



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**AUTORES: CAMACHO CAÑIZARES ÁLVARO SEBASTIÁN
GUEVARA BARROS EDUARDO XAVIER**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA
DE TRACCIÓN Y CONTROL ELÉCTRICO PARA UN
CROSS CAR BIPLAZA TURÍSTICO.**

DIRECTOR: ING. FABIÁN SALAZAR

CODIRECTOR: ING. JUAN ROCHA

LATACUNGA, JULIO 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS -ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICADO

Ing. Fabián Salazar (DIRECTOR)

Ing. Juan Rocha (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRACCIÓN Y CONTROL ELÉCTRICO PARA UN CROSS CAR BIPLAZA TURÍSTICO” realizado por ÁLVARO SEBASTIÁN CAMACHO CAÑIZARES Y EDUARDO XAVIER GUEVARA BARROS, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

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

El mencionado trabajo consta de UN documento empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a los señores: ÁLVARO SEBASTIÁN CAMACHO CAÑIZARES Y EDUARDO XAVIER GUEVARA BARROS, que lo entreguen al ING. JUAN CASTRO CLAVIJO, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

Latacunga, julio del 2014.

Ing. Fabián Salazar

DIRECTOR

Ing. Juan Rocha

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

NOSOTROS: ÁLVARO SEBASTIÁN CAMACHO CAÑIZARES
 EDUARDO XAVIER GUEVARA BARROS

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRACCIÓN Y CONTROL ELÉCTRICO PARA UN CROSS CAR BIPLAZA TURÍSTICO” ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las paginas correspondientes cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

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

Latacunga, julio del 2014.

Álvaro S. Camacho C.

C.I.180376477-6

Eduardo X. Guevara B.

C.I. 171968040-5

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

NOSOTROS: ÁLVARO SEBASTIÁN CAMACHO CAÑIZARES
 EDUARDO XAVIER GUEVARA BARROS

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas –ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRACCIÓN Y CONTROL ELÉCTRICO PARA UN CROSS CAR BIPLAZA TURÍSTICO” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, julio del 2014.

Álvaro S. Camacho C.

C.I. 180376477-6

Eduardo X. Guevara B.

C.I. 171968040-5

DEDICATORIA

A Dios por haberme regalado la vida y permitirme cumplir todos mis sueños y metas.

A mi padre Franklin por haber sido mi ejemplo a seguir de fortaleza y perseverancia durante todos mis años de estudiante, por ser mi amigo y brindarme ese apoyo incondicional para cumplir todas mis metas, enseñándome como defenderme en la escuela del vivir. A mi madre Germania por ser mi compañera y confidente durante todos estos años y con amor y ternura brindarme ese apoyo tan necesario para seguir adelante y no dejarme derrotar, por ser ese amor que todo lo hace fácil y posible.

A mi esposa María Dolores por haberme brindado ese amor y apoyo incondicional en cada triunfo durante mi carrera y haber estado en los momentos difíciles dándome todo ese amor necesario para recobrar fuerzas y continuar con mis ideales, por ser mi alma gemela y haberme brindado esa alma pura y sincera, por ser mi amiga y compañera durante toda mi carrera y sobre todo por ser la razón de mi inspiración.

A mi hijo Martin por ser mi vida entera, ese regalo divino de vida y amor capaz de despertar los sentimientos más hermosos con su existir y la razón de mi vivir.

A mi hermano Santiago por haberme brindado sus conocimientos y haber sido mi profesor durante mis años de estudios, siendo el fiel testigo de mis metas y mi amigo en mis dificultades, por ser ese ejemplo a seguir. A mi hermano Franklin por ser mi amigo , por haber sido mi profesor y haber compartido sus conocimientos , ayudándome en mis años de carrera y ser ese ejemplo a seguir como hermano, como persona . A todos mis amigos, compañeros y las personas que creyeron en mí.

Álvaro Sebastián Camacho Cañizares

DEDICATORIA

Dedico este proyecto en especial a mis padres Yolanda y Eduardo que me han apoyado emocional, moral y económicamente para estudiar y poder culminar con éxito mi carrera estudiantil, sé que esto lo han hecho con amor y esperando que me sirva para tener una vida mejor, y espero que el tiempo me dé la oportunidad de poder compartir los logros futuros y puedan ellos compartir conmigo los resultados combinados de sus esfuerzos y el mío.

A mis hermanas Alexandra y Daniela que han sido un apoyo fundamental en mi desarrollo como persona y han estado conmigo en los momentos difíciles y con quienes he compartido los momentos más felices de mi vida.

A Roció con quien ha sido mi compañera sentimental, a quien estoy muy agradecido por apoyarme todo el tiempo y con quien he compartido muchos momentos felices.

A mis familiares, amigos y allegados que siempre se han estado pendientes de mí y me han apoyado a lo largo de mi vida.

Eduardo Xavier Guevara Barros

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme brindado la oportunidad de cumplir esta nueva meta y regalarme la familia que tengo inspiración de vida.

A mis padres por haberme apoyado en todo sentido para culminar mis estudios, por el amor que me tienen y les tengo, por brindarme la oportunidad de estudiar para defenderme en mi vida.

A mi esposa por darme ese apoyo tan necesario y acompañarme durante todos mis estudios y ser mi compañera el resto de mi vida, a mi hijo Martin porque desde el instante que te conocí ya te amé y has sido motivo de inspiración y las fuerzas necesarias para luchar.

A mis hermanos por apoyarme y ser los guías en mi camino y ser el ejemplo a seguir de profesores y amigos.

A mis profesores especialmente al Ing. Fabián Salazar e Ing. Juan Rocha, por habernos brindado sus conocimientos y ayudarnos para culminar nuestra carrera.

A Eduardo por haber sido mi compañero y amigo para la realización de este proyecto, a Jorge por habernos ayudado, por tiempo y dedicación en este proyecto

A mis amigos, familiares y todas las personas que me apoyaron, a las personas que creyeron en mí y también a las que no porque gracias a ellos soy lo que soy.

Álvaro Sebastián Camacho Cañizares

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres a quienes admiro y amo mucho por haberme educado y llegar a ser la persona que soy ahora y porque me han brindado todo su cariño y su apoyo durante toda mi vida, dándome una vida feliz.

A mis hermanas a quienes amo con el alma y se han convertido en parte indispensable de mi vida.

A mis Abuelitos Rosario, Josefín y Jorge que han sido pilares fundamentales en mi educación y a quienes admiro mucho por su fortaleza y dedicación.

A mi familia por ayudarme moral y emocionalmente para culminar mis estudios.

