [Mpa]	$S_e = 224$	Factor de modificación de la condición superficial	$a = 1,58$ $b = -0,085$ $k_a = 0,94$	$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot S_e$
			Continua	$k_a = a \cdot S_{ut}^b$
				$k_b = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,107}$
				$k_c @ \text{flexion}$
				$k_d @ 20^\circ\text{C}$



Factor de tamaño	$k_b = 0,94$	Factor de carga	$k_c = 1$	$k_e @ 99\%$
Factor de temperatura	$k_d = 1,000$	Factor de confiabilidad	$k_e = 0,816$	$k_f = 1 + q \cdot (k_t - 1)$
Factor de efectos varios a flexión	$k_t = 2,3$ $q = 0,58$ $k_f = 1,754$	Factor de efectos varios a torsión	$k_{ts} = 1,8$ $q_{cortante} = 0,9$ $k_{fs} = 1,72$	$k_{fs} = 1 + q_{cortante} \cdot (k_{ts} - 1)$
Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso $S_e = 161,11$ [Mpa]				
Factor de seguridad	$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4 * (K_f * M_a)^2 + 3 * (K_{fs} * T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4 * (K_f * M_m)^2 + 3 * (K_{fs} * T_m)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/2} \right)^{1/3}$			
n = 2				
Diámetro del eje $d = 1,20$ cm				

El eje interior, al estar sometido a flexión, diferentes factores de corrección, concentración de esfuerzos en su destaje para el seguro de retención lateral debe tener un diámetro mínimo de 1,2 cm y de esta forma logra cumplir 10^6 ciclos de vida sin fracturarse

Se debe tomar en cuenta que el eje al tener ranuras y chavetero en el extremo es sinónimo de concentración de esfuerzos, por lo que se aumenta los siguientes cálculos:

Tabla 57

Ecuaciones para el diámetro del eje en función de los destajes para ranuras o chavetas

VALORES OBTENIDOS				ECUACIONES	
Torque aparente [N.m]	$T_a = 6,797$	Torque medio [N.m]	$T_m = 6,797$	$F_a = \frac{T_a}{r}$	$F_m = \frac{T_m}{r}$
				$\tau_a = \frac{F_a}{A_{cortante}}$	$\tau_m = \frac{F_m}{A_{cortante}}$
				$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F_m + F_a}{A_{contacto}}$	
Radio del eje [m]	$r = 6,5 * 10^{-3}$	Área cortante [m ²]	$A_{cortante} = 6 * 10^{-3}$	$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x * \sigma_y + 3 * \tau_{xy}^2}$	
				$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x * \sigma_y + 3 * \tau_{xy}^2}$	
Fuerza aparente $F_a = -1045,69$ [N]				Fuerza media $F_m = 1045,69$ [N]	
Esfuerzo cortante aparente $F_a = -17428,17$ [Pa]					
Esfuerzo cortante medio $F_m = 17428,17$ [Pa]					
Esfuerzo normal máximo $\sigma_{m\acute{a}x} = 43936,55$					
Esfuerzo efectivo de Von Mises aparente y medio $\sigma'_a = \sigma'_m = 30186,48$ [Pa]					
Continua					

Límite de resistencia a la fatiga [MPa]	$S_e = 161,11$	Resistencia máxima del material [MPa]	$S_{ut} = 448$	$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$ $n_y = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x}}$
Resistencia de fluencia por tensión [MPa]			$S_y = 331$	
Factor de seguridad para chavetas $n_f = 3925,02$				
Factor de seguridad por fluencia en ranuras $n_y = 7,53 \cdot 10^{-3}$				
Factor de efectos varios a flexión	$k_t = 2,55$ $q = 0,5$ $k_f = 1,754$	Factor de efectos varios a torsión	$k_{ts} = 1,80$ $q_{cortante} = 0,5$ $k_{fs} = 1,72$	$k_f = 1 + q * (k_t - 1)$ $k_{fs} = 1 + q_{cortante} * (k_{ts} - 1)$
$d = \left\{ \frac{32 \cdot n_f}{\pi} \left[\frac{\sqrt{(k_f \cdot M_a)^2 + \frac{3}{4} (k_{fs} \cdot T_a)^2}}{S_e} + \frac{\sqrt{(k_{fm} \cdot M_m)^2 + \frac{3}{4} (k_{fsm} \cdot T_m)^2}}{S_{ut}} \right] \right\}^{1/3}$				

Diámetro del eje $d = 1,4 \text{ cm}$

Al aplicar la concentración de esfuerzos en área de la chaveta se determina mediante el esfuerzo de Von Mises efectivo, que el diámetro mínimo del eje debe ser de 14 [mm].

- **Embrague**

Para el cálculo de las características del embrague se tomó las medidas de: la longitud correspondiente a $\frac{7}{16}$, radio exterior 4 y radio interior $\frac{3}{4}$ [pulg] mediante una cinta métrica.

El análisis está basado en el mismo régimen para el diseño de ejes; de 3000 rpm del MCI en la que entrega un torque de 9,954 [lb.pie] según el sistema ingles

Tabla 58

Ecuaciones para la capacidad torsional del embrague

VALORES OBTENIDOS		ECUACIONES	
Longitud o profundidad [pulg]	$L_E = \frac{7}{16}$	Radio exterior [pulg]	$r_{1E} = 4$
Radio interior del embrague [pulg]			$r_{2E} = \frac{3}{4}$
Inercia de carga $Wk^2 = 0,84 \text{ [lb. pie}^2\text{]}$			
Variación de numero de revoluciones [rpm]	$\Delta N = 3000$	Tiempo [s]	$t = 0,1$
$CT = \frac{W * k^2 * (\Delta N)}{308 * t}$			
Capacidad torsional $CT = 81,81 \text{ [lb. pie]}$			

La capacidad torsional del embrague es alrededor de 9 veces superior; por ende, se transmite el 100% de par motor en 0,1 [s], al momento que se active el sistema KERS.

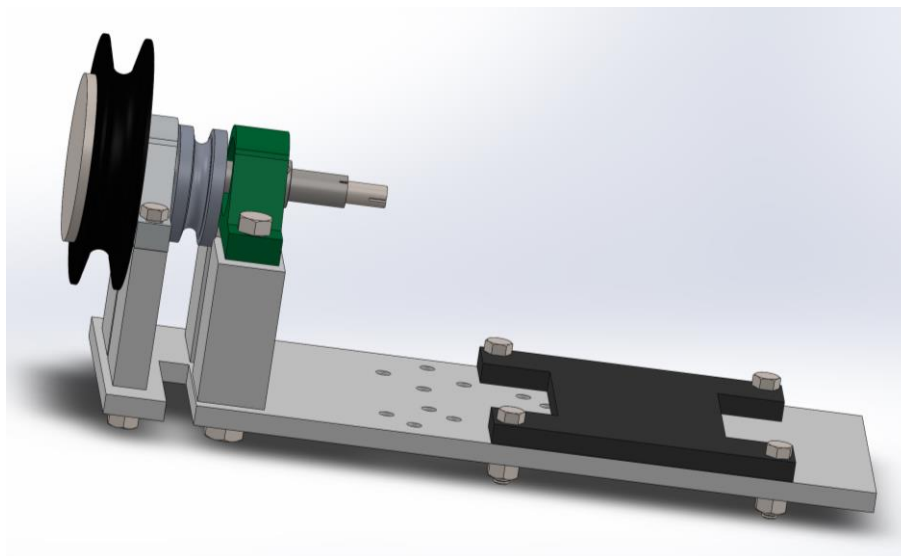


Figura 56. Ensamble eje interior

- **Banda o correa**

Considerando el radio de la polea menor de 1, de la polea mayor 5 y la distancia entre centros de $12\frac{1}{4}$ [pulg] se puede determinar el largo de la correa:

Tabla 59

Ecuaciones para coeficiente de tracción real de una correa

VALORES OBTENIDOS		ECUACIONES
Radio de la polea menor [pulg]	$r_1 = 1$	$L_c = \pi * (r_1 + r_2) + \frac{(r_2 - r_1)^2}{a} + 2 * a$
Radio de la polea mayor [pulg]	$r_2 = 5$	
Distancia entre centros [pulg]	$a = 12\frac{1}{4}$	
Longitud de la correa $L_c = 45,32$ [pulg]		
Torque aplicada en la polea mayor [lb.pie]	$T_2 = 9,954$	$\frac{T_2}{r_2} = \frac{T_1}{r_1}$ $T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2}$ $P_c = T_1 - T_2$ $\varphi = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}$ $\varphi_o = \frac{P_c}{2 * T_0}$
Torque aplicado en la polea menor $T_1 = 1,99$ [lb.pie]		
Tensión inicial $T_0 = 5,972$ [lb.pie]		
Esfuerzo a transmitir $P_c = -7,96$ [lb.pie]		
Coefficiente de tracción real $\varphi = -0,666$		
Coefficiente de tracción teórico $\varphi_o = -0,666$		

Al aplicar el torque máximo de 9,954 [lb.pie] en ambos ramales de la banda se determina, según la relación o ecuación 47, que la capacidad de tracción es óptima, trabaja de forma estable y su desgaste es uniforme

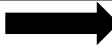
- **Jaula**

Para su moldura se seleccionó el perfil circular hueco, porque al tener fuerzas o desplazamiento en las 3 dimensiones su distribución de cargas es equiparado; gracias a que este tipo de estructura no tiene puntos de concentración de esfuerzo

El radio del perfil es de $\frac{13}{32}$ [pulg], por lo que se especificó la longitud de los pernos de 2 [pulg] y el diámetro donde se ubicarán es de $\frac{3}{8}$ [pulg]

Tabla 60

Ecuaciones para el numero de pernos que sostienen la jaula

Valores obtenidos		Ecuaciones	
Diámetro del perno [pulg]	$d_p = \frac{3}{8}$	Longitud total del perno [pulg]	$L = 2$
			$L_T = 2 * d_p + \frac{1}{4}$
			$l_d = L - L_T$
Longitud en contacto [pulg]		$l = 1$	$l_t = l - L_d$
			$A_d = \frac{\pi * d^2}{4}$
Long. Total $L_T = 1$ [pulg]		Long. no roscada $l_d = 1$ [pulg]	
Long. roscada en agarre $l_t = 0$ [pulg]		Área de diámetro mayor $A_d = 0,11$ [pulg²]	
Área de esfuerzo en tensión [pulg ²]	$A_t = 0,0775$	Módulo de elasticidad del perno [MPsi]	$E_p = 30$
			$K_b = \frac{A_d * A_t * E_p}{A_d * l_t * A_t * l_d}$
Rigidez del perno $K_b = 3,313$ [Mlbf/pulg]			
Módulo de elasticidad del chasis [MPsi]	$E_t = 14,5$	Módulo de elasticidad del tubo estructural [MPsi]	$E_b = 14,5$
			$K_m = \frac{0,5774 * \pi * E * d_p}{2 * \ln \left(5 * \frac{0,5774 * l + 0,5 * d_p}{0,5774 * l + 2,5 * d_p} \right)}$
Rigidez del elemento placa grilon $K_{m_t} = 5,325$ [Mlbf/pulg]			
Rigidez del elemento chumacera $K_{m_b} = 5,325$ [Mlbf/pulg]			
Constante de rigidez			$C = \frac{K}{K + K_m}$
Continua			

Constante de rigidez del grilon $C_t = 0,384$				
Constante de rigidez de la base metálica $C_b = 0,384$				
Resistencia a la prueba mínima del perno [KPsi]		$S_p = 33$		$F_i = 0,75 * A_t * S_p$
Precarga del perno $F_i = 1,918$ [Kip]				
Fuerza de separación [Klbf]	F_s $= 63.10^{-3}$	Factor de seguridad	$n = 2$	$N_p = \frac{C * n * F_s}{S_p * A_t - F_i}$
Mínimo número de pernos para el chasis $N_b = 3,075 \cong 3$ perno				
Mínimo número de pernos para el tubo estructural $N_t = 3,075 \cong 3$ perno				

Por acción del peso de todos los elementos juntos, la jaula está sometida a 63 lbf de separación, lo que nos da como resultado el uso mínimo de 3 pernos para contrarrestar los esfuerzos cortantes a los que están sometidos los pernos

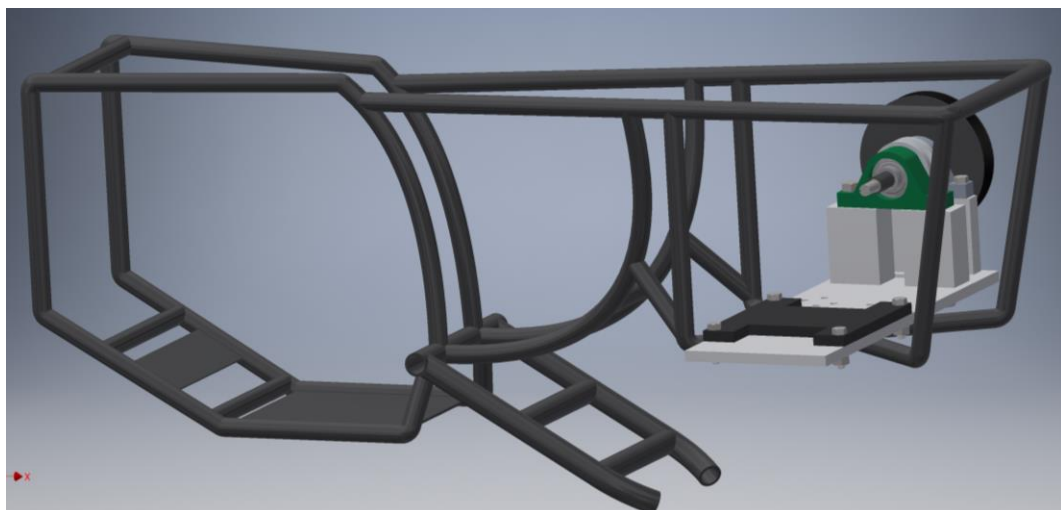


Figura 57. Ensamble K.E.R.S en bastidor estándar

3.4.4. Simulación CAE

- **Base del sistema K.E.R.S.**

Para determinar la flexión máxima de la base del sistema K.E.R.S se aplicó en la polea, el torque de 13,59 [N.m] que genera el cuatrimoto a 3000 rpm como se establece en el anexo 6

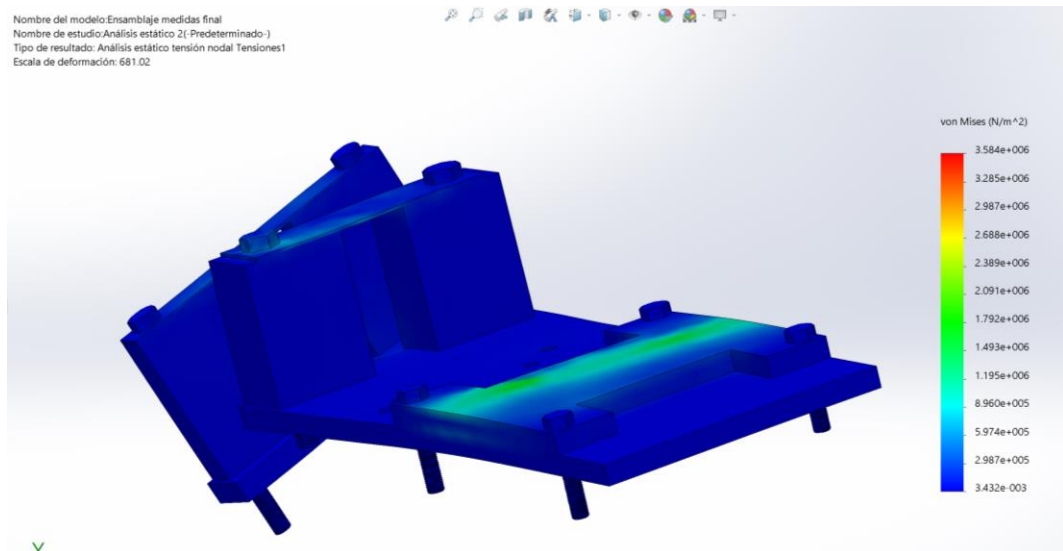


Figura 58. Esfuerzo de Von Mises en la base del sistema KERS

En este análisis (ver figura 38) se verificó que el esfuerzo promedio de Von Mises es de 1,79 MPa y no supera “el esfuerzo cortante máximo que soporta el material Poliamida 6 - Grillon de 44,13 MPa” (Industrias JQ, 2016); razón por la cual, no pasa del límite elástico en ningún punto.