A mis profesores especialmente al Ing. Fabián Salazar y al Ing. Juan Rocha por guiarme responsablemente y con paciencia en la realización del proyecto.

A mi amigo Álvaro con quien desarrollamos esta idea y la hicimos realidad, a la familia de Álvaro que me recibieron con hospitalidad en su casa durante el desarrollo del proyecto.

A mi amigo Jorge Gualoto por el tiempo, la dedicación y paciencia que nos brindó para la realización de este proyecto.

A mis amigos que me han apoyado en el desarrollo de este proyecto, especialmente a Carlos Cabrera.

Eduardo Xavier Guevara Barros

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICADO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO 1.....	1
1. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRACCIÓN Y CONTROL ELÉCTRICO PARA UN CROSS CAR BIPLAZA TURÍSTICO.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.1.1. CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN EL ECUADOR.....	1
1.1.2 SITUACIÓN TURÍSTICA DEL ECUADOR.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.5 ÁREA DE INFLUENCIA.....	5
1.6 DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO.....	6
1.7 METAS.....	7
1.8 HIPÓTESIS.....	7
CAPÍTULO 2.....	8

2.	SELECCIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES A IMPLEMENTAR EN EL CROSS CAR.....	8
2.1	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	8
2.1.1	ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS CROSS CAR.....	11
2.1.2	SELECCIÓN DEL TIPO DE MOTOR ELÉCTRICO.....	12
2.2.	SELECCIÓN DE BATERÍAS.....	15
2.2.1	PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LAS BATERÍAS RECARGABLES.....	15
2.2.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS NECESARIAS EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	17
2.2.3	TIPOS DE BATERÍAS MÁS UTILIZADAS EN AUTOS ELÉCTRICOS.....	18
2.2.4	SELECCIÓN DE BATERÍAS PARA EL CROSSCAR.....	22
2.3.	PARÁMETROS DE SELECCIÓN DEL MÓDULO PRINCIPAL.....	24
2.3.1	FRENO REGENERATIVO.....	25
2.4.	SELECCION DE CABLES.....	26
2.4.1	CABLE DE CONTROL Y TRANSMISIÓN DE SEÑALES	27
2.4.2	CABLES DE CONEXIÓN DEL MOTOR Y BATERÍA	28
2.5.	INTERRUPTOR PRINCIPAL	29
2.6	INSTRUMENTACIÓN EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	30
2.6.1	VELOCIDAD.....	30
2.6.2	CORRIENTE	30
2.6.3	VOLTÍMETRO	30
2.6.4	AMPERÍMETRO	31
2.7	SISTEMA DE PROTECCIÓN	31
2.7.1	SELECCIÓN DEL CONTACTOR.....	31
2.7.2	FUSIBLES	32
2.8.	SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL MOVIMIENTO.....	33

2.8.1	TRANSMISIÓN POR BANDA.....	34
2.8.2	TRANSMISIÓN POR CADENA	35
2.8.3	TRANSMISIÓN POR ENGRANES	37
2.8.4	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN	39
	CAPITULO 3	43
3.	DISEÑO Y ADAPTABILIDAD DE LOS ELEMENTOS A IMPLEMENTARSE	43
3.1.	DISEÑO DINÁMICO DEL CROSS CAR	44
3.1.1	FUERZAS ACTUANTES SOBRE EL VE EN PENDIENTES.....	47
3.2	CÁLCULO DE POTENCIA Y SELECCIÓN DEL MOTOR.....	52
3.2.1	CÁLCULO DE POTENCIA.....	52
3.2.2	SELECCIÓN DEL MOTOR.....	53
3.3	CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN	57
3.3.1	CÁLCULO DEL TORQUE NECESARIO EN LAS RUEDAS.....	58
3.3.2	DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN	58
3.3.3	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MÁXIMA	61
3.4	SELECCIÓN DE LA CADENA Y PIÑONES DE LA TRANSMISIÓN.....	62
3.4.1	SELECCIÓN DE LA CADENA	62
3.4.2	SELECCIÓN DE LOS PIÑONES	66
3.5	CÁLCULO DEL BANCO DE BATERÍAS.....	68
3.5.1	CRITERIO DE SELECCIÓN DE LAS BATERÍAS	70
3.5.2	CÁLCULO DEL TIEMPO DE RECARGA DE LA BATERÍA.....	72
3.6.	CÁLCULO DE CONTROLES Y SEGURIDADES ELÉCTRICAS	73
3.6.1	FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR.....	73
3.6.2	SELECCIÓN DEL CONTROLADOR DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	77
3.6.3	CÁLCULO DE FUSIBLES ELÉCTRICOS	81
3.6.4	CARACTERÍSTICAS DEL PARO DE EMERGENCIA.....	82
3.7	CÁLCULOS CONSTRUCTIVOS.....	82

3.7.1 ANÁLISIS DEL CHASIS TUBULAR.....	82
3.7.2 ANÁLISIS DEL SOPORTE DEL MOTOR	87
3.7.3 ANÁLISIS DEL SOPORTE DE LA TRANSMISIÓN.....	92
3.7.4 UBICACIÓN DEL CENTRO DE MASA DEL CROSS CAR	97
CAPÍTULO 4	101
4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL CROSS CAR.....	101
4.1 PRUEBAS DE ACELERACIÓN	101
4.2 PRUEBAS DE FRENADO	102
4.3 PRUEBAS EN RECTA.....	103
4.4 PRUEBAS EN PENDIENTE	105
4.5 PRUEBAS DE REGENERACIÓN DE ENERGÍA	108
4.6 PRUEBAS DE MANIOBRABILIDAD	109
4.7 PRUEBAS DE AUTONOMÍA	110
4.8 PRUEBAS DE CARGA	111
CAPÍTULO 5.....	112
5. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO.....	112
5.1 GENERALIDADES	112
5.2. REGLAS DE SEGURIDAD	114
5.2.1. REGLAS GENERALES	114
5.2.2 REGLAS DE SEGURIDAD PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN	115
5.2.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	115
5.2.4 HERRAMIENTAS PARA MANTENIMIENTO	116
5.4 PROCEDIMIENTO DE ENCENDIDO	118
5.5 MANTENIMIENTO Y REPARACION	121
5.5.1 LIMPIEZA	121
5.5.2 MANTENIMIENTO ESTRUCTURAL.....	122
5.5.3 INSPECCIÓN DE UNIONES SOLDADAS	123
5.5.4 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	123
5.6 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN.....	130
5.6.1 COLUMNA DE DIRECCIÓN	130