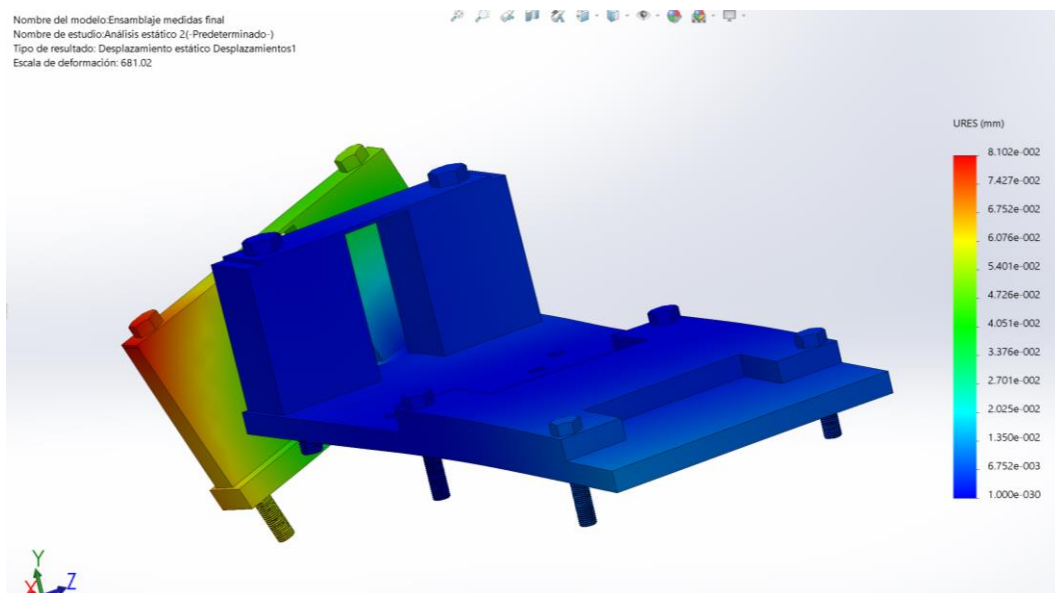


Figura 59. Desplazamiento de la base por acción de los esfuerzos

Generado un desplazamiento en el eje Y de apenas 0,081 [mm] pero la perspectiva que usa el software es visualmente exagerada.

- **Bastidor con jaula**

Se aplica los esfuerzos iniciales como es: el peso del K.E.R.S 63 [lbf], el par torsional en la polea de 13,59 [N.m]. Para determinar, comprobar y establecer que los esfuerzos aplicados no fracturen la estructuras.

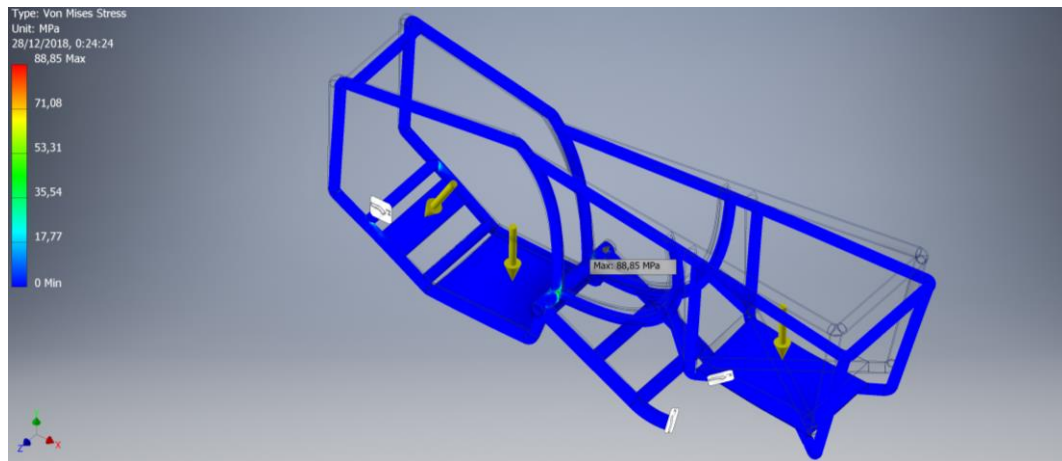


Figura 60. Bastidor con esfuerzos del sistema K.E.R.S

Mediante esta simulación del chasis (ver figura 59) se determina que el esfuerzo máximo de Von Mises, aplicando todo el peso de la estructura, esta de 88,85 MPa en los puntos más críticos; pero “el material Acero al carbón AISI 1020 al soportar un esfuerzo cortante máximo de 393 [MPa]” (Mott, 1997) no fractura el chasis al aplicar el peso total de la estructura

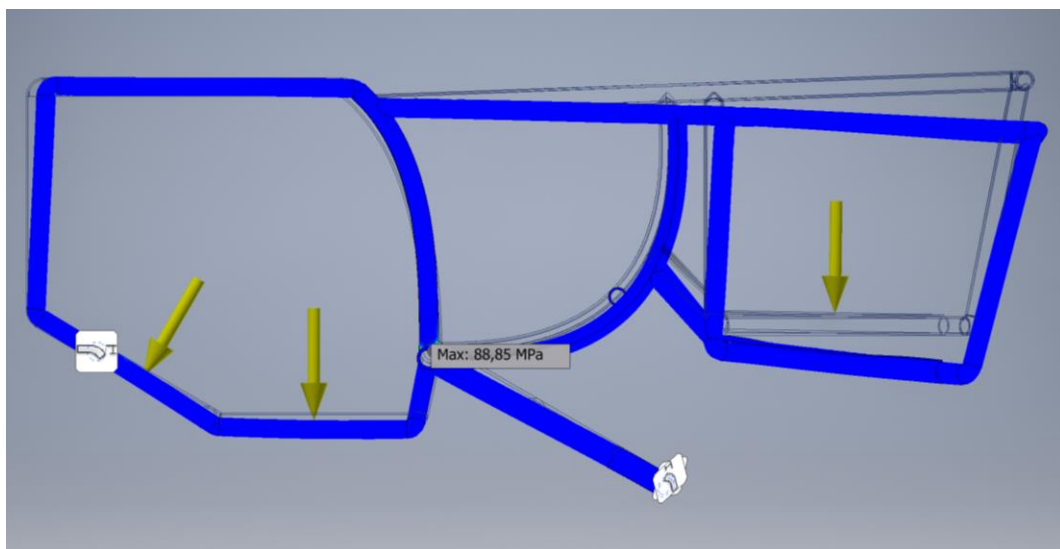


Figura 61. Desplazamiento del bastidor por acción de los esfuerzos

De igual forma la perspectiva de desplazamiento es exagerada porque al aplicar la fuerza de 35,54 MPa apenas se desplaza en el eje Y 1,198 [mm]

Finalmente se simuló el peso de una persona promedio con 140 [lbf], aplicados en los transversales superiores donde va el asiento

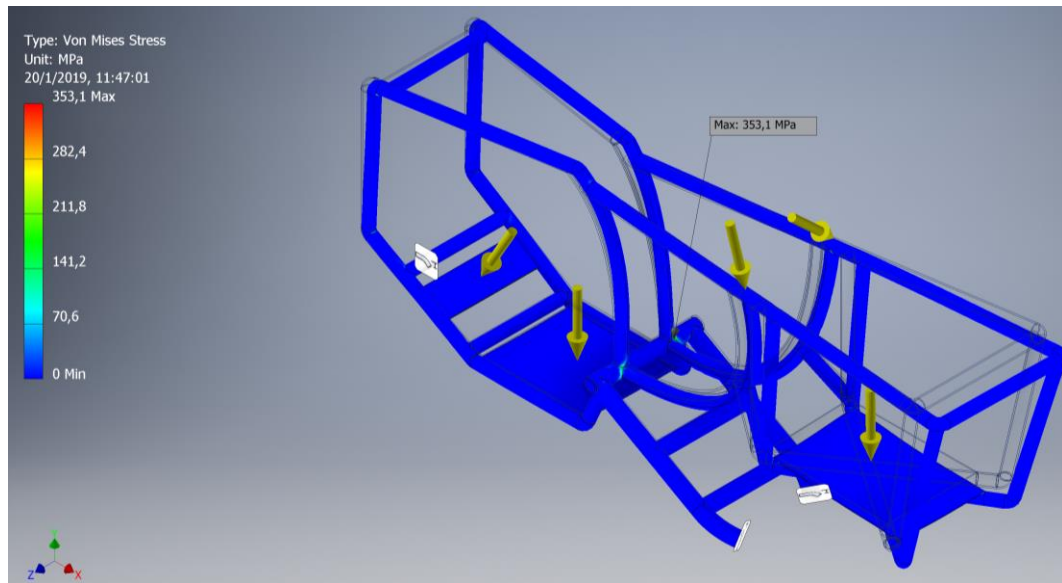


Figura 62. Bastidor aplicado esfuerzo del K.E.R.S y conductor

Se aprecia como el esfuerzo máximo de Von Mises sube hasta 353,1 [MPa] acercándose al límite elástico de 393 [MPa] del Acero AISI 1020, lo que nos sirvió para escoger el modelo de MG con menor peso de 43[lbf]

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para determinar los ensayos de descarga rápida, aceptación de carga, y capacidad de reserva; en función de la intensidad y tensión, por parte de las baterías HV y LVE, en un banco de pruebas y en sus etapas de trabajo del sistema K.E.R.S. (modo motor y generador) se utilizó la norma INEN 1498_89.

Para las pruebas dinamométricas (curvas características) del cuatrimoto con propulsión térmica e híbrida se usó la norma NTE INEN 960.

Para la realización de las pruebas consumo de combustible es necesario conocer los protocolos de conducción WLTP, el cual tiene una distancia de 14,64 [km], duración de 24,61 [min] y velocidad media de 35,70 km/h; en condiciones de variación de altura (pendientes) del trayecto para que permita poner en funcionamiento el K.E.R.S

4.1. Puesta a punto del cuatrimoto

Se realizó el mantenimiento de los sistemas: alimentación, eléctrico, frenos, etc., para que el vehículo se encuentre en óptimas condiciones antes de iniciar la etapa de pruebas

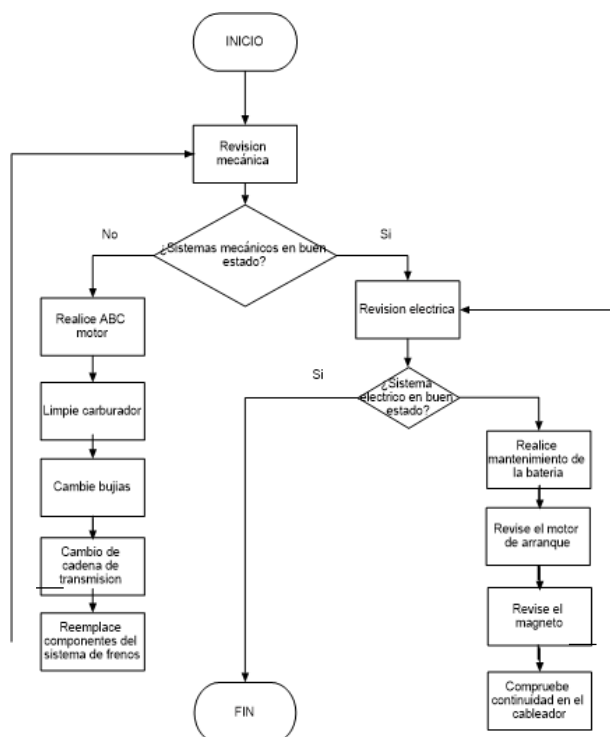


Figura 63. Diagrama de flujo puesta a punto cuatrimoto

4.2. Descarga rápida baterías HV en banco de pruebas

El ensayo se realizó en un banco de pruebas que tiene un consumidor 50 [W] de potencia, cuya intensidad de arranque es de 5,21 [A] tabla 61:

Tabla 61

Calculo potencia consumidor banco de pruebas

VALORES OBTENIDOS			ECUACIONES
Potencia [W]	$P = 50$	Tensión nominal [V]	$P = V \cdot I$
		$V = 9,6$	$I = \frac{P}{V}$
Intensidad del consumidor $I = 5,21$ [A]			

La prueba se realizó en cada pack de baterías HV en intervalo de 0,5 [min], registrando los siguientes valores:

Tabla 62

Descarga rápida batería HV en banco de pruebas

Tiempo (min)	Tensión [V]		
	PACK 1	PACK 2	PACK 3
0	9,85	10,01	9,85
0,5	8,01	9,25	9,31
1	7,77	8,80	9,05
1,5	7,57	8,22	8,74
2	7,10	7,70	8,33
2,5	6,50	6,20	7,44
3	5,90	4,30	5,70
3,5	5,73	3,76	5,47
4	5,41	--	4,94
4,5	4,90	--	3,90
5	3,87	--	3,38

El pack de baterías HV deberían tener un decrecimiento casi lineal después de su descarga de arranque:

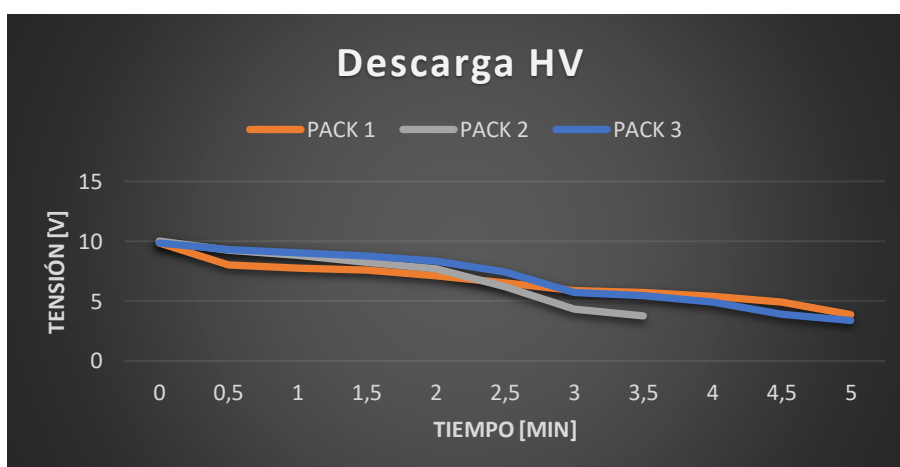


Figura 64. Descarga rápida baterías HV en banco de pruebas

Pero en la figura 64 se aprecia que el pack 1 y 3 son los que está en mejor estado, por la forma lineal de su descarga. En cambio, el pack 2 está en mal estado porque decrece abruptamente y su tiempo de descarga es menor en un 25% con relación a los otros packs

4.3. Aceptación de carga baterías HV banco de pruebas

El banco de pruebas está diseñado para suministrar una intensidad de carga, en el arranque, de 2[A]

Tabla 63

Aceptación de carga baterías HV en banco de pruebas

Tiempo (min)	Tensión [V]		
	PACK 1	PACK 2	PACK 3
0	3,87	3,31	3,38
0,25	9,95	10,44	10,00
0,5	10,22	10,72	10,33
0,75	10,54	10,85	10,51
1	10,70	10,98	10,68
1,25	10,81	11,09	10,81
1,5	10,92	11,17	10,93
1,75	10,99	11,23	11,03
2	11,08	--	11,11
2,25	11,12	--	11,18
2,5	11,20	--	11,25

La prueba se realizó en cada pack de baterías HV en intervalo de 0,25 [min], para que se aprecien la variación de valores en la gráfica 65 de la siguiente manera:

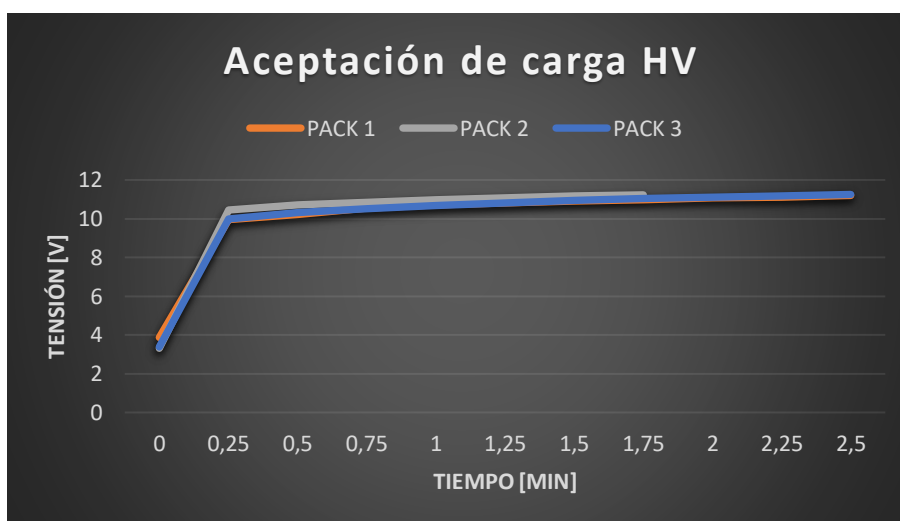


Figura 65. Aceptación de carga baterías HV en banco de pruebas

De igual forma que en la descarga rápida de las baterías HV resalta el mal estado del pack 2, porque aumenta su tensión rápidamente y llega al valor máximo en un 25% menos tiempo, con relación a los otros packs

4.4. Capacidad de reserva baterías HV banco de pruebas

Esta capacidad se determinará, esperando que la tensión se estabilice, en un tiempo determinado

Tabla 64

Capacidad de reserva baterías HV banco de pruebas

Tiempo (min)	Tensión [V]		
	PACK 1	PACK 2	PACK 3
0	11,25	11,23	11,20
0,25	11,00	10,96	11,07
0,5	10,94	10,91	11,00
0,75	10,90	10,87	10,92
1	10,88	10,84	10,86
1,25	10,85	10,83	10,82
1,5	10,84	10,81	10,80
1,75	10,82	10,80	10,77
2	10,81	10,80	10,76
2,25	10,80	10,79	10,75
2,5	10,73	10,65	10,66

La prueba se realizó en cada pack de baterías HV en intervalo de 0,25 [min], para que se aprecien la variación de valores en la gráfica 66 de la siguiente manera:

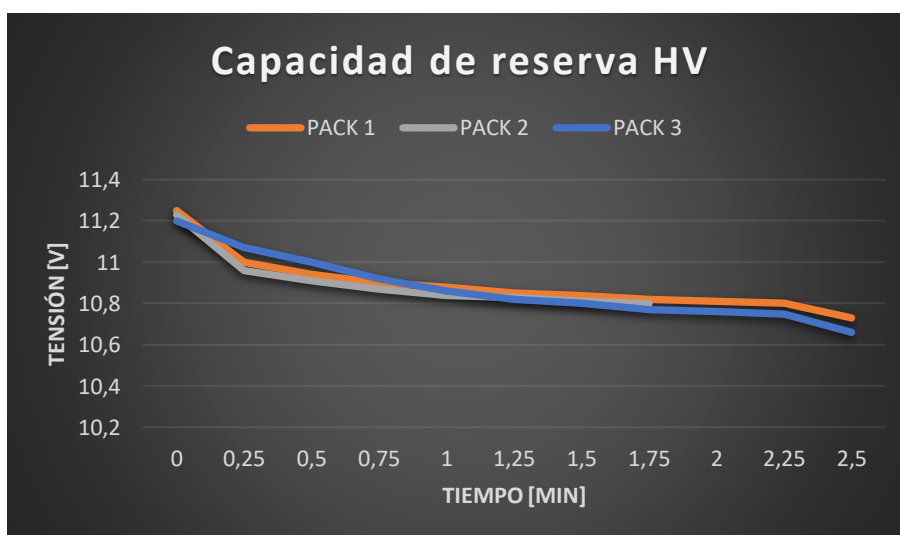


Figura 66. Capacidad de reserva baterías HV banco de pruebas

A pesar de su mal estado del pack 2, se nota que la capacidad de reserva es igual para los 3 packs, por lo que en futuras pruebas no se puede considerar este valor como referencia del estado de una batería

4.5. Descarga rápida y aceptación de carga batería LVE en banco de pruebas

Se procede a comparar la variación, en el tiempo que se demora la batería LV en regresar a su tensión nominal, por acción del arranque del MCI a temperatura ambiente y temperatura optima de funcionamiento.

Tabla 65

Descarga rápida y aceptación de carga batería LVE en banco de pruebas

Tiempo [seg]	Arranque a temperatura ambiente [V]	Arranque a temperatura optima de funcionamiento [V]	Tiempo [seg]	Arranque a temperatura ambiente [V]	Arranque a temperatura optima de funcionamiento [V]
0	12,39	12,39	13	12,17	--
1	9,47	9,92	14	12,18	--
2	11,27	11,5	15	12,20	--
3	11,66	12,33	16	12,21	--
4	11,89	12,39	17	12,19	--
5	11,95	12,48	18	12,21	--
6	12,00	12,52	19	12,24	--
7	12,00	--	20	12,25	--
8	12,04	--	21	12,27	--
9	12,05	--	22	12,28	--
10	12,10	--	23	12,30	--
11	12,13	--	24	12,32	--
12	12,15	--	25	12,37	--

La prueba se realizó en intervalo de 1 [min], para no tener muchos valores y/o repetitivos como se nota en la siguiente gráfica 67:

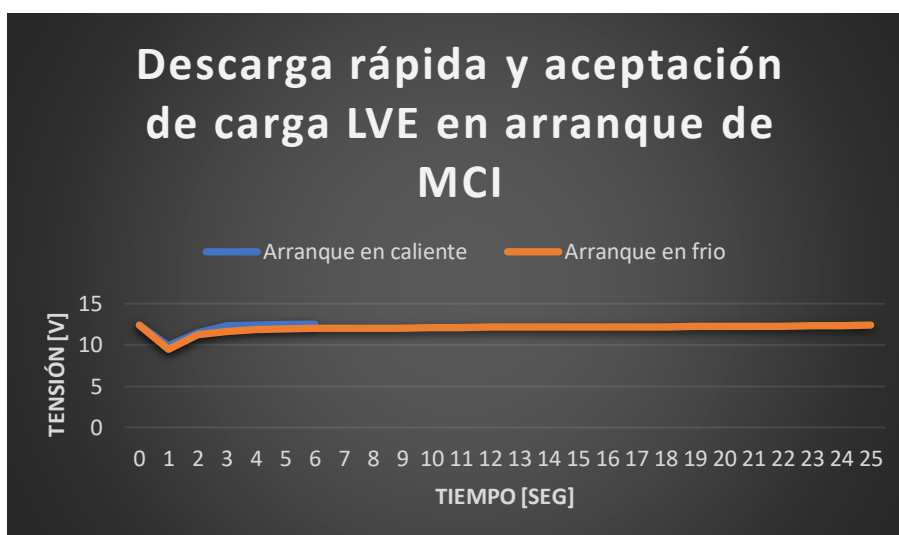


Figura 67. Descarga rápida y aceptación de carga batería LVE en cuatrimoto

El tiempo que se demora en recuperar su tensión nominal la batería HV a temperatura ambiente es un 60% más lenta que, a temperatura optima de funcionamiento del MCI

4.6. Modo motor

En esta etapa las baterías HV se somete a una gran descarga de arranque por ser un motor de jaula de ardilla

4.6.1. Descarga rápida baterías HV

Para realizar la descarga o alimentación del motor, inicialmente se tiene la tensión de 29,27 [V]

Tabla 66

Descarga rápida baterías HV en K.E.R.S

Tiempo (s)	Tensión [V]	Intensidad [A]
0	29,27	0
1	19,83	55,93
2	14,1	16,77
3	7,16	11,59
4	6,15	10,56
5	5,103	12,85
6	5,106	14,09
7	5,008	12,99
8	4,963	13,13
9	4,862	13,44
10	4,765	13,45

La prueba se realizó en 10 [seg] en intervalos de 1, debido a la alta intensidad que consume en el arranque 55,93[A]:

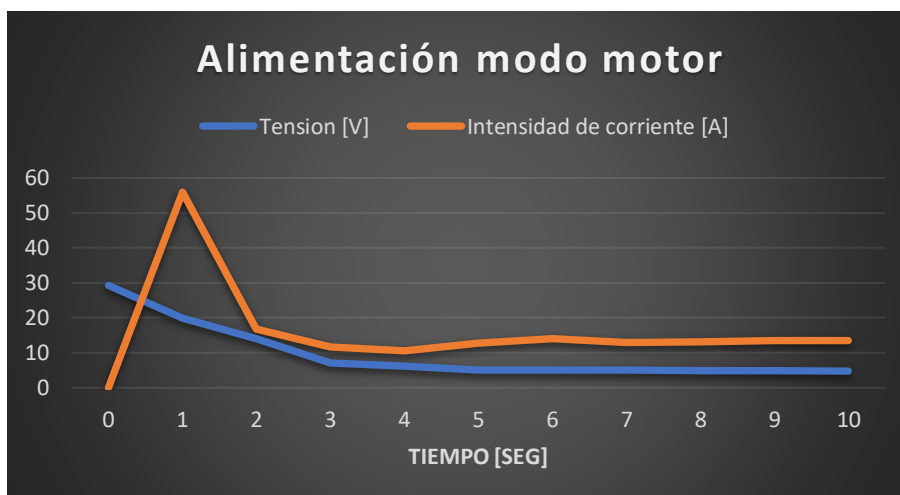


Figura 68. Descarga rápida baterías HV en K.E.R.S

Se aprecia en la figura 67: la tensión tiene una caída logarítmica negativa, mientras que la intensidad tiene el pico de intensidad 55,93 [A] al 1 [seg], decae el 70,02% en 1 [seg] y tiene una entrega lineal promedio de corriente 11,34 [A] durante los 8[seg] restantes de trabajo.

4.6.2. Capacidad de reserva baterías HV

La capacidad de reserva de las baterías está relacionada directamente con la tensión nominal

Tabla 67

Capacidad de reserva baterías HV modo motor

t	V	t	V	t	V	t	V
[s]	[V]	[s]	[V]	[s]	[V]	[s]	[V]
0	9,986	12	26,04	24	27,01	36	28,19
1	10,81	13	26,11	25	27,09	37	28,27
2	15,94	14	26,22	26	27,16	38	28,34
3	19,27	15	26,27	27	27,21	39	28,45
4	20,82	16	26,48	28	27,35	40	28,49
5	22,13	17	26,5	29	27,41	41	28,58
6	23,86	18	26,59	30	27,51	42	28,64
7	24,36	19	26,64	31	27,62	43	28,72
8	24,98	20	26,68	32	27,75	44	28,74
9	25,14	21	26,71	33	27,87	45	28,81
10	25,42	22	26,76	34	28,03	46	28,86
11	25,68	23	26,8	35	28,12	--	--

La prueba se realizó durante 46 [seg] en intervalos de 1, debido a su recuperación de tensión es progresivo cada segundo:

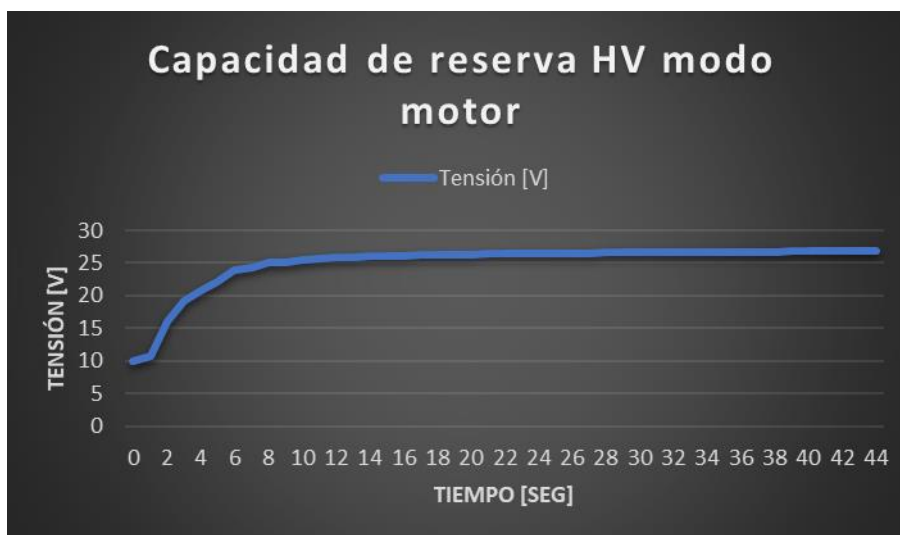


Figura 69. Capacidad de reserva baterías HV modo motor

La reserva de las baterías HV en el primer intervalo de 8 [seg] es alto porque recupera el 53% de su capacidad y en los 38 [seg] (triple) de tiempo restante recupera el 47%.

4.6.3. Descarga rápida batería LVE

La batería LVE en esta etapa solo se encarga de suministrar tensión a la bobina del embrague y al mando electromagnético que da paso desde las baterías HV al motor

Tabla 68

Descarga rápida batería LVE modo motor

Tiempo [seg]	Tensión [V]	Intensidad [A]
0	12,81	0
1	12,79	6,81
2	12,71	7,04
3	12,68	7,1
4	12,62	7,08
5	12,59	7,06
6	12,56	7,06
7	12,55	7,07
8	12,55	7,04
9	12,54	7,03
10	12,51	7,01

La prueba se realizó durante el mismo tiempo que trabaja el motor de 10 [seg] table 66, porque los dos deben ir par para poder transmitir la potencia desde el MG al cuatrimoto

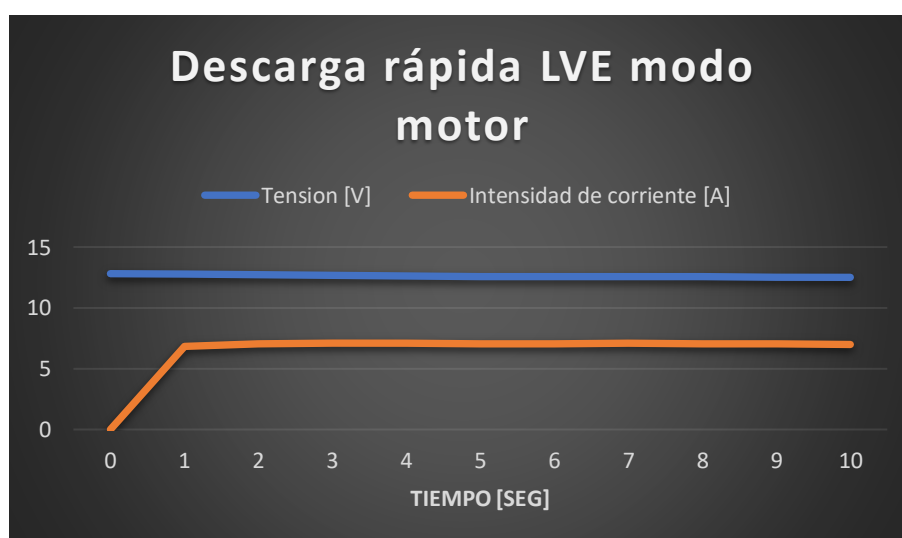


Figura 70. Descarga rápida batería LVE modo motor

Por la baja carga a la que está sometida la batería LVE en etapa de motor, su tensión decae apenas el 2,34% y su intensidad varía 2,85% después del arranque

4.7. Modo generador

Al ser un MG de excitación dependiente, en esta etapa la batería LVE se somete a una gran descarga de arranque

4.7.1. Descarga rápida baterías LVE

Como se explicó en el capítulo 3 de diseño, se comienza con la excitación o descarga rápida de la batería LVE para el generador

Tabla 69

Descarga rápida baterías LVE modo generador

t	V	I	t	V	I	t	V	I	t	V	I
[s]	[V]	[A]	[s]	[V]	[A]	[s]	[V]	[A]	[s]	[V]	[A]
0	12,81	0	12	10,26	18,84	24	10,04	15,72	36	9,68	14,2
1	12,78	39,19	13	10,24	18,52	25	9,99	15,94	37	9,66	14,1
2	10,69	25,91	14	10,21	17,33	26	9,97	15,78	38	9,64	14,0
3	10,7	25,67	15	10,24	17,06	27	9,93	15,25	39	9,65	13,7
4	10,59	25,45	16	10,21	16,65	28	9,92	15,09	40	9,68	13,2
5	10,53	24,97	17	10,18	16,64	29	9,9	15,12	41	9,71	13,2
6	10,47	24,66	18	10,16	16,48	30	9,88	15,12	42	9,79	13,3
7	10,41	24,35	19	10,13	16,47	31	9,86	14,93	43	9,85	13,4
8	10,36	21,5	20	10,09	16,46	32	9,81	14,85	44	9,85	13,3
9	10,34	19,9	21	10,06	16,18	33	9,74	14,46	45	9,82	13,3
10	10,32	19,65	22	10,05	15,95	34	9,73	14,16	46	9,8	13,1
11	10,28	19,29	23	10,06	15,72	35	9,7	14,23	--	--	--

El tiempo que debe estar excitado el generador para poder cargar las baterías es 46 [seg], y se apuntó los valores cada segundo para notar su alta variación:

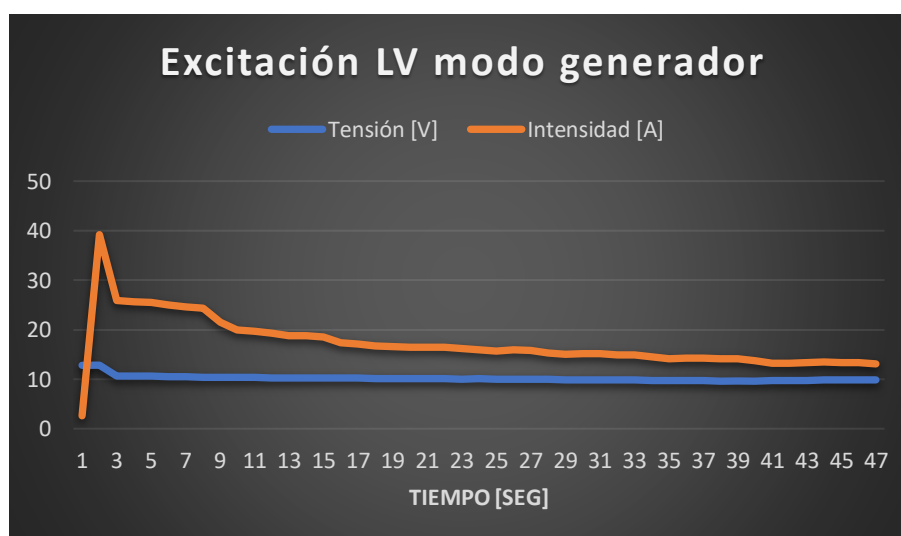


Figura 71. Descarga rápida baterías LVE modo generador

Se aprecia en la figura 70: la tensión tiene una caída logarítmica negativa, mientras que la intensidad tiene el pico de intensidad 39,19 [A] al 1 [seg], decae 33,87% en 1 [seg] pero la mantiene durante 5 [seg] y tiene una entrega lineal promedio de corriente 10,13 [A] durante los 38[seg] restantes de trabajo.