5.6.2	RODAMIENTO DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN	130
5.6.3	TERMINALES DE DIRECCIÓN	131
5.6.4	ALINEACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN	132
5.7	REVISIÓN DE LAS RUEDAS	134
5.8	MANTENIMIENTO DE FRENOS MECÁNICOS	134
5.9	REVISIÓN DEL BANCO DE BATERÍAS.....	138
5.10	MANTENIMIENTO DEL MOTOR ELÉCTRICO	139
5.11	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL	140
5.12	SISTEMA DE CARGA DE LAS BATERÍAS	141
5.13	TABLA DE POSIBLES FALLAS.....	142
	CONCLUSIONES	144
	RECOMENDACIONES	148
	BIBLIOGRAFÍA	151
	NETGRAFÍA	153
	ANEXOS	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1:	Ficha técnica Feloz Car 250	9
Tabla 2.2:	Ficha técnica PGO 500 BUG RIDER.....	10
Tabla 2.3:	Ficha técnica Matador 650	10
Tabla 2.4:	Prestaciones de las baterías utilizadas en vehículos eléctricos	22
Tabla 2.5:	Calibre de cables eléctricos y su carga máxima	28
Tabla 3.1:	Características del cross car seleccionado.....	44
Tabla 3.2:	Equivalencia entre grados de pendiente y porcentaje.	47
Tabla 3.3:	Pesos del vehículo para el diseño	51
Tabla 3.4:	Comparativa motores eléctricos DC para vehículos eléctricos	54
Tabla 3.5:	Factores de servicio para transmisiones por cadena	64
Tabla 3.6:	Características de baterías de ciclo profundo	69
Tabla 3.7:	Controladores KELLY para motores de corriente continua.	77
Tabla 3.8:	Resumen del análisis del chasis.....	87
Tabla 3.9:	Resumen del análisis del soporte motor	91
Tabla 3.10:	Resumen del análisis del soporte de la transmisión	96
Tabla 3.11:	Coordenadas de ubicación del centro de masa.....	99
Tabla 4.1:	Resumen de las pruebas en recta.....	105
Tabla 4.2:	Resumen de las pruebas en pendiente.	107
Tabla 5.1:	Especificaciones técnicas del Cross car eléctrico	116
Tabla 5.2:	Herramientas usadas en el mantenimiento.....	117
Tabla 5.3:	Tabla de posibles fallas	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:	Diagrama del sistema de recuperación de energía	26
Figura 2.2:	Grosor de los cables eléctricos	27
Figura 2.3:	Interruptor principal	29
Figura 2.4:	Contactador de corriente continua 48V	32
Figura 2.5:	Diagrama eléctrico de un VE y sus protecciones.....	33
Figura 2.6:	Transmisión por banda.....	34
Figura 2.7:	Diagrama de transmisión por cadena	36
Figura 2.8:	Funcionamiento transmisión por engranes	38
Figura 2.9:	Transmisión por junta universal.....	39
Figura 2.10:	Curva torque-potencia vs velocidad motor DC	40
Figura 2.11:	Lugar de ubicación de la transmisión del cross	40
Figura 3.1:	Cross car escogido para la implementación	43
Figura 3.2:	Fuerzas actuantes en vehículo en una pendiente	45
Figura 3.3:	Recorrido del cross car turístico	46
Figura 3.4:	Sección transversal del cross car	49
Figura 3.5:	Fuerza de tracción en pendiente vs grado de inclinación.	52
Figura 3.6:	Motor ME1003 seleccionado	55
Figura 3.7:	Curvas características del motor ME1003 tomadas con fuente de 48 VDC (Eje X torque en Lb.in).....	57
Figura 3.8:	Representación del torque en la transmisión del vehículo eléctrico	59
Figura 3.9:	Gráfica de selección de cadena de rodillos	65
Figura 3.10:	Dimensiones de cadenas de rodillos simples	66
Figura 3.11:	Dimensiones de cadenas de rodillos simples	67
Figura 3.12:	Distancia entre centros recomendada	68
Figura 3.13:	Ciclos de vida de la batería Ultracell 120Ah	71
Figura 3.14:	Batería Ultracell 120Ah seleccionada	71

Figura 3.15:	Tiempo de carga vs corriente de carga	72
Figura 3.16:	Configuración básica del controlador	75
Figura 3.17:	Fases de funcionamiento del controlador	76
Figura 3.18:	Controlador Kelly PM72401B seleccionado	78
Figura 3.19:	Conectores del controlador Kelly PM48301	79
Figura 3.20:	Diagrama de conexión del controlador	80
Figura 3.21:	Fusibles de corte rápido de corriente continua	81
Figura 3.22:	Paro de emergencia, corte de corriente manual	82
Figura 3.23:	Modelado del chasis tubular en SOLIDWORKS	83
Figura 3.24:	Aplicación de la carga por el peso de las baterías	84
Figura 3.25:	Aplicación de la carga por el peso de los ocupantes	84
Figura 3.26:	Aplicación de la carga por el peso de la transmisión	84
Figura 3.27:	Análisis de Von Mises	85
Figura 3.28:	Desplazamiento máximo del chasis	86
Figura 3.29:	Factor de seguridad	86
Figura 3.30:	Puntos fijos del soporte motor	88
Figura 3.31:	Carga - peso del motor eléctrico	88
Figura 3.32:	Momento torsor del motor eléctrico	89
Figura 3.33:	Análisis de Von Mises	89
Figura 3.34:	Deformación máxima	90
Figura 3.35:	Factor de seguridad	90
Figura 3.36:	Soporte motor ensamblado	91
Figura 3.37:	Modelado del Soporte de la transmisión	92
Figura 3.38:	Peso del soporte motor en la superficie celeste	93
Figura 3.39:	Carga-peso de la transmisión por cadena en color celeste.....	93
Figura 3.40:	Tensión de la cadena en apoyos de la transmisión	94
Figura 3.41:	Análisis de Von Mises	95
Figura 3.42:	Deformación máxima	95
Figura 3.43:	Factor de seguridad	95
Figura 3.44:	Ubicación del sistema de transmisión	96