4.7.2. Aceptación de carga baterías HV

Tabla 70

Aceptación de carga baterías HV modo generador

t	V	I	t	V	I	t	V	I	t	V	I
[s]	[V]	[A]	[s]	[V]	[A]	[s]	[V]	[A]	[s]	[V]	[A]
0	26,81	0	12	29,07	2,67	24	29,59	2,73	36	29,91	2,71
1	27,32	2,79	13	29,14	2,68	25	29,63	2,74	37	29,94	2,72
2	27,44	2,58	14	29,19	2,67	26	29,66	2,76	38	29,96	2,75
3	27,68	2,54	15	29,25	2,67	27	29,7	2,75	39	29,97	2,75
4	27,95	2,55	16	29,3	2,68	28	29,73	2,71	40	29,99	2,71
5	28,17	2,67	17	29,35	2,7	29	29,76	2,7	41	30,01	2,62
6	28,37	2,72	18	29,4	2,7	30	29,79	2,71	42	30,04	2,68
7	28,55	2,73	19	29,43	2,68	31	29,8	2,72	43	30,06	2,68
8	28,68	2,76	20	29,46	2,74	32	29,81	2,75	44	30,09	2,65
9	28,81	2,78	21	29,5	2,66	33	29,83	2,75	45	30,11	2,65
10	28,91	2,76	22	29,54	2,65	34	29,86	2,71	46	30,12	2,65
11	28,99	2,72	23	29,56	2,68	35	29,89	2,7	--	--	--

El mismo tiempo que debe estar excitado el generador por parte de la LVE 46 [seg] estarán recibiendo la carga las baterías HV, creando una gráfica (ver figura 71) mediante una hoja de cálculo:

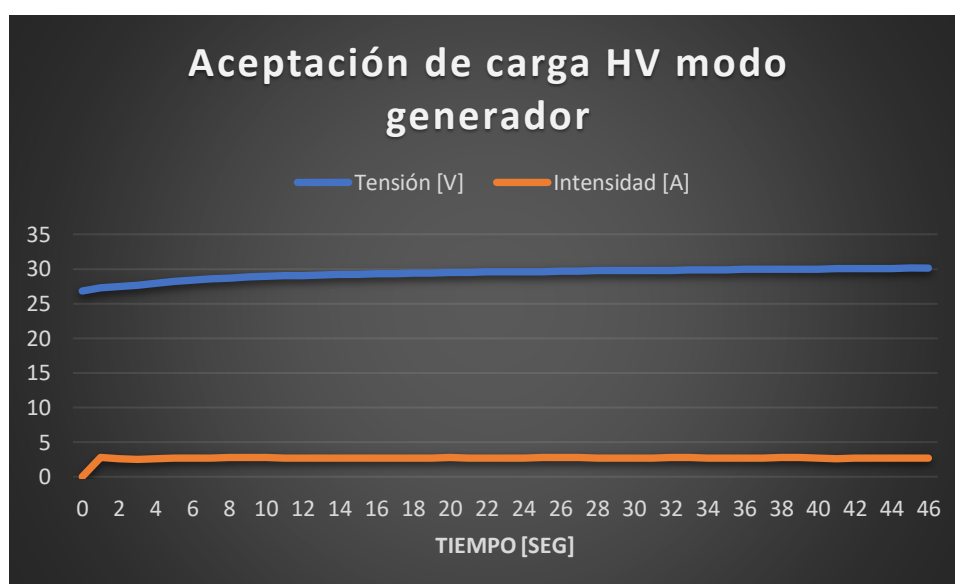


Figura 72. Aceptación de carga baterías HV modo generador

Al tener el excesivo consumo de 55,93 [A] por parte del motor, la capacidad de recuperación de las baterías HV decae 7,10 % con relación a los datos de la tabla 67 porque se esperó solo 20[seg] para activar el generador; ya que, en la prueba de trayectoria los intervalos en el que no se activa el K.E.R.S es menor a 46 [seg].

Y las variaciones son casi estables: en el caso de la intensidad de corriente tiene una oscilación máxima de 6,1% y la tensión aumenta 10,98%

4.7.3. Aceptación de carga batería LVE

Finalmente, después de excitar el generador la batería LVE debe recuperar su tensión nominal en el siguiente tiempo:

Tabla 71

Aceptación de carga batería LVE

t	V	I	t	V	I	t	V	I
[s]	[V]	[A]	[s]	[V]	[A]	[s]	[V]	[A]
0	9,8	0	11	11,9	3,31	22	12,14	3,46
1	11,4	2,42	12	11,91	3,34	23	12,15	3,45
2	11,51	2,26	13	11,93	3,36	24	12,16	3,44
3	11,61	2,13	14	11,94	3,37	25	12,17	3,46
4	11,71	2,2	15	11,97	3,41	26	12,18	3,54
5	11,74	2,26	16	12,06	3,48	27	12,19	3,61
6	11,8	2,44	17	12,07	3,48	28	12,2	3,57
7	11,82	3,06	18	12,08	3,44	29	12,25	3,43
8	11,84	3,01	19	12,09	3,46	30	12,33	3,57
9	11,86	3,23	20	12,1	3,46	--	--	--
10	11,9	3,32	21	12,12	3,45	--	--	--

Para recuperar la tensión nominal 12,39 de la batería LVE, especificada en la tabla 65, se demoró un lapso de 30 [seg]; recopilando los datos cada segundo:

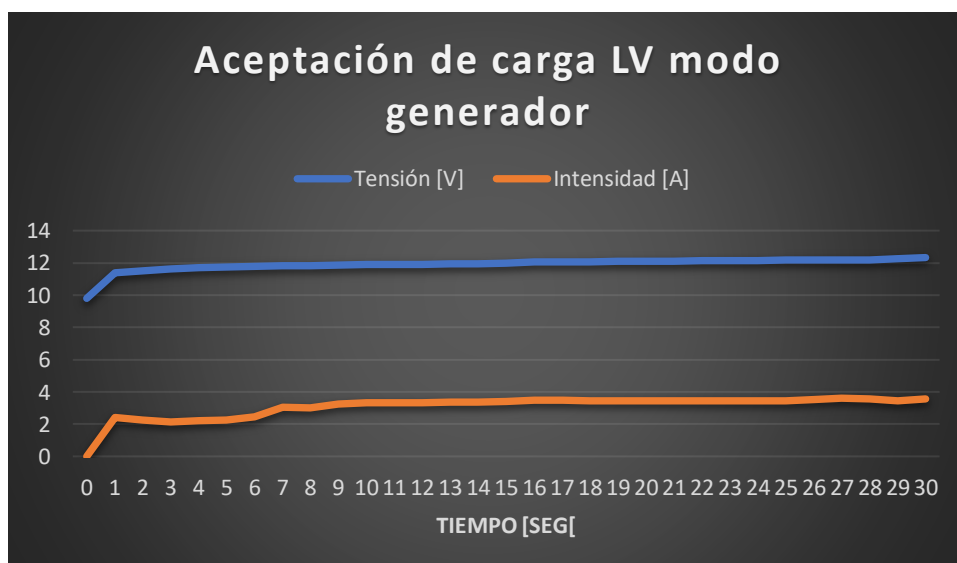


Figura 73. Aceptación de carga batería LVE

Después de su descarga en la excitación del generador, empieza la carga automática por parte del magneto del cuatrimoto. En el primer [seg] la tensión aumenta el 7,54% y en los 29 [seg] restantes alcanza su tensión nominal 12,33[V].

La intensidad aumenta 32,96 % durante el primer segundo y en el tiempo restante tiene una oscilación máxima de 1,44 [A].

4.8. Dinamométricas

Para poder realizar esta prueba primero se especifica la relación de transmisión de 13,07; desde las [RPM] del MCI sobre las del banco dinamométrico.

Por diversos tipos de desgastes o rozamientos en el sistema de transmisión del vehículo, se establece un porcentaje de pérdidas 15[%]

4.8.1. Propulsión térmica

Esta prueba se realizó para obtener los datos de entrada o iniciales para los cálculos de los componentes del K.E.R.S como: diámetro de ejes con su número de ciclos de trabajo, capacidad torsional del embrague y esfuerzo de Von Mises sus respectivas bases

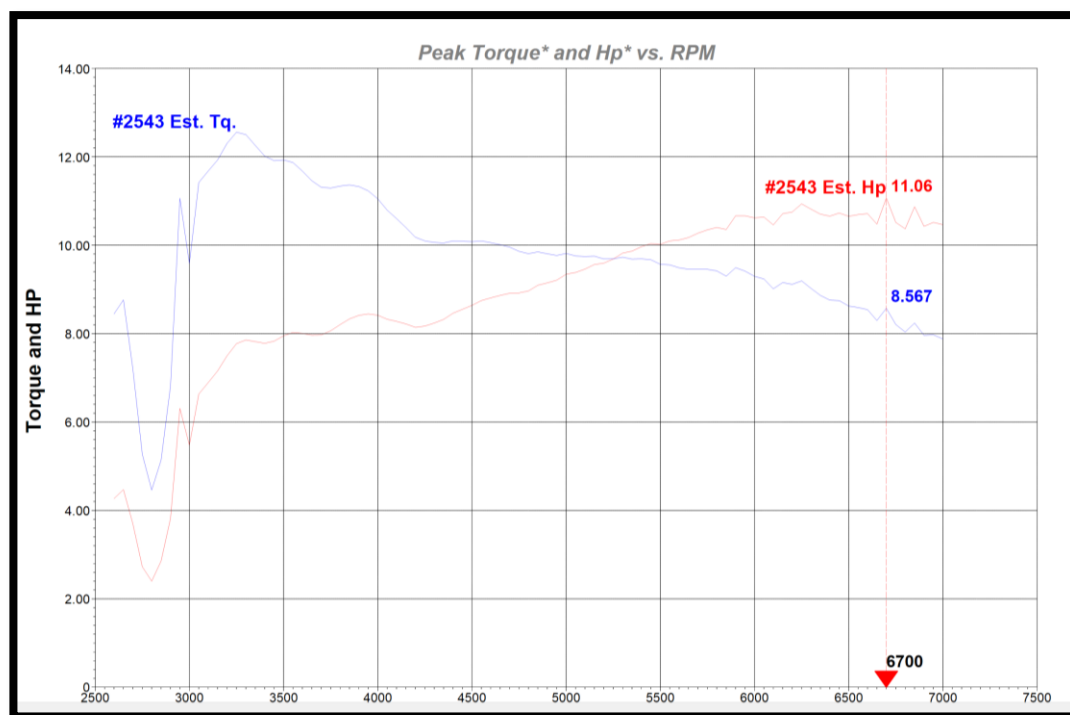


Figura 74. Curvas características propulsión térmica

En la curva característica del torque (ver figura 74) a 3300 [RPM] se obtiene el punto máximo de 12,50 [lbf. ft]. A 6700 [RPM] se visualiza la potencia máxima de 11,06 [HP]

Para los cálculos: diámetro del eje, capacidad torsional y esfuerzo cortante de las láminas se usó el torque a 3000 [RPM] de 9,581 [lbf. ft], especificado en la tabla del anexo 6.

4.8.2. Propulsión híbrida pasiva

En esta prueba lo que varía de la propulsión térmica, es el peso extra de 63 [lbf] del K.E.R.S hará decaer la potencia y el torque por arrastre del mismo

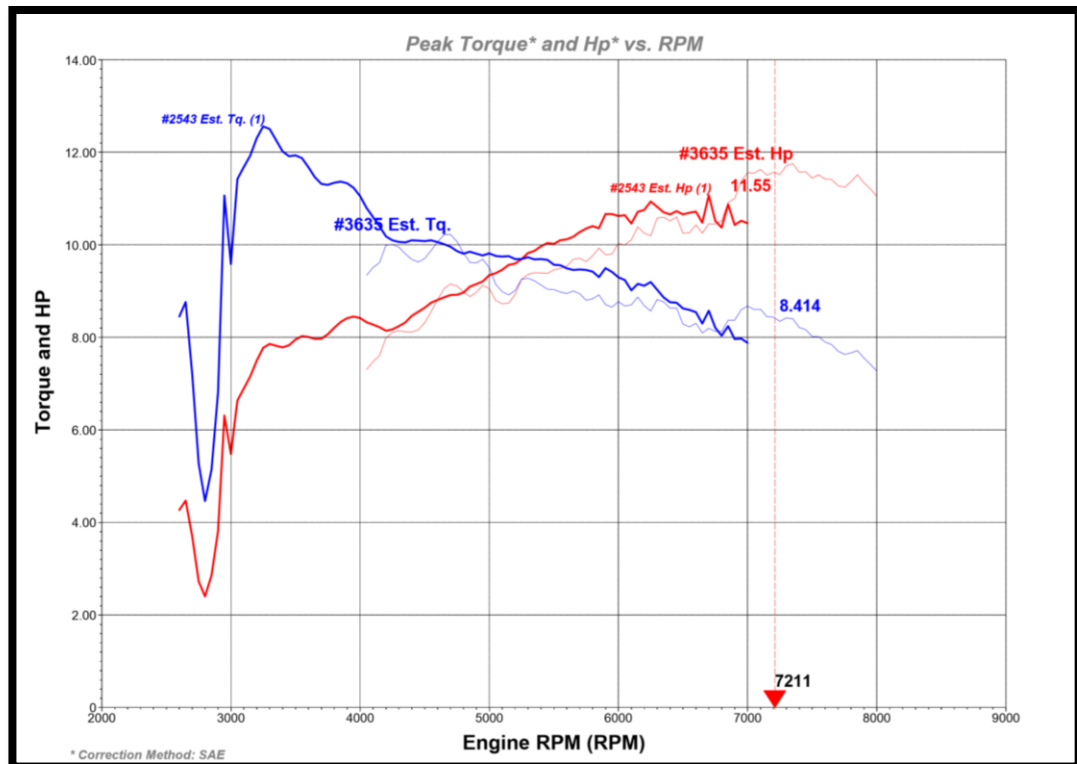


Figura 75. Curvas características propulsión híbrida pasiva

La potencia obtenida es de 10,28 [Hp], mientras que el torque es de 7,751 [lb. ft]

4.8.3. Propulsión híbrida activa

Aunque aumentamos el mismo peso de la propulsión híbrida pasiva 63 [lbf], tendremos un aumento de potencia y torque por activación del K.E.R.S

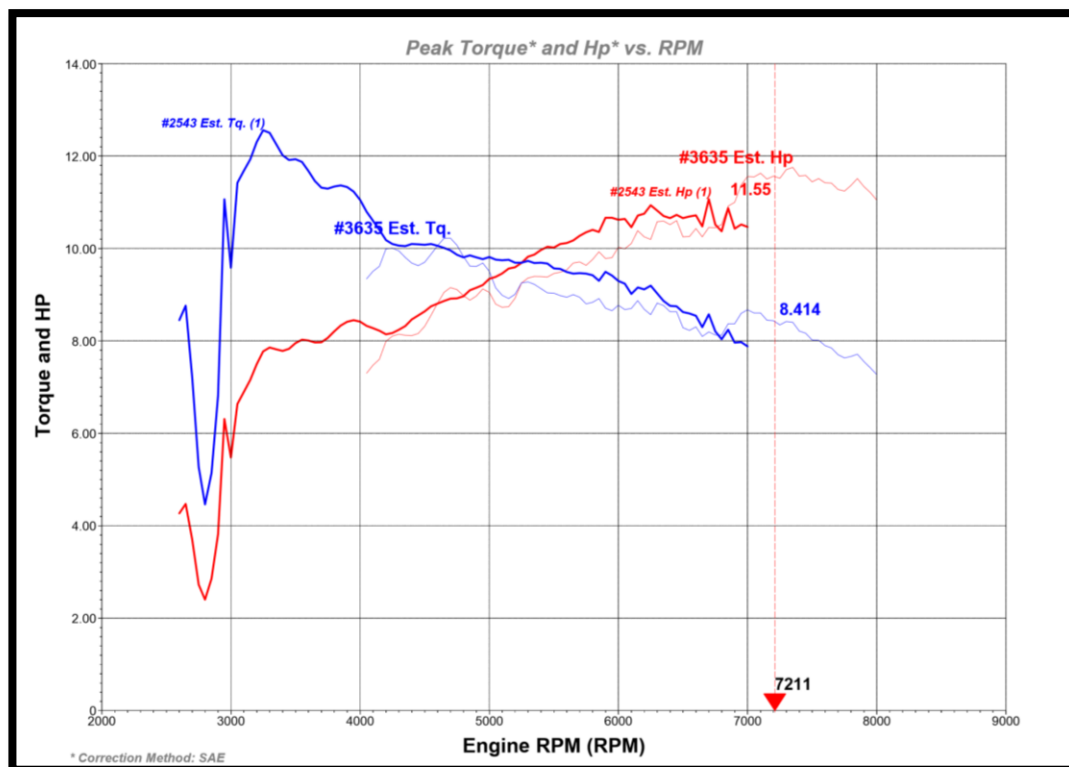


Figura 76. Curvas características propulsión híbrida activa

La potencia obtenida es de 11,77 [Hp], mientras que el torque es 8,74 [lb. ft]

4.9. Autonomía

4.9.1. Lineamientos

Para el desarrollo correcto de las pruebas de autonomía o consumo de combustible, se ha de monitorear y considerar aspectos basados en el ciclo de conducción mundial WLTP.

4.9.2. Consideraciones previas a las pruebas

Se debe revisar el óptimo estado del sistema de alimentación porque este afecta directamente al resultado de las pruebas y también considerar la desactivación de los consumidores eléctricos del vehículo, para reducir la incidencia sobre el consumo de combustible.

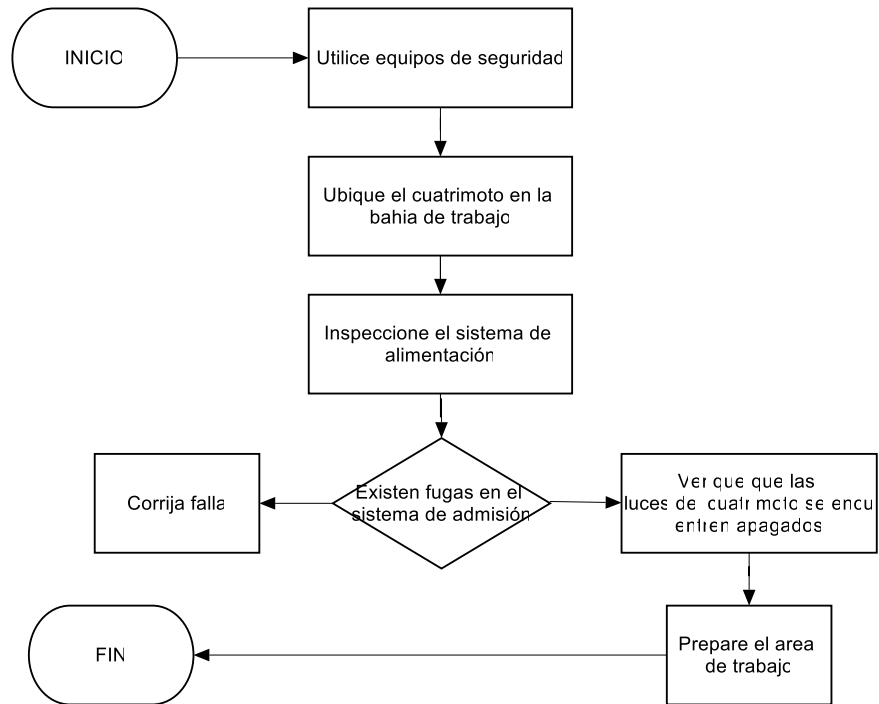


Figura 77. Diagrama de flujo consideraciones previas a las pruebas

4.9.3. Protocolo de funcionamiento

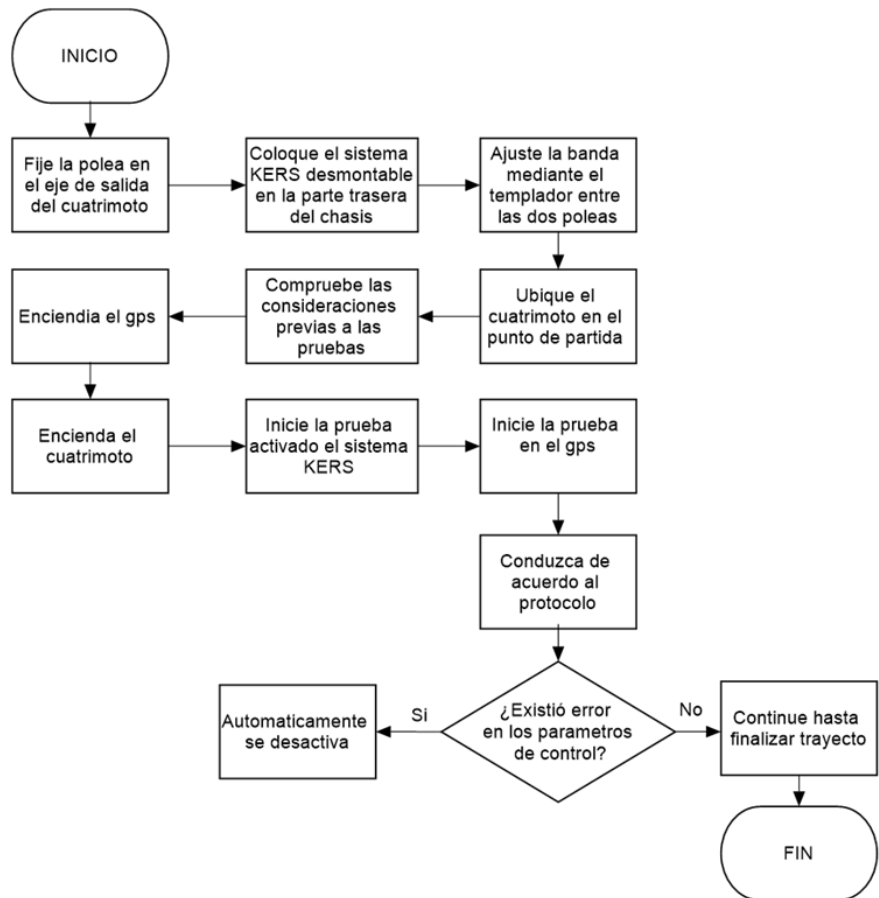


Figura 78. Diagrama de flujo protocolo de funcionamiento

4.9.4. Procedimiento

A continuación, se determinará la clase que pertenece el cuatrimoto según el ciclo de conducción WLTP

Tabla 72

Cálculo vehículo clase WLTP

Valores obtenidos		Ecuaciones
Potencia nominal del motor [kW] $PW_r = 10,8$	Peso en vacío [Ton] $m = 0,133$	$P_e = \frac{PW_r}{m}$
Potencia Especifica $P_e = 81, 20$		

Normalmente este automotor pertenecería a la 3 pero al ver que las velocidades en esa clase son muy altas se optó por elegir que sea del tipo 2

4.9.5. Trayectoria

Se busco una trayectoria que tengas varias pendientes negativas para lograr que el sistema K.E.R.S se active al frenar y también se pueda lograr las velocidades promedio del ciclo de conducción

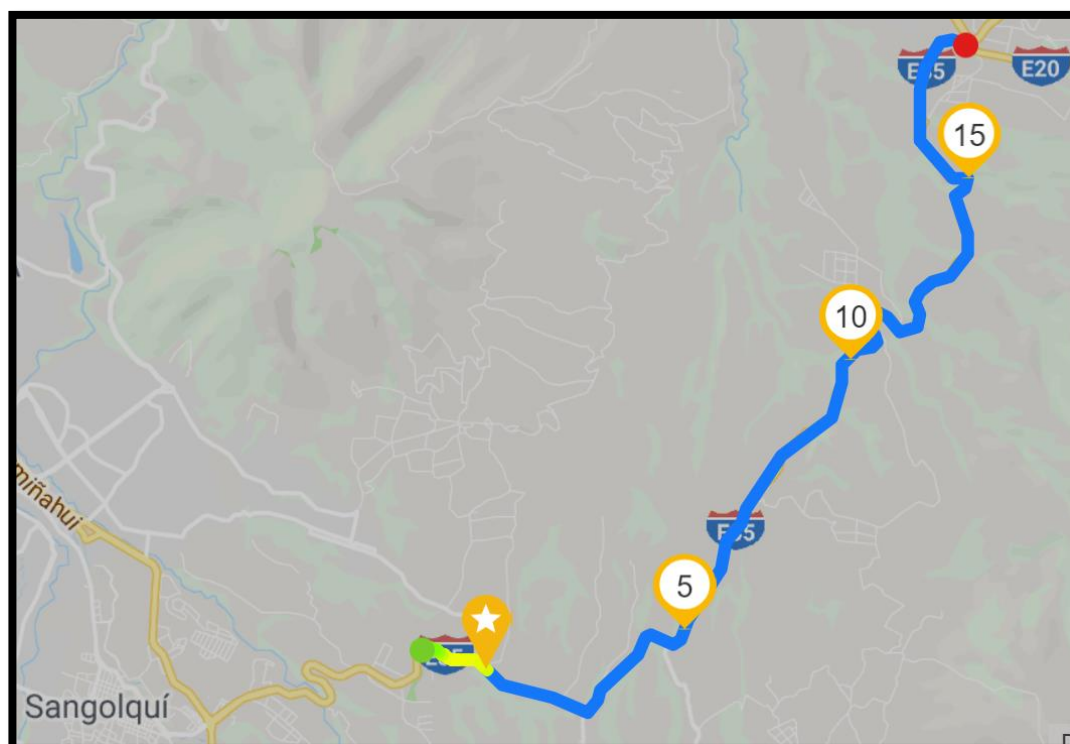


Figura 79. Trayectoria de prueba WLTP

El trayecto fue trazado en Quito – Cantón Rumiñahui carretera panamericana E35. Inicio en la ubicación 2,5 [Km] Noreste de la Fábrica de Baterías Ecuador, en sentido sur oeste.

Para la realización de las pruebas consumo de combustible es necesario conocer los protocolos de conducción WLTP, el cual tiene una distancia de 13,07 km, una duración de 0,75 horas y una velocidad media de 30,43 km/h, así como en ruta que permite poner en funcionamiento al K.E.R.S en condiciones de variación de altura (pendientes) del trayecto.

Las pruebas se realizaron en el cuatrimoto RAM 250 con motor de ciclo Otto, se utilizó como combustible de prueba la gasolina extra para efectuar los ensayos previstos de acuerdo con los métodos establecidos en el protocolo de funcionamiento.

Se tomo la velocidad media con paradas, para que el cuatrimoto reduzca su velocidad y así se pueda recargar las baterías HV con el sistema K.E.R.S.

a) Propulsión térmica

Los siguientes datos se obtuvo acorde al protocolo WLTP de la tabla 4:

Tabla 73

Datos WLTP propulsión térmica

	Baja	Media	Baja	Total
Duración [s]	590	438	701	1729
Distancia [m]	4270	5160	2850	12280
Velocidad media [km/h]	26,08	42,37	25,63	31,36
Velocidad máxima [km/h]	37,85	54,21	54,21	48,76

En la duración, distancia, velocidad media y máxima se obtiene un rango promedio de variación del 10% con relación a los reglamentos establecido en el WLTP y las gráficas quedan de la siguiente forma:

- **Velocidad Baja**

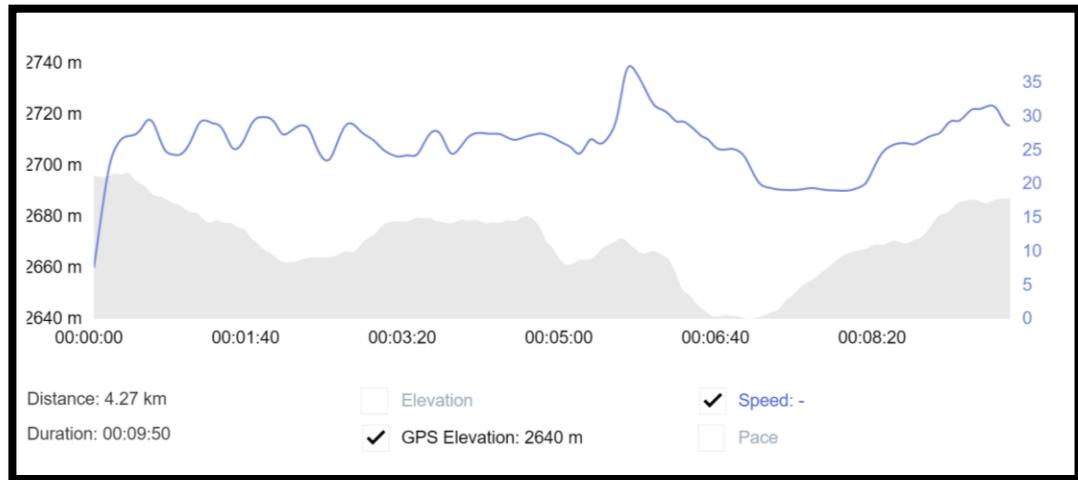


Figura 80. Prueba WLTP velocidad baja 1 propulsión térmica

Se obtuvo un tiempo de 590 [s], distancia de 4270 [m], velocidad media de 26,08 [Km/h] y velocidad máxima de 37,85 [Km/h]

- **Velocidad Media**

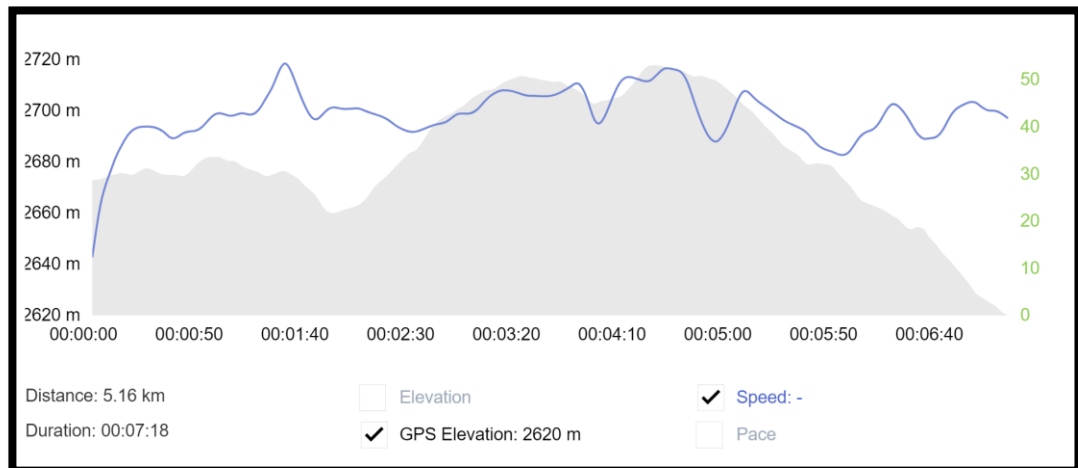


Figura 81. Prueba WLTP velocidad media propulsión térmica

Se obtuvo un tiempo de 438 [s], distancia de 5160 [m], velocidad media de 42,37 [Km/h], velocidad máxima de 54,51 [Km/h]

- **Velocidad Baja**

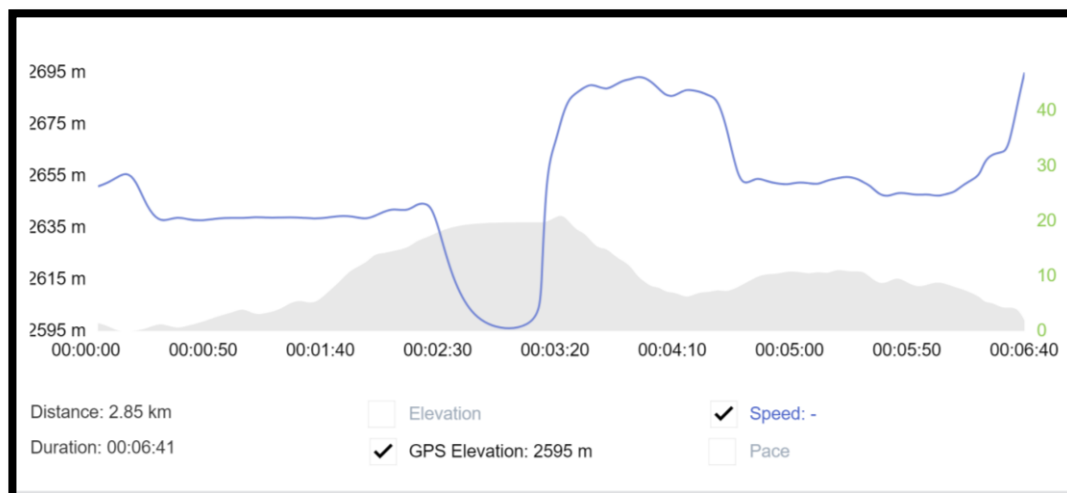


Figura 82. Prueba WLTP velocidad baja 2 propulsión térmica

Se obtuvo un tiempo de 701 [s], distancia de 2850 [m], velocidad media de 25,63 [Km/h] y velocidad máxima de 54,21 [Km/h]

Al obtener estas graficas (ver figura 79,80,81) se observa las velocidades y se trata de homologar el ciclo de conducción WLTP en los diferentes tramos, determinando así un consumo de 470 ml con el sistema de propulsión térmica

b) Propulsión híbrida pasiva

Los siguientes datos se obtuvo acorde al protocolo WLTP de la tabla 4:

Tabla 74

Datos WLTP propulsión híbrida pasiva

	Baja	Media	Baja	Total
Duración [s]	650	431	592	1673
Distancia [m]	4520	5060	3670	13250
Velocidad media [km/h]	25,05	42,42	22,28	29,92
Velocidad máxima [km/h]	45,67	54,49	54,49	51,55

En esta prueba se espera un aumento del consumo de combustible debido al incremento de peso del cuatrimoto

- **Velocidad Baja**

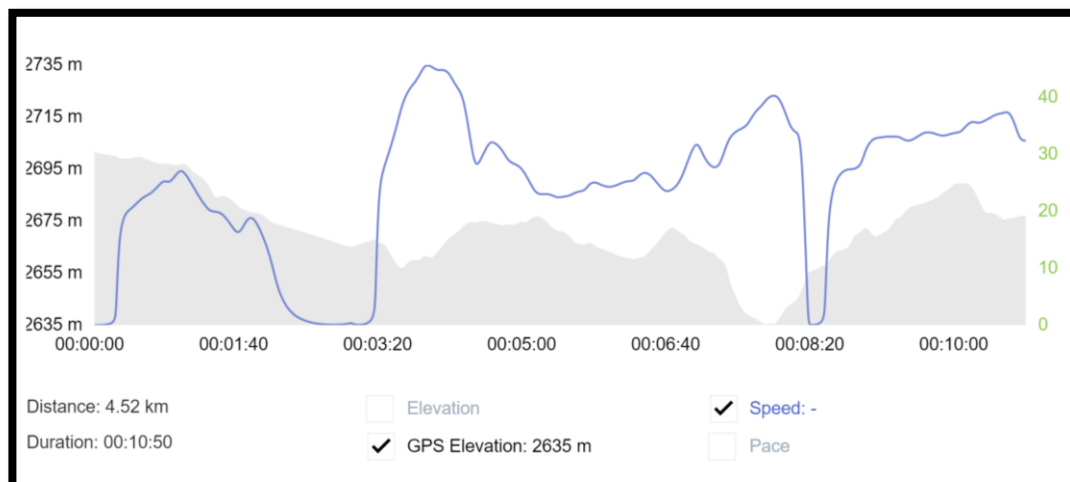


Figura 83. Prueba WLTP velocidad baja 1 propulsión híbrida pasiva

Se obtuvo un tiempo de 650 [s], distancia de 4520 [m] y velocidad media de 25,05 [Km/h], velocidad máxima de 45,67 [Km/h]