Figura 3.45:	Ubicación centro de masa vista lateral	97
Figura 3.46:	Ubicación centro de masa perspectiva	98
Figura 3.47:	Ubicación centro de masa vista posterior	98
Figura 4.1:	Pruebas de frenado	102
Figura 4.2:	Aceleración del motor hasta llegar al 25% del pedal	103
Figura 4.3:	Aceleración del motor hasta llegar al 50% del pedal	104
Figura 4.4:	Aceleración del motor hasta llegar al 100% del pedal ...	104
Figura 4.5:	Prueba en pendiente del 10% con final del 20%	106
Figura 4.6:	Prueba a media carga en pendiente del 10%	106
Figura 4.7:	Prueba a plena carga en pendiente del 10%	107
Figura 4.8:	Prueba de regeneración de energía en descenso	109
Figura 4.9:	Explicación del subviraje.	110
Figura 5.1:	Cross Car Eléctrico Biplaza turístico	112
Figura 5.2:	Cross Car Eléctrico Biplaza turístico	115
Figura 5.3:	Breaker principal	118
Figura 5.4:	Paro de emergencia	119
Figura 5.5:	Switch módulo electrónico	119
Figura 5.6:	Breaker principal	120
Figura 5.7:	Desenganche freno de mano	120
Figura 5.8:	Palanca seleccionadora de marcha (D o R)	121
Figura 5.9:	Desengrasante para la limpieza del Cross	122
Figura 5.10:	Uniones soldadas	123
Figura 5.11:	Holgura en cadena de transmisión	124
Figura 5.12:	Estado de oxidación de la cadena de transmisión	124
Figura 5.13:	Ejes traseros del Cross	125
Figura 5.14:	Revisión del eje trasero	125
Figura 5.15:	Torno rectificador	126
Figura 5.16:	Prensa hidráulica	126
Figura 5.17:	Fijaciones sobre el eje	127
Figura 5.18:	Pernos de sujeción motor y transmisión	127
Figura 5.19:	Rodamientos de la transmisión	128

Figura 5.20:	Engrase y limpieza del sistema de transmisión	128
Figura 5.21:	Revisión manzanas del motor y transmisión	129
Figura 5.22:	Columna de dirección.....	130
Figura 5.23:	Ajuste de varillas tensoras.....	131
Figura 5.24:	Alineadora	132
Figura 5.25:	Ajuste de dirección	133
Figura 5.26:	Eje de alineación de ruedas del Cross	133
Figura 5.27:	Revisión nivel líquido de frenos	135
Figura 5.28:	Revisión pastillas de freno.....	136
Figura 5.29:	Revisión circuito de cañerías del líquido de frenos.....	136
Figura 5.30:	Bomba de freno y sus circuitos	137
Figura 5.31:	Ajuste de carrocería	137
Figura 5.32:	Purgado del sistema de frenos.....	138
Figura 5.33:	Revisión banco de baterías	138
Figura 5.34:	Revisión motor eléctrico	139
Figura 5.35:	Revisión sistema de control.....	139
Figura 5.36:	Revisión del sistema electrónico de medida.....	140
Figura 5.37:	Revisión del sistema de encendido y control.....	140
Figura 5.38:	Supervisión del sistema de carga de baterías	141
Figura 5.39:	Cargador de baterías	142

RESUMEN

Mediante el diseño y la implementación del sistema de control eléctrico para un Cross car, daremos solución a la merma del impacto ambiental, mediante el diseño de este tipo de vehículo. El vehículo eléctrico tipo Cross tiene todos los componentes mecánicos de un auto convencional, pero con la diferencia que en vez de un motor de combustión interna va a poseer un conjunto eléctrico, conformado por un motor eléctrico de corriente continua, un módulo de mando que controlará las revoluciones del motor eléctrico, un cargador de baterías de carga rápida con toma de corriente 110V, un panel de control electrónico, baterías de carga rápida conformado también por un freno regenerativo para ayudar en la carga de las baterías con todo su cableado. Este proyecto tiene como finalidad disminuir el impacto ambiental en el área turística del país. Nuestro Cross eléctrico con la nueva implementación va a tener una autonomía aproximada de 30 Km sin recargas intermedias, suficiente como para ser manejado cómodamente en la ciudad de Baños y alcanzar velocidades de hasta 50 km/h, con capacidad para transportar dos personas. Este proyecto nos permitirá dar una solución al transporte ecológico de turistas en reservas naturales, áreas turísticas; pudiendo interesar a empresas turísticas que deseen conseguir un bajo impacto en el eco sistema con este tipo de movilidad.

Palabras clave:

Ingeniería Automotriz, Vehículos eléctricos, Transporte turístico ecológico

ABSTRACT

Through the design and implementation of electrical control system for a car cross, we will give the solution to decrease environmental impact, through the design of this kind of vehicle. The electric vehicle has all the mechanical components of a conventional car, but with the difference that instead of an internal combustion engine, it will have an electrical assembly, this will have an electric set, consisting of an electric DC motor, a control module that controls the speed of the electric motor, a battery charger with quick charge socket 110V, electronic control panel, fast charge batteries which also includes regenerative braking to help charge the batteries, and all wiring.

The purpose of this project is to decrease the impact that this would cause, applying the tourist area of the country. Our electric cross through our implementation will have a range of approximately 30 km without intermediate reloading, enough to be handled comfortably in Baños city, and reach speeds until 50 km / h, capable of carrying two people. This project will allow us to provide a solution to ecological transport of tourists in nature reserves, scenic areas; Being able to interest tourism companies who want to get a low impact on the eco system with this type of mobility.

Key words: Keywords:

Automotive Engineering, Electric vehicles, Eco tourist transportation.

CAPÍTULO 1

1. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE TRACCIÓN Y CONTROL ELÉCTRICO PARA UN CROSS CAR BIPLAZA TURÍSTICO

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1. CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN EL ECUADOR

En el Ecuador no se tiene un registro oficial en el que se detalle los niveles de contaminación ambiental causada por vehículos motorizados, pero en el caso de ciudades como Quito, Cuenca y Guayaquil hemos podido investigar qué:

En Quito que “el 80% de la contaminación del aire es originada por automóviles, que generan 300.378 toneladas métricas de elementos nocivos al año, y el restante 20% por el sector industrial y otras actividades.” (Fundación Natura y el Municipio de Quito en 1999)

En la ciudad de Cuenca “el 85 por ciento de la contaminación del aire de la urbe es generado por los automotores, el siete por ciento por las fábricas ubicadas principalmente en el Parque Industrial de Machángara, y el ocho por ciento restante es causado por otros actores como bares, restaurantes, hoteles y hogares que emplean combustibles en sus labores diarias.” (CUENCAIRE, Rubén Jerves en 2009)

En Guayaquil un estudio estableció que “en promedio las concentraciones de dióxido de nitrógeno llegan a 0,27 partículas por millón (ppm), cuando la norma permite 0,08 ppm en 24 horas.