- **Velocidad Media**

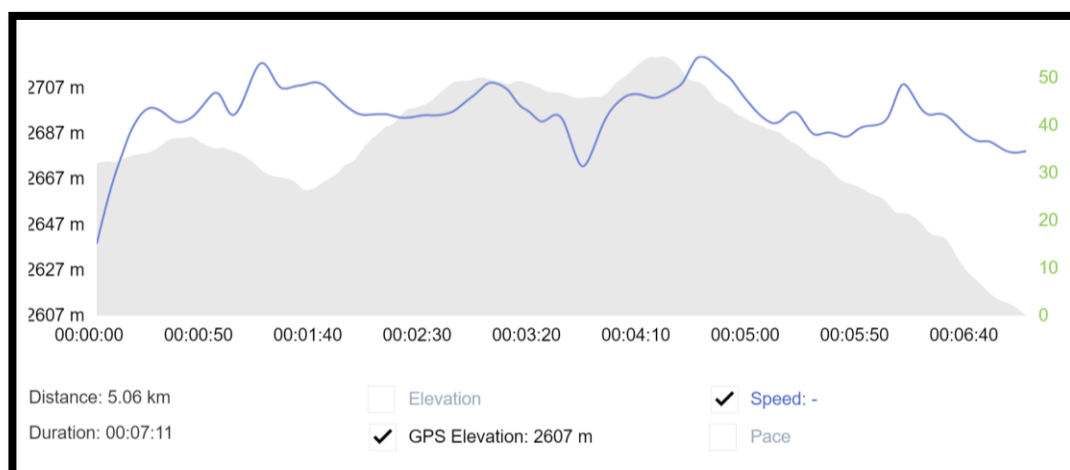


Figura 84. Prueba WLTP velocidad media propulsión híbrida pasiva

Se obtuvo un tiempo de 431 [s], distancia de 5060 [m] y velocidad media de 42,42 [Km/h], velocidad máxima de 54,49 [Km/h]

- **Velocidad Baja**

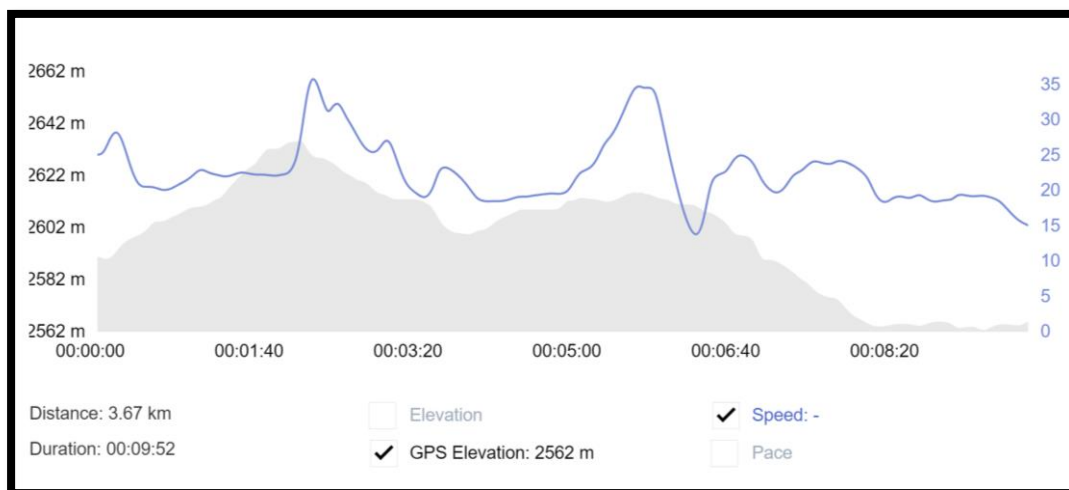


Figura 85. Prueba WLTP velocidad baja 2 propulsión híbrida pasiva

Se obtuvo un tiempo de 592 [s], distancia de 3670 [m] y velocidad media de 22,28 [Km/h], velocidad máxima de 54,49 [Km/h]

c) Propulsión híbrida activa

Los siguientes datos se obtuvo acorde al protocolo WLTP de la tabla 4:

Tabla 75

Datos WLTP propulsión híbrida activa

	Baja	Media	Baja	Total
Duración [s]	590	430	445	1465
Distancia [m]	4290	5110	2860	12260
Velocidad media [km/h]	26,21	42,42	23,14	30,59
Velocidad máxima [km/h]	54,49	56,42	56,42	55,78

En esta prueba se espera equilibrar el aumento del consumo de combustible con el aumento de potencia.

- **Velocidad Baja**

Se debe considerar tiempo máximo de 589 [s], distancia de 3132 [m], velocidad media 19,1 [Km/h], velocidad máxima de 51,4 [Km/h]

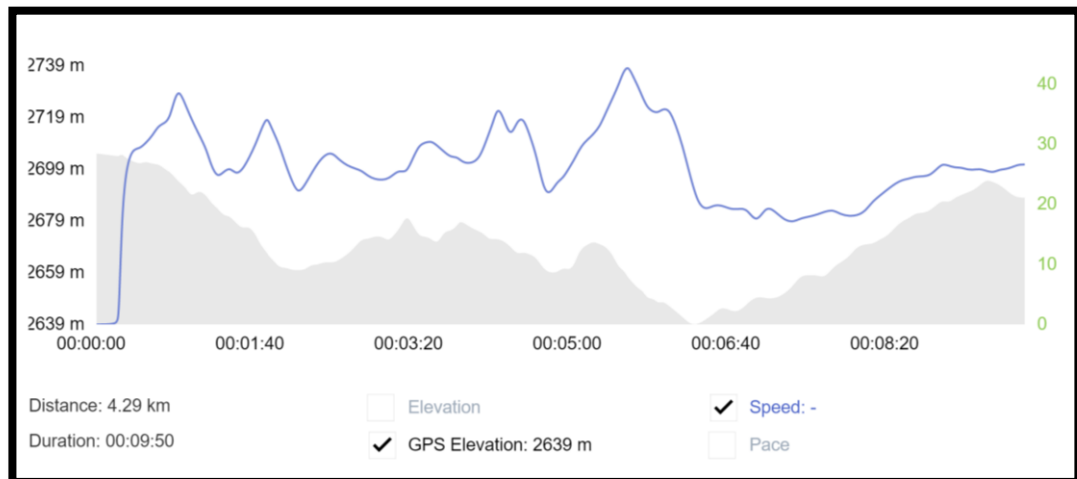


Figura 86. Prueba WLTP velocidad baja 1 propulsión híbrida activa

Se obtuvo un tiempo de 632 [s], distancia de 3660 [m] y velocidad media de 22 [Km/h], velocidad máxima de 56,2 [Km/h]

- **Velocidad Media**

Se debe considerar tiempo máximo de 433 [s], distancia de 4712 [m], velocidad media 39,2 [Km/h], velocidad máxima de 74,4 [Km/h]

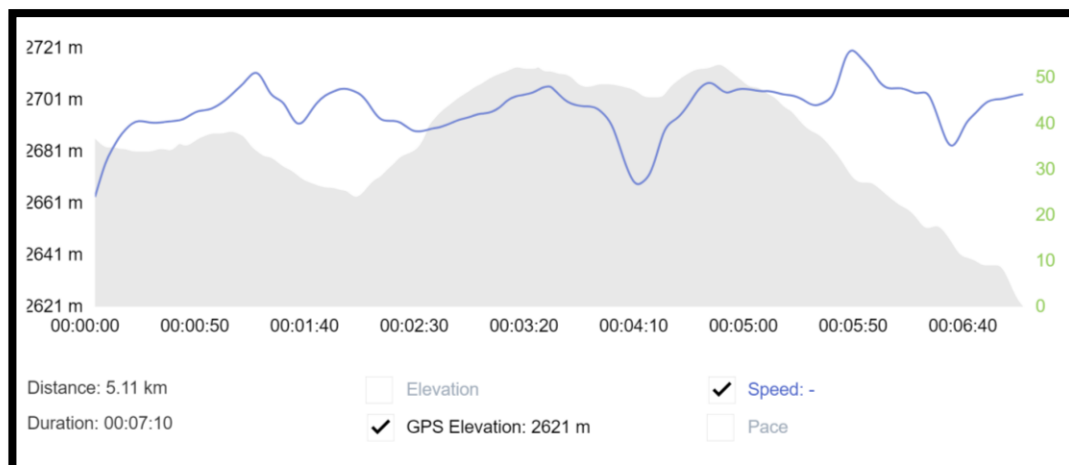


Figura 87. Prueba WLTP velocidad media propulsión híbrida activa

Se obtuvo un tiempo de 629 [s], distancia de 4300 [m] y velocidad media de 26,2 [Km/h], velocidad máxima de 54,5 [Km/h]

- **Velocidad Baja**

Se debe considerar tiempo máximo de 455 [s], distancia de 6820 [m], velocidad media 54,0 [Km/h], velocidad máxima de 85,2 [Km/h]

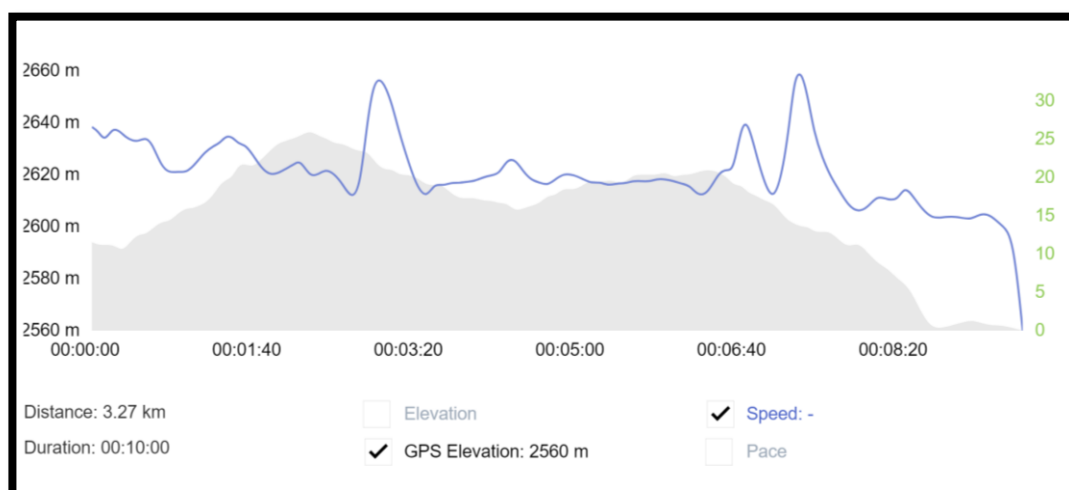


Figura 88. Prueba WLTP velocidad baja 2 propulsión híbrida activa

Se obtuvo un tiempo de 429 [s], distancia de 5110 [m] y velocidad media de 30,43 [Km/h], velocidad máxima de 56,7 [Km/h]

4.10. Eficiencia

4.10.1. Mecánica

La potencia media indicada “está definida como la altura del rectángulo de área equivalente a la del diagrama indicador (ver figura 1)” (Castillo & Arequipa, 2014) por lo que, al basarse en los parámetros iniciales: “como presión inicial 8 [KPa],

temperatura ambiente 293,15 [°K], densidad del aire 1,2 [Kg/m³], temperatura máxima estimada del ciclo 1900 [°K] del MCI" (Jóvaj & Máslov, 1973):

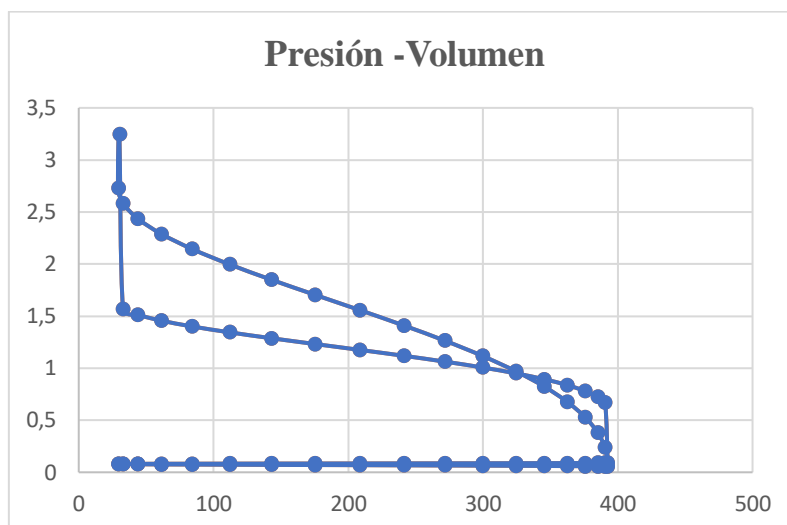


Figura 89. Diagrama Presión vs. Volumen del MCI

Una vez determinado el diagrama P-V (ver figura 89) se puede calcular la presión media efectiva, para determinar la eficiencia mecánica como se demuestra a continuación:

Tabla 76

Eficiencia mecánica del MCI

VALORES OBTENIDOS		ECUACIONES	
Numero de revoluciones [rpm]	$N = 6700$	Torque del MCI [N.m] $T_{MCI} = 11,70$	$P_f = T_{MCI} * \frac{2 * \pi * N}{60000}$
Potencia al freno o efectiva $P_f = 5,759$ [KW]			
Número de cilindros	$n_c = 1$	Diámetro del pistón [m] $M_{min} = -111,25$	
Longitud de la carrera del pistón [m]	$L_{CP} = 0,066$	Constante para consumo volumétrico o $K_2 = 2$	$V_D = n_c * \pi * \frac{D^2}{4} * L_{CP} * \frac{N}{60 * K_2}$
Consumo volumétrico de aire teórico $V_D = 0,009$ [m³/s]			
Presión media efectiva indicada [KN/m ²]	$PMEI = 1800$		$P_i = PMEI * V_D$

Continua



Presión media efectiva indicada $P_i = 16,898$ [KW]

Eficiencia**mecánica**

$$n_m = \frac{P_f}{P_i} * 100\%$$

Eficiencia mecánica $n_m = 34,078$ [%]

Con los parámetros establecidos se determina que este MCI naftero tiene una eficiencia mecánica del 34,078%

4.10.2. Térmica

Los datos de temperatura en cada ciclo fueron obtenidos en la misma hoja de cálculo que se adjunta en el Anexo 7

Tabla 77*Eficiencia térmica del MCI*

VALORES OBTENIDOS		ECUACIONES	
Temperatura de admisión [°K]	$N = 6700$	Temperatura de expansión [°K]	$T_{MCI} = 11,70$
Temperatura de compresión	$T_c = 805,73$	Temperatura de combustión [°K]	$T_z = 1900,48$
Calor específico a volumen constante $\left[\frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K} \right]$	$C_v = 0,718$	Calor específico a presión constante $\left[\frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K} \right]$	$C_p = 1,005$
Eficiencia térmica $n_t = 60,622$ [%]			

$$n_t = \left(1 - \frac{C_v * (T_b - T_a)}{C_p * (T_b - T_a)} \right) * 100\%$$

Gracias a la gráfica establecida (ver figura 74) se obtuvo los datos de temperatura en cada ciclo para de esta forma determinar la eficiencia térmica de 60,622%

4.10.3. Eléctrica

a) Etapa de generador

Tomando en cuenta la tabla 68 se determina la intensidad pico de excitación 39,19 [A] del MG con la batería LV como se aprecia en la siguiente figura:

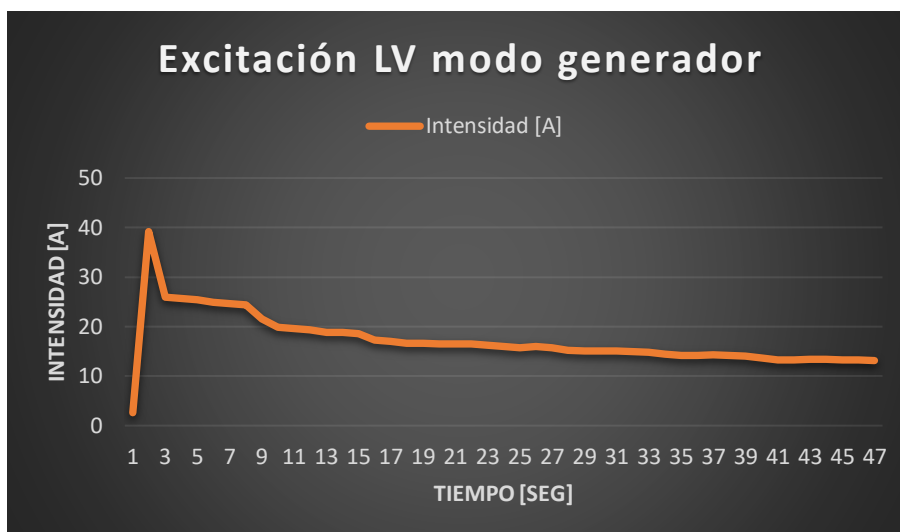


Figura 90. Intensidad vs Tiempo modo generador

La cual servirá para calcular la eficiencia en su etapa de generación:

Tabla 78

Calculo de la eficiencia eléctrica en modo generador

VALORES OBTENIDOS		ECUACIONES
Voltaje [V]	$V = 12$	
	Intensidad del inducido [A]	$I_i = 39,19$
		$P_e = V * I_i$
Potencia de entrada $P_e = 470,28$ [W]		
Potencia Mecánica de salida [W]	$P_s = 298,28$	$n_{ME} = \frac{\text{Potencia Mecánica de Salida}}{\text{Potencia Eléctrica de Entrada}} * 100\%$
Eficiencia eléctrica $n_{ME} = 63,42$ [%]		

La eficiencia eléctrica teórica que se obtiene del 63,42 [%] es en función de la intensidad de arranque del MG

b) Etapa de motor

Tomando en cuenta la tabla 66 se determina la intensidad pico de alimentación 55,93 [A] del MG con la batería HV como se aprecia en la siguiente figura:

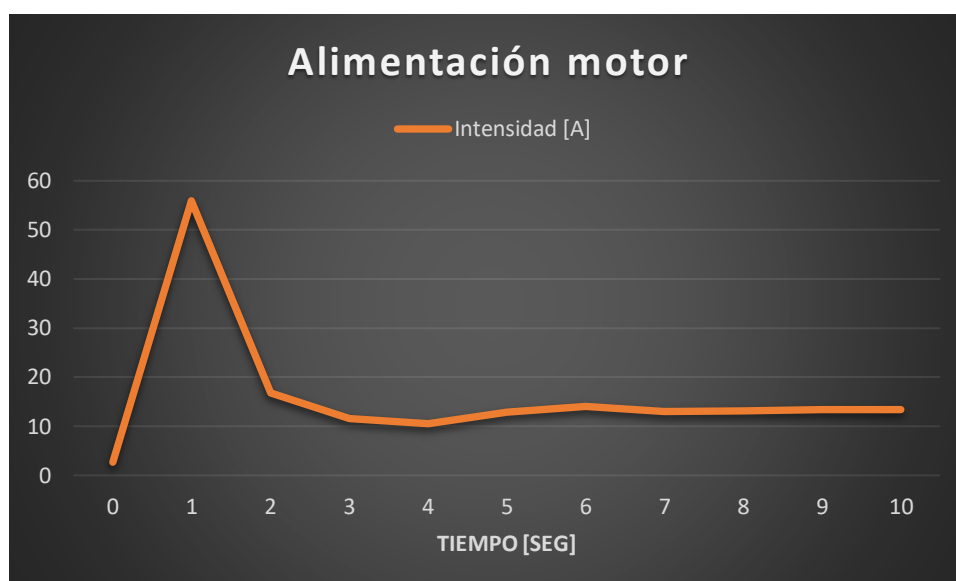


Figura 91. Tensión vs Tiempo modo motor

La cual nos servirá para calcular la eficiencia en su etapa de generación:

Tabla 79

Calculo eficiencia eléctrica modo motor

VALORES OBTENIDOS		ECUACIONES
Voltaje [V]	$V = 27$	Intensidad del inducido $I_i = 55,93$ [A]
Potencia de entrada $P_e = 1510, 11$ [W]		
Potencia Mecánica de salida [W]	$P_s = 298,28$	$n_{ME} = \frac{\text{Potencia Mecánica de Salida}}{\text{Potencia Eléctrica de Entrada}} * 100\%$
Eficiencia eléctrica $n_{ME} = 19, 75$ [%]		

4.11. Comprobación de la hipótesis

Tabla 80

Resultados del ciclo WLTP

	Estándar	Hib. Pasiva	Hib. Activa
Duración [s]	1729	1673	1465
Distancia [m]	12280	13250	12260
Velocidad media [km/h]	31,36	29,92	30,59

Continua



Velocidad máxima [km/h]	48,76	51,55	55,78
Consumo [ml]	470	517	453

- **Duración**

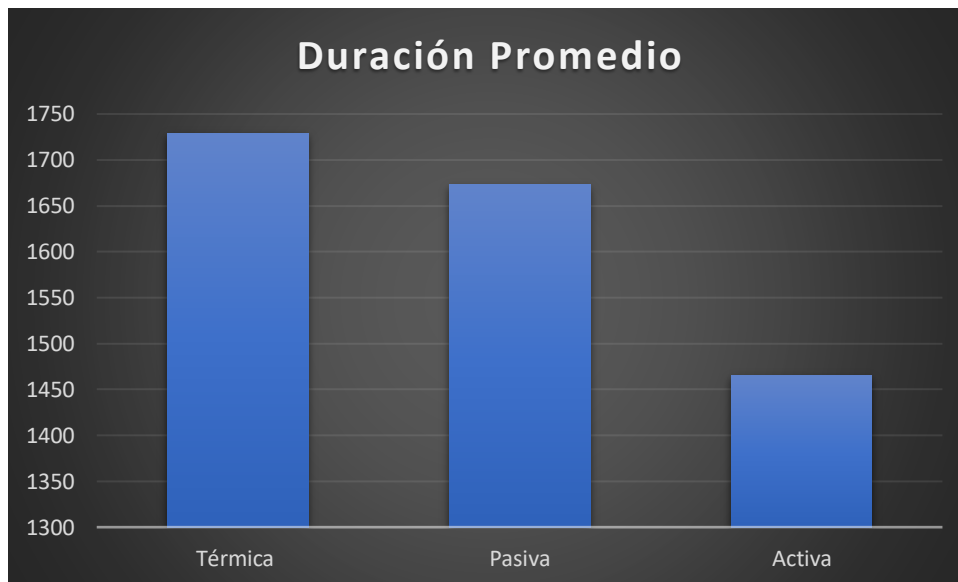


Figura 92. Comparación WLTP duración promedio

La duración o tiempo de la prueba: en propulsión térmica es 3,23% mayor que la propulsión híbrida pasiva y 15,27% más que la propulsión híbrida activa

- **Distancia**

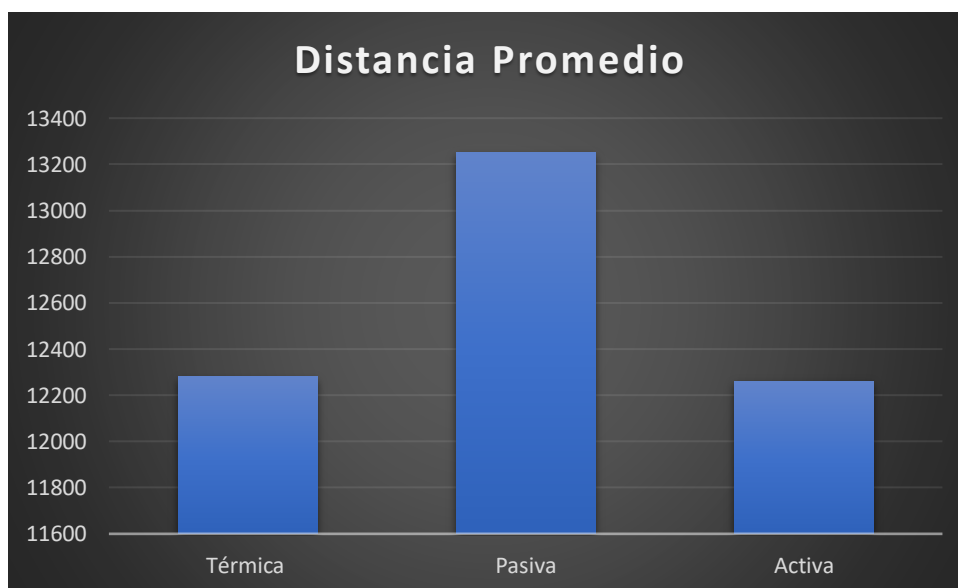


Figura 93. Comparación WLTP duración promedio

La distancia recorrida promedio en propulsión híbrida pasiva es: 7,32% mayor que la propulsión térmica y 7,47% más que la propulsión híbrida activa

- **Velocidad media**

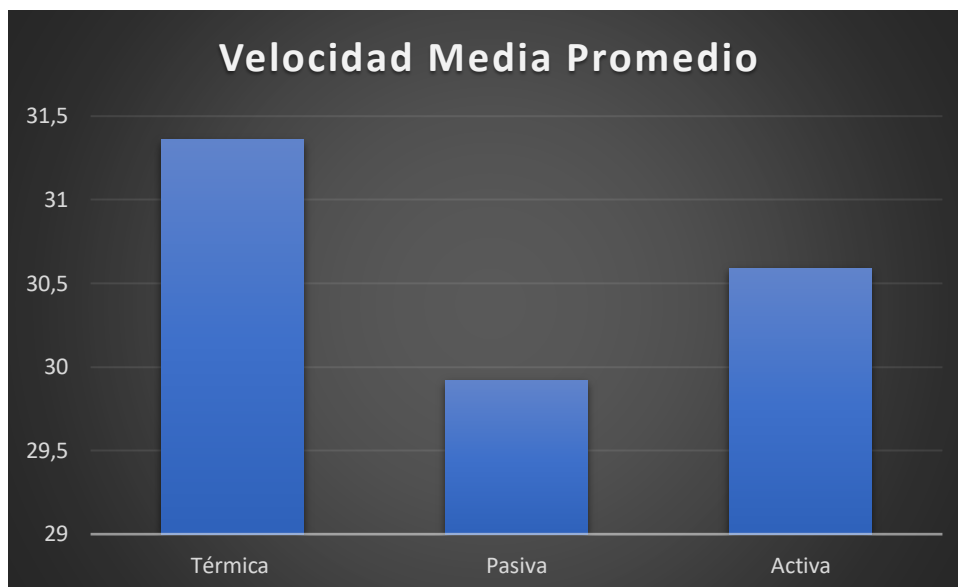


Figura 94. Comparación WLTP velocidad media promedio

La velocidad media promedio en propulsión térmica es: 4,59% mayor que la propulsión híbrida pasiva y 2,45% más que la propulsión híbrida activa

- **Velocidad máxima**

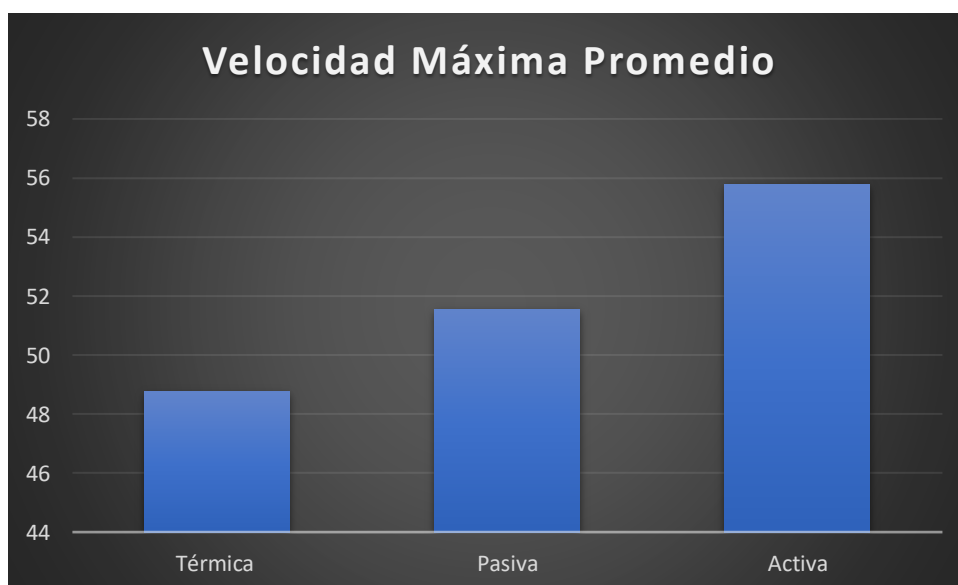


Figura 95. Comparación WLTP velocidad máxima

La velocidad máxima promedio en propulsión híbrida activa es: 12,59% mayor que la propulsión térmica y 7,58% más que la propulsión híbrida pasiva

4.11.1. Consumo de combustible

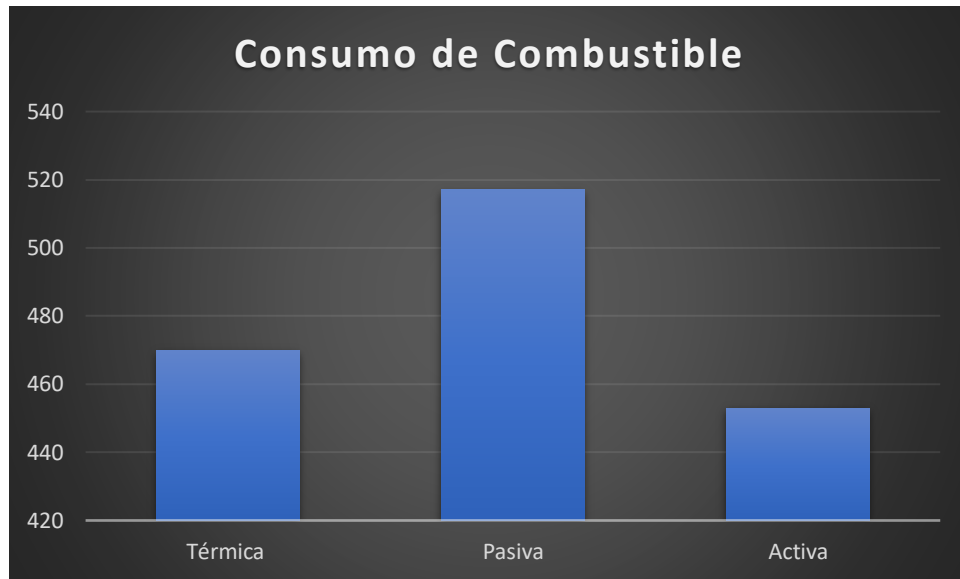


Figura 96. Comparación WLTP consumo de combustible

La velocidad máxima promedio en propulsión híbrida pasiva es: 9,09% mayor que la propulsión térmica y 12,38 % más que la propulsión híbrida activa

Entre la propulsión térmica estándar y la propulsión híbrida activa se determina un ahorro de consumo del combustible del 3,62%

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

Los aspectos económicos y administrativos del proyecto “Investigación de la eficiencia energética de un cuatrimoto de combustión interna al implementar propulsión híbrida mediante un sistema de recuperación de energía cinética K.E.R.S.” establecen las cuantificaciones referentes a la viabilidad de recursos y la factibilidad de este.

5.1. Factibilidad de la investigación

Para realizar la presente investigación de manera organizada y factible se optimizó los recursos financieros, materiales y humanos que son aspectos primordiales para el cumplimiento de esta indagación.

5.1.1. Recursos materiales

Para el desarrollo de la investigación es necesario elementos y componentes que se presentan a continuación:

Tabla 81

Recursos materiales

Ord.	Detalle
1	Motor - Generador
2	Módulo de control
3	Estructura base
4	Sistema de sujeción
5	Sistema de transmisión
6	Baterías HV
7	Batería LV
8	Cuatrimoto

5.1.2. Talento humano

El recurso humano que intervino en la ejecución de la investigación es el siguiente:

Tabla 82

Talento humano

Ord.	Descripción	Función
1.	Mario Logacho	Investigador
2.	Ing. Leonidas Quiroz	Tutor -Investigador
3.	Ing. Germán Erazo	Asesor científico

5.1.3. Recurso financiero

El costo neto del proyecto es auto financiado y resulta de la suma de los recursos utilizados y la movilidad por un costo total de \$ 1.548,17 USD

A. Recursos y materiales

Tabla 83

Costo equipo básico

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Total
2	Motor-Generador	1	300,00	300,00
3	Pack batería HV usador	3	150,0	450,00
			TOTAL	750,00

Tabla 84


Costo estructura

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Lamina PA-6	430x170x12 mm	20,54	20,54
2	Base PA-6	6	5,00	30,00
3	Templador PA-6	1	1,00	1,00
4	Tubo estructural acero al carbón	2 m	3,00	6,00
5	Platina de acero A36	4	0,50	2,00
6	Pernos	36	0,55	19,80
			TOTAL	79,34

Tabla 85*Costo sistema de transmisión*

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Sistema de Embrague A/C usado	1	20,00	20,00
2	Eje exterior hueco AISI 1018 cementado	1	70,00	70,00
3	Acople de quijada L0-70	1	28,60	28,60
4	Chumacera 3/4	1	9,00	9,00
5	Base aluminio	1	2,00	2,00
6	Polea 2''	1	2,00	2,00
7	Polea 10''	1	5,00	5,00
8	Banda 46''	1	4,50	4,50
9	Rodamiento corona de agujas	3	10,00	30,00
TOTAL				171,10

Tabla 86*Costo Módulo de control*

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Regulador de tensión LM7805	1	0,70	0,70
2	Baquelita	20 cm ²	0,02	0,44
3	Resistencia	1	0,03	0,03
4	Potenciómetro	1	1,20	1,20
Continua				

5	Sensor de temperatura LM35	1	2,50	2,50
6	Diodo 10 amperios	1	8,00	8,00
7	Diodo 70 amperios	1	50,00	50,00
8	Voltímetro	3	5,50	16,50
9	Estaño	1	0,50	0,50
10	Arduino uno	1	13,50	13,50
11	Pantalla LCD 16x2	1	5,70	5,70
12	Cable macho-macho de 10 cm	40	0,10	4,00
13	Cable macho-hembra de 10 cm	9	0,10	0,90
14	Terminal de espadín	13	0,02	0,26
15	Pasta para soldar	1	4,50	4,50
16	Cable flexible N°14	5 m	0,60	3,00
17	Relé 5 [V]–10 [A]	5	1,80	9,00
18	Relé 2[V]–90 [A]	1	2,00	2,00
TOTAL				125,73

Tabla 87
Costo equipos tecnológicos

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Computador	1	100,00	100,00
2	Multímetro	1	180,00	180,00
TOTAL				280,00

Tabla 88*Pruebas de investigación*

Ord	Detalle	Cantida	Precio	Total
.		d	unitario	
1	Curvas de rendimiento torque y potencia en banco de pruebas dinamométrico	6	18,67	112,00
2	Prueba de consumo de combustible utilizando el ciclo de ruta	6	5,00	30,00
			TOTAL	142,00

5.2. Título de la propuesta

Investigación de la eficiencia energética de un cuatrimoto de combustión interna al implementar propulsión híbrida mediante un sistema de recuperación de energía cinética K.E.R.S.