La situación se repite con el dióxido de azufre. Los sitios inspeccionados superan la norma de 0,13 ppm en 24 horas. En Aguirre y Pedro Carbo, el sitio con mayor contaminación, hay una concentración promedio de 1,09 ppm y máxima de 2,3 ppm.” (Estudio de la calidad del aire de Guayaquil; Universidad Central, el Municipio y Petroecuador; diciembre del 2004.)

Esta información nos puede dar una idea del grado de contaminación que se tiene en el país, claro está que la realización del proyecto será con el propósito de reducir la contaminación ambiental en zonas ecoturísticas¹ para poder preservar los espacios que tienen como fin el rescatar y cuidar la naturaleza.

1.1.2 SITUACIÓN TURÍSTICA DEL ECUADOR

“El Ministerio de Turismo informó que como resultado de un estudio realizado en seis ciudades del país se determinó que Ecuador ha tenido un crecimiento del 4.9% en lo referente al turismo interno.

Y como resultado de esta estrategia, el Ministerio de Turismo presentó las cifras del sector que reflejan un incremento del 9% en cuanto a arribos,

¹ La Sociedad Internacional de Ecoturismo (TIES) define ecoturismo como “Un viaje responsable a áreas naturales que conservan el ambiente y mejoran el bienestar de la población local”.

con relación al crecimiento mundial, informó el subsecretario de promoción Turística, Carlos Guzmán.

El movimiento del turismo interno es sustentado en la afluencia de turistas nacionales que registra el Gobierno Provincial de Tungurahua, a través de la Dirección de Turismo. María Eulalia Castellanos, funcionaria de la dependencia, explicó que aunque no hay cifras concretas de todo el movimiento en la provincia, sí tienen resultados parciales de ciertos lugares.” (www.turismo.gob.ec; 2012)

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La excesiva contaminación ambiental causada por las emisiones de gases de motores de combustión interna han obligado a la industria automotriz a buscar nuevas alternativas de transporte con la utilización de energías renovables y limpias que reduzcan este impacto, es así que los autos eléctricos en países desarrollados son ya un hecho obteniéndose resultados alentadores como es el caso de el Nissan Leaf que han vendido más de 40,000 unidades en más de 100 países en el mundo con más de 1,000 estaciones de recarga.

A pesar de tener limitaciones en base a su autonomía, vemos factible utilizar el proyecto en un espacio turístico de la ciudad de Baños en la provincia de Tungurahua, en donde se tiene actividades turísticas de recorridos motorizados que en su gran mayoría son con motores de dos tiempos muy escandalosos y evidentemente contaminantes por la estela de humo que sale por sus escapes y este proyecto servirá para promover el

turismo ecológico basándonos en el informe del Ministerio de Turismo del Ecuador del 2012 en el que refleja que en el país el turismo interno ha tenido un crecimiento del 4,9% y un 9% de incremento de arribos internacionales. Este incremento nos permitirá promocionar un viaje turístico agradable para el turista y amigable con el ambiente.

Ante el desarrollo de este tipo de movilidad a nivel mundial, la realización de éste proyecto posiblemente en unos años dará paso a investigaciones sobre movilidad eléctrica en el Ecuador por parte de los estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército, como ya se lo ha he venido haciendo con el desarrollo de proyectos de movilidad con distintos tipos de energías alternativas.

El alto costo de este tipo de vehículos eléctricos ha hecho difícil su implementación pero mediante estudios realizados, como el analizado en la universidad de Catalunya-España ² en el ámbito energético, y en base a nuestro análisis en el sector automotriz nos podremos dar cuenta que podríamos obtener un menor costo en consumo, mayor eficiencia, y menor contaminación tres aspectos claves para el desarrollo de éste tipo de movilidad.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La realización de este proyecto nos permitirá ofrecer una solución al transporte ecológico de turistas en reservas naturales, áreas turísticas,

² (Bargalló, 2009)

llegando hasta empresas interesadas a usar este tipo de movilidad, y que tengan un impacto en el eco sistema.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

DISEÑAR E IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO PARA UN CROSS CAR.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los acumuladores y accesorios eléctricos factibles para ser usados
- Diseñar el módulo de transmisión del Cross
- Analizar el comportamiento dinámico y estático del Cross
- Realizar pruebas del Cross en carretera para determinar su eficiencia y autonomía
- Elaborar un manual de conducción y mantenimiento del Cross

1.5 ÁREA DE INFLUENCIA

- Ingeniería Mecánica Automotriz en el área de Autotrónica.
- Ingeniería Mecánica Automotriz en el área de Resistencia de Materiales
- Influencia en el sector turístico y ecológico dentro de las ciudades con impactos ambientales, específicamente en la ciudad de Baños en la provincia de Tungurahua.

1.6 DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO

Mediante el diseño y la implementación del sistema de control eléctrico para un cross car, pretendemos estudiar el funcionamiento, diseño y componentes de este tipo de vehículo.

El vehículo eléctrico tipo cross tiene todos los componentes mecánicos de un auto convencional, pero con la diferencia que se sustituye el motor de combustión interna por un conjunto eléctrico, conformado por un motor eléctrico de corriente continua, un módulo de mando el mismo que controla las RPM del motor eléctrico, un cargador de baterías tipo industrial de carga rápida, un panel de control electrónico, una toma de carga 110V o 220 V, baterías de carga rápida, conformado también por un freno regenerativo para ayudar en la carga de las baterías, con todo su cableado.

Este proyecto tiene como finalidad enfocarnos en el impacto ambiental que este provocaría, aplicándolo al área turística del país.

Nuestro cross eléctrico mediante nuestra implementación va a tener una autonomía aproximada de 70 Km sin recargas intermedias, suficiente como para ser manejado de manera cómoda dentro del sector de baños y alcanzar velocidades promedio de 50 km/h, con capacidad para transportar dos pasajeros.

1.7 METAS

- Determinación y selección de los materiales y elementos estructurales
- Investigación, selección de motor, controlador de vehículo eléctrico, potenciómetro de aceleración, cableado, freno regenerativo
- Implementación del sistema de propulsión eléctrica
- Pruebas de funcionamiento y solución de problemas existentes en la
- Detalles estéticos del prototipo e implementación del sistema de recarga del vehículo
- Elaboración de un manual de conducción y mantenimiento

1.8 HIPÓTESIS

¿La implementación y el diseño de un Cross car eléctrico ayudará a reducir la contaminación ambiental en las zonas turísticas y ecológicas del país?