5.2.1. Estructura de la propuesta

La propuesta se enruta a la implementación de los sistemas híbridos K.E.R.S en automóviles con propulsión térmica para poder ser más eficiente, reducir el consumo y bajar el nivel de emisiones contaminantes.

5.2.2. Desarrollo de la propuesta

Esta investigación requirió de diferentes recursos como son: recursos financieros, materiales, el talento humano y tecnológicos, los mismos que fueron presentados en la factibilidad de la investigación

El valor considerado del proyecto de investigación es de \$1.548,17 USD en este no se encuentra incluido el talento humano.

5.2.3. Influencia socioeconómica de la propuesta

Se muestra un análisis económico acerca del proyecto de implementación del sistema híbrido KERS en el cuatrimoto y se debe tener presente las siguientes consideraciones.

Tabla 89*Costo de implementación del sistema híbrido K.E.R.S*

Ord.	Detalle	Costo
1	Equipo básico	750,00
2	Estructura	79,34
3	Sistema de transmisión	171,10
4	Módulo de control	125,73
5	Equipos tecnológicos	280,00
6	Pruebas de investigación	142,00
TOTAL		1.548,17

En la tabla 88 se describen los costos de la implementación del sistema híbrido K.E.R.S en el cuatrimoto, el valor inicial de la propuesta es de 1.126,17 USD. Estimando una utilidad del 40% por implementar el sistema, el honorario estaría oscilando en \$450,47 USD.

Tabla 90*Costos del trabajo del sistema híbrido K.E.R.S*

Ord.	Detalle	Inversión inicial	Valor anual
1	Implementación	1.548,17	
2	Mantenimiento del sistema híbrido K.E.R. S		235,00
3	Consumo de combustible		100,00
TOTAL			1.883,17

En la tabla 89 se observa el costo de mantenimiento del sistema híbrido K.E.R.S, el cual se debe realizar anualmente con un valor de 100,00 USD, a su vez se efectuó el cálculo de consumo de combustible al año y se obtuvo el precio aproximado de

235,00 USD. Para obtener un correcto funcionamiento del sistema K.E.R.S. se consideró que se debe contar con mínimo 335,00 USD.

Para obtener los costos de consumo de combustible que genera el sistema K.E.R.S se realizó pruebas utilizando protocolo de conducción WLTP en la ciudad de Quito.

Los ingresos anuales y los egresos son los valores generados por la implementación y el mantenimiento del sistema. Con estos valores se realizó el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) 127,63% y la Tasa Interna de Retorno (TIR). 9,99%

CONCLUSIONES

- Con los parámetros establecidos en la tabla 76 se determina que este MCI naftero tiene una eficiencia mecánica del 34,078% y térmica de 60,622%
- El consumo de combustible con propulsión térmica es de 470 [ml] en un trayecto de 12,28 [Km], con una velocidad media de 31,36 [Km/h] durante 28:49 minutos.
- En función de su peso 12 [Kg], potencia de 0,4 [HP] y 3 packs para la tensión de alimentación de 28,6 [V] establecidos en la tabla 15 se determina que el modelo GW-U 8110R es el seleccionado
- El análisis (ver figura 38) de la estructura K.E.R.S aplicado los esfuerzos de torque 13,59 [Nm], momento 467,08 (tabla 55) se verifico que el esfuerzo máximo de Von Mises es de 1,79 MPa y no supera “el esfuerzo cortante máximo que soporta el material Poliamida 6 - Grillon de 44,13 MPa”; razón por la cual, no pasa del límite elástico en ningún punto. Generado un desplazamiento en el eje Y de apenas 0,081 [mm]
- La ubicación de los componentes es en función del plano establecido en el anexo 5. El peso entre el bronce y el grillon PA6 establecidos en la tabla 48 tiene una variación del 30%, pero claramente su tensión máxima soportada por parte del PA6 es $3,58[N/m^2]$ (doble) y del bronce $1,864 * 10^6 [N/m^2]$. Reduciendo peso, pero no rebasando el límite elástico de los materiales.
- Al implementar el peso: del motor generados 43[lbf], sistema de transmisión 13[lbf], pack de baterías 7 [lbf] y 140[lbf] de una persona promedio, se aprecia en la figura 62 como el esfuerzo máximo de Von Mises llega a 353,1 [MPa] acercándose al límite elástico de 393 [MPa] del bastidor del cuatrimoto de Acero AISI 1020
- Para no modificar el sistema de propulsión estándar del cuatrimoto, se implementó juego de poleas con relación de transmisión de 5:1, banda de 45,32 [pulg] (tabla 59) con la capacidad de tracción es óptima, trabaja de forma estable y su desgaste es uniforme; para la propulsión eléctrica
- Se ha incorporado un control electrónico automatizado, energizado con una fuente de bajo voltaje LV de 9[V], encargado de interrumpir (mediante el RL5 - RL6) las líneas de excitación o alimentación del MG al censar datos de

tensión superior a 31 [V] y temperatura 45 [°C] (estado de alerta) de la fuente HV

- En las pruebas finales dinamométricas con: propulsión híbrida pasiva la potencia es de 10,28 [Hp] y el torque es de 7,751 [lb. ft], propulsión híbrida activa la potencia es de 11,77 [Hp], mientras que el torque es 8,74 [lb. ft]. En las pruebas de autonomía entre la propulsión térmica estándar y la propulsión híbrida activa se determina un ahorro de consumo del combustible del 3,62%

RECOMENDACIONES

- Calibrar los dispositivos de medición
- Realizar un módulo de control que estabilice y entregue gradualmente la intensidad de arranque del motor generador
- Utilizar motores generadores de excitación independiente para no alterar el sistema eléctrico del cuatrimoto

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, S., & Aponte, J. (28 de Enero de 2015). SISTEMA DE RECUPERACION DE ENERGIA CINETICA PARA UNA MOTO ELECTRICA BASADA EN MOTOR BRUSHLESS. *Repositorio Institucional Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 18-22.
- ARDUINO. (2018). *Store Arduino USA*. Obtenido de ARDUINO UNO REV3: recuperado el 10-07-2018 del link <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Arévalo, F., & Estrada, P. (2 de Febrero de 2018). Diseño e implementación de un emulador de generación eólica a través de un grupo motor-generator DC. *Repositorio Digital - EPN*, 21-24.
- Autodesk, I. (2018). Inventor. San Francisco, California, Estados Unidos de América.
- Bohner, M., Gerschler, H., Gobweiler, H., Leyer, S., Pichler, W., & Saier, W. (1985). Curvas características del motor, potencia por volumen de cilindrada y peso por unidad de potencia. En B. Max, H. Gerschler, H. Gobweiler, S. Leyer, W. Pichler, & W. Saier, *Tecnología del automovil* (págs. 214-215). Barcelona: REVERTÉ, S.A.
- Cabrera, I. D. (Mayo de 2015). ESTUDIO, DIAGNÓSTICO Y SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE DURACIÓN EN LAS BATERÍAS HÍBRIDAS DEL VEHÍCULO TOYOTA HIGHLANDER AÑOS 2009-2010. *Repositorio Digital UTE*, págs. 16,39.
- Camsco. (2015). *E-Catálogo*. Obtenido de Camsco Electric Co. LTD: recuperado el 18-07-2018 del link https://www.camsco.com.tw/upload_files/e-download/Camsco-E-Catalog.pdf

- Castillo, R., & Arequipa, D. (Julio de 2014). Análisis del rendimiento de un motor de combustión interna con biogas y aplicación para la generación de energía eléctrica. *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, 47-61.
- Cavaller, N. (26 de Marzo de 2017). *Regulación de velocidad de motores CC*. Obtenido de Slideshare: https://www.slideshare.net/Nuria_Cavaller/t4-regulacin-motores-cc
- Clarke, P., Muneer, T., & Cullinane, K. (2010). Transportation Research Part D: Transport and Environment. *ScienceDirect*, 1-2.
- ContiTech. (2018). MaximizerPro. Fairlawn, Ohio, Estados Unidos de América.
- Dassault, S. (2018). SolidWorks. Vélizy-Villacoublay, Versailles, Isla de Francia.
- Datasheet, A. (2018). *LM35DM Datasheet (PDF) - National Semiconductor (TI)*. Obtenido de All Datasheet: recuperado el 02-08-2018 del link <https://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/8872/NSC/LM35DM.html>
- EKT. (2014). *412 ARDUINO VOLTAGE SENSOR MODULE*. Obtenido de Educational\Development Boards\Arduino\Sensors\ : recuperado el 18-08-2018 del link http://www.ekt2.com/products/productdetails/412_ARDUINO_VOLTAGE_SENSOR_MODULE
- Enriquez, A. J., & Palacios, A. J. (2018). Automatización y reacondicionamiento de la máquina de ensayos de tracción horizontal marca AMSLER del laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, págs. 69-70.

- Gonzalo, A., & Vidaller, J. (1 de Febrero de 2010). Sistema para la recuperación de la Energía Cinética perdida durante la frenada en la Fórmula 1. *ZAGUAN Repositorio Institucional de Documentos*, 5-10.
- Harper, E. (1987). La eficiencia y calentamiento en máquinas eléctricas. En G. Harper, *El ABC de las máquinas eléctricas* (págs. 66-67). México, D.F.: Limusa.
- Higinio, A. (2015). Transmisión por correas - 2. *Material_Clase Universidad Carlos III de Madrid*, 4-33.
- IME. (2018). *Motores Eléctricos y Aplicaciones*. Obtenido de Educación Continuada: recuperado el 26-08-2018 del link <http://www.ime.com.co/filedownload/downloadfile/fileid/16/src/@random51794e156b0e1>
- Industrias JQ, S. (2016). *Poliamida 6*. Obtenido de Datos Técnicos: recuperado el 02-09-2018 del link <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/Poliamida6/Poliam6/dtecnicos.htm>
- Jóvaj, M. S., & Máslov, G. S. (1973). Medición del gasto horario de combustible y determinación de su consumo específico. En M. S. Jóvaj, & G. S. Máslov, *Motores de automóvil: teoría, cálculo y estructura de los motores de combustión interna* (págs. 337-339). Moscú: MIR.
- Kosow, I. (1991). Fundamentos electromagnéticos. En I. Kosow, *Máquinas eléctricas y transformadores* (págs. 29-30). Mexico, D.F. : Prentice-Hall Inc.
- Martínez, O. (Enero de 2014). Sistemas de almacenamiento energético mecánico en el mundo de la automoción. *Repositorio Documental Universidad de Valladolid*, 3-8.

- MDSolids. (2013, Agosto 1). MDSolids: Educational Software for Mechanics of Materials. Estados Unidos de América.
- Mena, L. (2011). PARÁMETROS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA. En L. Mena, *COMPILADOR DE EJERCICIOS DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DIESEL-GASOLINA* (págs. 2-6). Latacunga, Ecuador: NUEVA AURORA.
- Méndez, A., Cely, M., & Monar, W. (2016). Diseño del Sistema de Freno Regenerativo de Automóviles Híbridos. *Revista Escuela Politécnica Nacional*, 1-5.
- MFS-Sintering. (2018). *Piezas Sinterizadas Guía Técnica*. Obtenido de Producto: recuperado el 12-09-2018 del link <http://www.mfs-sintering.com/PRODUCT/PRODUCTO/castellano/>
- Microsoft. (2018). Microsoft Excel. Albuquerque, Nuevo México, Estados Unidos de América.
- Miranda, J., & Iglesias, N. (2015). Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico. *ResearchGate*, 63.
- Mora, J. F. (2003). GENERADORES DE C.C.: ASPECTOS GENERALES. En J. Fraile, *MÁQUINAS ELÉCTRICAS* (págs. 501-503). Madrid-España: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U.
- Mott, R. (1997). En M. Robert, *Resistencia de Materiales Aplicada* (págs. 597-600). México, D.F. : PEARSON Prentice Hall.
- MYG, I. (2018). *Eficiencia en Motores Eléctricos. ¿Qué es?* Obtenido de EDUCACIÓN/CAPACITACIÓN: recuperado el 26-09-2018 del link <https://motoresygeneradores.com/motores/eficiencia/163-eficiencia-en-motores-electricos-que-es>

- Navas, J. (2018). Guía práctica de diseño de sistemas eléctricos según el código NEC. *Repositorio del Sistema Bibliotecario Universidad de San Carlos de Guatemala*, 44-50.
- Norton, R. (2011). *DISEÑO DE MÁQUINAS Un enfoque integrado*. México, D.F. : Pearson Educación.
- Pedrerá, A. (2017). *Arduino para principiantes 2a Edición*. España: IT Campus Academy.
- Peréz, E., Martínez, O., & Pinilla, C. (2010). Sistema de regeneración de energía en vehículos (modelado y simulación dinámica). *Revista Universidad Industrial de Santander Ingenierías* , 2.
- Pérez, F., & Areny, R. (2007). Introducción a los microcontroladores. En F. Pérez, & R. Areny, *Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC* (págs. 11-15). Cataluña: Marcombo.
- Pérez, J. C. (26 de Junio de 2003). Carga rápida de baterías de Ni-Cd y Ni-MH de media y gran capacidad. Análisis, síntesis y comparación de nuevos métodos. *Repositorio Institucional Universidad de Oviedo*, 22-61.
- PERNO, L. C. (2018). *Resistencia de Pernos y Tuercas*. Obtenido de Ayuda Técnica: recuperado el 10-10-2018 del link http://www.casadelperno.com/AyudaTecnica_Resistencia.html
- Pozueta, M. (2017). *MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA*. Obtenido de PUBLICACIONES: recuperado el 28-10-2018 del link http://personales.unican.es/rodrigma/primer/publicaciones.htm#Aspectos_Generales
- PTC. (2018). PTC Mathcad. Boston, Manhattan, Estados Unidos de América.

- Quispe, E., & Mantilla, L. (13 de Octubre de 2011). Motores eléctricos de alta eficiencia: características electromecánicas, ventajas y aplicabilidad. *Universidad del Valle Biblioteca Digital*, 2-3.
- Quispe, O. (18 de Mayo de 2017). *Tarjetas para desarrollo de hardware*. Obtenido de lighpath: recuperado el 10-11-2018 del link <http://www.lighpath.io/tarjetas-de-desarrollo/>
- Robello, M. (2011). Dispositivos de salida. *RiuNet repositorio Universitat Politècnica de Valencia*, 1.
- Rodriguez, P. B. (2 de Noviembre de 2011). *Motor eléctrico versus motor de combustión: par, potencia y eficiencia*. Obtenido de FCE: recuperado el 18-11-2018 del link <https://forococheselectricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>
- Romo, L. A., & Hidalgo, P. (2013). Diseño y construcción del sistema de propulsión térmico - electrónico de un vehículo híbrido. *Repositorio Institucional Universidad del Azuay*, 2-17.
- Ruiz del Solar, J., & Salazar, R. (2010). Sensores, actuadores y efector. *Repositorio Universidad de Chile*, 4.
- Sanmetal, S. (2018). *POLIAMIDA 6.6 - PA 66*. Obtenido de TERMOPLÁSTICOS: recuperado el 21-11-2018 del link <http://www.sanmetal.es/productos/termoplasticos/poliamida-66-pa-66/8#aplicaciones>
- Shigley, Nisbett, K., & Budynas, R. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D.F.: Mc Graw Hill.
- Torres, T. (2015). Generador didáctico de códigos de línea. *REDIB Tecnológico Nacional de México*, 126.

Vendrell, D. (21 de Diciembre de 2017). *Coche de combustión vs. coche eléctrico:*

¿cuál gana? Obtenido de LeasePlan: recuperado el 01-12-2018 del link

[https://www.leaseplango.es/blog/comparativa/coche-combustion-vs-coche-](https://www.leaseplango.es/blog/comparativa/coche-combustion-vs-coche-electrico-gana/)

[electrico-gana/](https://www.leaseplango.es/blog/comparativa/coche-combustion-vs-coche-electrico-gana/)

Wikipedia. (7 de Noviembre de 2018). *Worldwide harmonized light vehicles test*

procedure. Obtenido de Wikipedia The Free Encyclopediia: recuperado el 12-

12-2018

del

link

[https://en.wikipedia.org/wiki/Worldwide_harmonized_light_vehicles_test_pr](https://en.wikipedia.org/wiki/Worldwide_harmonized_light_vehicles_test_procedure#Class_2)

[ocedure#Class_2](https://en.wikipedia.org/wiki/Worldwide_harmonized_light_vehicles_test_procedure#Class_2)

Zapata, J. (2013). FATIGA. En J. Zapata, *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS*

I (págs. 59-60). Piura.

NORMAS

Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 1 498:1986-10. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. BATERIAS DE PLOMO-ACIDO. ENSAYOS

WLTP. Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedures (2009)

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor LOGACHO CAICEDO MARIO ANDRÉS

En la ciudad de Latacunga a los 28 días del mes de enero de 2019.

.....
Ing. Quiroz Leonidas

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

.....
Ing. Zambrano Danilo

DIRECTOR DE LA CARRERA

.....
Ab. Albán Darwin

SECRETARIO ACADÉMICO