CAPÍTULO 2

2. SELECCIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES A IMPLEMENTAR EN EL CROSS CAR

En este capítulo desarrollaremos la selección de los componentes que serán necesarios para implementar el sistema de tracción eléctrica del Cross (fuente de potencia eléctrica, controlador, sistema de transmisión), y todas las modificaciones que esto implique para colocarla en la carrocería del Cross car de combustión interna monocilíndrico de 150cc que servía como automotor de servicio turístico. Cada componente será seleccionado utilizando justificaciones técnicas y de diseño que en caso de ser necesario serán profundizados en el capítulo 3 de cálculos.

Vamos a dividir la selección del motor eléctrico en tres pasos que serán: identificar cuáles son las características que necesitamos para impulsar al Cross Car que va a servir como transporte a turistas en la zona turística de Baños-Tungurahua; determinar qué tipo de motor eléctrico se va a utilizar; y finalmente se seleccionará el motor y sus características en base a los dos pasos anteriores.

2.1 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR ELÉCTRICO

En las fichas técnicas que se describen a continuación en las tablas 2.1, 2.2, 2.3, se describen las características de los motores de combustión interna de los vehículos cross car que actualmente realizan recorridos turísticos en Baños, de varias marcas de baja, media y alta cilindrada respectivamente. Estas tablas las utilizaremos para compararlas y determinar cuál debe ser la potencia del motor y peso del vehículo que deberá tener nuestro cross car.

Tabla 2.1: Ficha técnica Feloz Car 250

FELOZ CAR 250	
	
Motor:	Mono cilíndrico 4T
Cilindrada:	260 cc
Potencia máxima:	19 CV (14 KW) / 7000 RPM
Par motor:	17.6 Nm / 6000 RPM
Velocidad máxima:	70 Km/h
Chasis:	estructura tubular de acero
Peso bruto/neto:	380 Kg / 355 Kg

Fuente: www.solobuggys.com, (2012)

Tabla 2.2: Ficha técnica PGO 500 BUG RIDER

PGO 500 BUG RIDER	
	
Motor:	4 Tiempos
Cilindrada:	499.1 cc
Potencia máxima:	29.0 KW a 5.750 RPM
Chasis:	Tubular de acero
Velocidad máxima:	90 Km/h
Peso:	485 Kg

Fuente: www.solobuggys.com, (2012)

Tabla 2.3: Ficha técnica Matador 650

MATADOR 650	
	
Motor:	2 Cilindros, 4Tiempos.
Cilindrada:	644 cc.
Potencia máxima:	14.5 KW/5300rpm
Chasis:	Tubular de acero
Velocidad máxima:	90 Km/h
Peso:	396 kg

Fuente: www.solobuggys.com, (2012)

2.1.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS CROSS CAR

Las fichas técnicas anteriores demuestran que los cross car tienen un peso **promedio aproximado de 420 kg** y un promedio **de potencia máxima de 20 KW**, es así que debemos seleccionar un motor eléctrico que nos brinde una potencia aproximada o mayor siempre y cuando el peso del cross car esté entre los 400kg a 600 kg ya incluidos todos los componentes de la implementación (bloque de baterías, motor eléctrico y controlador), tratando de alivianar lo máximo posible la implementación. En el capítulo tres se realizarán los cálculos respectivos para determinar la potencia y la velocidad del vehículo.

El resultado que esperamos conseguir es un vehículo que tenga un comportamiento de un buggy de cilindrada media, que alcance una velocidad máxima de hasta **50 kilómetros por hora** tomando en cuenta que según el Artículo 192 R.G de la ley de tránsito del Ecuador³ permite como velocidad máxima para vehículos livianos, motos y similares los 90 Km/h en caminos perimetrales, así que como medida de seguridad esperamos cumplir con los 50 km/h señalados.

Una vez identificadas las características que debe cumplir el motor eléctrico, debemos ahora si determinar qué tipo de motor eléctrico vamos a

³ REGLAMENTO GENERAL PARA LA APLICACIÓN DE LA LEY ORGÁNICA DE TRANSPORTE TERRESTRE, TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL (Decreto No. 1738).
Recuperado de:
<http://www.cgg.gob.ec/cgg/archivoscgg/reglamentos/transito.pdf>

seleccionar, referente al tipo de corriente con la que trabaja (corriente alterna o corriente continua), por lo que debemos conocer cuáles son los usos y ventajas que tienen para ofrecer como impulsores de vehículos eléctricos.

2.1.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE MOTOR ELÉCTRICO

2.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA EN TRACCIÓN ELÉCTRICA

- Desde un punto de vista operativo, los motores de corriente continua generan más torque, por lo que en un vehículo eléctrico se puede prescindir de transmisión y sea directamente el control de velocidad y sentido de giro del motor eléctrico el que determine la velocidad y dirección del vehículo.
- Los motores de corriente continua utilizan la energía directamente de las baterías es por eso que la conexión de control es más simple.
- Los motores de corriente continua sin escobillas generan menos calor que un motor de inducción de corriente alterna por lo que se desperdicia menos energía y no se requieren sistemas de refrigeración.
- El motor de corriente continua puede funcionar como motor o como generador, dependiendo su forma de conexión por lo que se puede aprovechar esta capacidad para utilizar al motor como un freno regenerativo de energía que aproveche la energía cinética del vehículo para recargar las baterías.

2.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA EN TRACCIÓN ELÉCTRICA.

- La aplicación de los motores de corriente alterna en la propulsión de vehículos es más complicada y costosa debido a que la alimentación de corriente directa de las baterías debe ser convertida a corriente alterna para esto el vehículo necesita un inversor de tensión.
- Los circuitos de control de velocidad son más complejos, y todo el sistema es más caro porque la industria del vehículo eléctrico no ha desarrollado la infraestructura necesaria para bajar los costos.
- El rendimiento de un motor de corriente alterna es mucho más elevado que el de un motor de corriente continua pudiéndose alcanzar altas velocidades en períodos cortos de tiempo.
- Los sistemas de corriente alterna son más sencillos y seguros de instalar frente a los de corriente continua que con una falla pueden causar un cortocircuito de la batería entera, lo que puede causar que el motor se incendie, mientras que un inversor de corriente alterna soplado, simplemente falla y detiene el coche.

2.1.2.3 ANÁLISIS, SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TIPO DE MOTOR DEL CROSS CAR

Para impulsar eléctricamente a nuestro vehículo podemos elegir entre un motor de corriente continua (DC) o un motor de corriente alterna (AC), cada uno de estos puede brindarnos altas prestaciones para cumplir con nuestros objetivos. En nuestro proyecto por ser experimental **seleccionamos el motor de corriente continua** justificándolo con estas razones:

- El vehículo será turístico y no necesita ser muy veloz, en cambio debe tener una velocidad moderada y este tipo de motor cumple con la potencia requerida para un vehículo de las características antes mencionadas.
- La implementación del motor de corriente continua es más barata por utilizar menos componentes que la implementación de un motor AC, además al tratarse de un cross car pequeño, el motor y sus partes no ocuparán mucho espacio permitiendo que el diseño del vehículo sea más sencillo y menos voluminoso.
- Este tipo de motores generan menos calor en su funcionamiento lo que lo hace más eficiente que los motores AC, y nos hace prescindir de un sistema de refrigeración.
- El motor de corriente continua en los descensos servirá como un generador de corriente eléctrica, comúnmente conocido como freno regenerativo, de esta manera el vehículo será más eficiente energéticamente aprovechando la energía cinética del vehículo para cargar las baterías y aumentar su autonomía.
- Con el motor DC no necesitamos utilizar caja de velocidades porque el control de velocidad lo realizará el controlador eléctrico del motor que será conectado directamente a la transmisión con una relación de transmisión que será determinada en el capítulo tres, eliminando las pérdidas de energía en los cambios de marcha.

2.2. SELECCIÓN DE BATERÍAS

Amarilla J.M, de la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid nos señala que: Las baterías son un componente fundamental en los VEs, ya que son los responsables de almacenar y suministrar la energía eléctrica que estos vehículos necesitan para su funcionamiento. Las características de los VEs tales como la autonomía, velocidad máxima, tiempo de recarga, coste, etc., van a depender fuertemente de la tecnología de baterías que se hayan utilizado en el diseño y fabricación del vehículo.⁴

A demás del artículo anterior, muchos otros textos señalan la importancia de las baterías en un vehículo eléctrico por ende consideramos importante señalar el siguiente subcapítulo.

2.2.1 PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LAS BATERÍAS RECARGABLES

Para saber cuáles son las características importantes a tomar en cuenta para seleccionar las baterías debemos primero conocer ciertos conceptos que ampliarán nuestra visión y conocimiento, para ello, nos basamos en lo que señala Amarilla J.M del Consejo Superior de investigaciones de Madrid.

2.2.1.1 FUERZA ELECTROMOTRIZ, VOLTAJE O POTENCIAL (E).

El voltaje de una celda electroquímica es el resultado de las interacciones químicas de los materiales activos del cátodo y del ánodo, estás

⁴ Amarilla JM (2011), Baterías recargables avanzadas para vehículos eléctricos. *Guía del vehículo eléctrico*, pp 117

interacciones producen energía o fuerza electromotriz que puede ser medida en voltios.

2.2.1.2 CAPACIDAD ESPECÍFICA (Q)

La capacidad es el parámetro que indica la cantidad total de carga eléctrica que es capaz de almacenar la batería. La unidad comúnmente utilizada para expresar la cantidad es el amperio-hora (Ah). Cuando se comparan diferentes tecnologías de baterías, es muy útil normalizar el valor de la capacidad a la masa total (Ah/kg) o al volumen total (Ah/l) de la batería. Ambas normalizaciones son significativas, ya que tanto el peso como el volumen de la batería son dos magnitudes que es importante reducir para una óptima aplicación de la batería en vehículos eléctricos y vehículos híbridos.

2.2.1.3 ENERGÍA ESPECÍFICA (W).

La energía específica indica la cantidad total de energía eléctrica que se puede almacenar en la batería. Éste parámetro electroquímico es muy importante ya que reúne a los dos anteriormente indicados. Así la energía específica másica de una batería se calcula como $W_m = E Q / \text{peso de la batería}$. La energía específica volumétrica, también denominada densidad de energía, se determina a partir de la expresión $W_v = E Q / \text{volumen de la batería}$. Las unidades para ambas energías son Wh/kg y Wh / l. respectivamente.

2.2.1.4 CICLOS DE VIDA

Los ciclos de vida de una batería son el número de ciclos carga-descarga que se pueden llevar a cabo hasta que la capacidad de la batería sea el 80% de su valor nominal.

Es altamente recomendable que las baterías tengan más de 500 ciclos de vida si van a ser utilizadas en vehículos eléctricos.⁵

2.2.1.5 LA TEMPERATURA DE TRABAJO

Un incremento de la temperatura, dentro de ciertos límites, aumenta la actividad de los procesos químicos dentro de la batería y, por lo tanto, la capacidad de ella. Por el contrario, a bajas temperaturas, la actividad química es menor y la capacidad disminuye.

2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS NECESARIAS EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Un informe de CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía) en México explica que:

La fuente de poder más común en los VE son las baterías las cuales deben tener las siguientes características:

- Alta potencia específica
- Prolongado ciclo de vida
- Bajo costo
- Seguridad

⁵ Amarilla JM (2011), Baterías recargables avanzadas para vehículos eléctricos. *Guía del vehículo eléctrico*, 5, (2), pp119-12.

- Mantenimiento simple
- Habilidad para proporcionar una correcta estimación de la energía remanente
- Baja auto descarga
- Habilidad para ser recargada rápidamente.
- Habilidad para ser reciclada
- Sin riesgo de causar contaminación ambiental cuando sean desechadas.⁶

A parte de las prestaciones técnicas que nos puedan brindar los diferentes tipos de baterías creemos que es muy importante el último punto que tomamos del mencionado artículo, ya que nuestro proyecto busca tener el menor impacto posible ya sea esta directo o indirectamente consecuencia del uso del vehículo en las zonas ecológicas, por lo que más adelante seleccionaremos el tipo de batería tomando en cuenta el factor medioambiental.

2.2.3 TIPOS DE BATERÍAS MÁS UTILIZADAS EN AUTOS ELÉCTRICOS

En el artículo de Ceña Alberto y Santamarta José, ambos colaboradores del proyecto REVE (Regulación Eólica con Vehículos Eléctricos) de España, señalan que las principales tecnologías utilizadas en vehículos eléctricos son las siguientes:

⁶ CONAE (2010, .Ficha técnica: auto eléctrico México.

2.2.3.1 PLOMO-ÁCIDO

Los acumuladores de plomo-ácido son las más antiguas y tienen una baja relación entre la electricidad acumulada con el peso y el volumen. Ocupan mucho espacio y pesan mucho, pero son duraderas y de bajo coste, y la tasa de reciclaje supera el 90%. Para conseguir una autonomía de 50 km con una velocidad punta de 70 km/h se necesitan más de 400 kg de baterías de plomo-ácido. El periodo de recarga puede oscilar entre 8 y 10 horas.

2.2.3.2 NÍQUEL CADMIO (NiCd)

Utilizan un ánodo de níquel y un cátodo de cadmio. El cadmio es un metal pesado muy tóxico, por lo que han sido prohibidas por la Unión Europea. Tienen una gran duración (más de 1.500 recargas) pero una baja densidad energética (50 Wh/kg), además de verse afectadas por el efecto memoria.

2.2.3.3 BATERÍAS DE NÍQUEL-HIDRURO METÁLICO (NiMH)

Las baterías recargables de níquel hidruro metálico son muy similares a la de níquel cadmio, pero sin el metal tóxico, por lo que su impacto ambiental es muy inferior. Las baterías recargables de níquel hidruro metálico almacenan de 2 a 3 veces más electricidad que sus equivalentes en peso de níquel cadmio, aunque también se ven afectadas por el efecto memoria, aunque en una proporción menor. Su densidad energética asciende a unos 80 Wh/kg.

2.2.3.4 IONES DE LITIO (Li-ion)

Las baterías de iones de litio deben su desarrollo a la telefonía móvil y su desarrollo es muy reciente. Su densidad energética asciende a unos 115 Wh/kg, y no sufren el efecto memoria. Las baterías de iones de litio se usan en teléfonos móviles, ordenadores portátiles, reproductores de MP3 y cámaras, y probablemente alimentarán la siguiente generación de vehículos híbridos y eléctricos puros conectados a la red. A pesar de sus indudables ventajas, también presentan inconvenientes: sobrecalentamiento, alto coste y, sobre todo, las reservas de litio, sujetas a una gran controversia.

2.2.3.5 BATERÍAS DE POLÍMERO DE LITIO

Es una tecnología similar a la de iones de litio, pero con una mayor densidad de energía, diseño ultraligero (muy útil para equipos ultraligeros) y una tasa de descarga superior. Entre sus desventajas está la alta inestabilidad de las baterías si se sobrecargan y si la descarga se produce por debajo de cierto voltaje.

2.2.3.6 BATERÍAS ZEBRA (NaNiCl)

Una de las baterías recargables que más prometen son las conocidas como Zebra. Tienen una alta densidad energética, pero operan en un rango de temperaturas que va de 270°C a 350°C, lo que requiere un aislamiento. Son apropiadas en autobuses. Entre sus inconvenientes, además de la temperatura de trabajo, están las pérdidas térmicas cuando no se usa la batería. (Ceña, 2009).

2.2.3.7 BATERÍAS PLOMO-ÁCIDO DE CICLO PROFUNDO

El término cíclica, ciclo profundo se refiere en general a las baterías que tienen la capacidad de descargarse completamente cientos de veces. La diferencia principal de las baterías de ciclo profundo y la de un automóvil convencional es que la batería del automóvil está hecha para proveer una rápida cantidad de energía miles de veces en su tiempo de vida, mientras que solamente es capaz de descargarse completamente menos de 50 veces durante su vida y las baterías de ciclo profundo o cíclicas están hechas para descargarse cientos de veces. Cabe decir que en una batería convencional de plomo-ácido el hecho de descargarse completamente hace que su vida útil disminuya bruscamente en poco tiempo.

Este tipo de baterías también se la conoce como baterías secas y se la puede encontrar de dos tipos: Gelatina al electrolito (o sea baterías de GEL), ó con uso de separador de fibra de vidrio con gran capacidad de absorción, en inglés AGM (Absorbed Glass Mat).⁷

⁷ **Recuperado de:** <http://bateriastotal.com/bat/es/content/9-diferentes-tipos-de-baterias>

Tabla 2.4: Prestaciones de las baterías utilizadas en vehículos eléctricos

Tipo de baterías	Energía (Wh/kg)	Energía/Volumen (Wh/litro)	Potencia/Peso (W/kg)	Número de ciclos	Eficiencia energética %
Zebra (NaNiCl)	125	300	> 3000	1000	92.5
Polímero de Litio	200	300	1800	1000	90.0
Iones de litio	125	270	250-1000	1000	90.0
Niquel-Hidruro metálico(NiMH)	70	140-300	150	1350	70.0
Niquel Cadmio (NiCd)	60	50-150	150	1350	72.5
Plomo-ácido	40	60-75	150	600	82.5

Fuente: (Ceña A. & Santamarta J; 2009).⁸

2.2.4 SELECCIÓN DE BATERÍAS PARA EL CROSSCAR

Después de haber visto los tipos de baterías que existen y las características que necesitamos para la implementación vamos a elegir la tecnología que más nos convenga en base a sus características.

2.2.4.1 CAPACIDAD ESPECÍFICA

En cuanto a la capacidad específica las baterías de Ión de litio son las mejores hasta ahora conocidas porque son livianas y tienen una capacidad

⁸ Ceña A. & Santamarta J. El coche eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente. *Revista eólica y del Vehículo Eléctrico*. 3(2), pp 43, <http://www.evwind.es/>

que duplica o triplica a las de Níquel-Cadmio e hidruro metálico, y qué decir de las de plomo ácido, pero este tipo de baterías son más útiles para vehículos eléctricos de alto rendimiento, más pesados y veloces comparados con el resultado final que tendrá nuestro proyecto.

2.2.4.2 NÚMERO DE CICLOS

El avance de las baterías de lón de litio y las de Hidruro metálico han determinado una vida útil muy prolongada de las baterías en los vehículos eléctricos es así que pueden llegar hasta los 1500 ciclos de carga-descarga, pero todo esto a un alto costo pues al tratarse de tecnologías nuevas de baja demanda pueden llegar a precio superiores a los 5000 dólares razón por la cual nuestro proyecto no podría utilizarlas porque están fuera del presupuesto.

2.2.4.3 IMPACTO AMBIENTAL

Todas la baterías son contaminantes, pero unas en mayor grado que las otras y se debe tomar en cuenta también este factor a la hora de elegir una batería. Las baterías de Plomo-ácido a pesar de ser altamente contaminantes hoy en día tienen una industria tecnificada para su reciclaje, por lo que son casi cien por ciento reciclables superando a las demás baterías en su impacto ambiental ya que al ser baterías con materias primas abundantes (por ejemplo el litio), resulta más económico hacerlas nuevas que reciclarlas, y las baterías dañadas reposan en bodegas hasta que se tenga una política o procedimiento técnico para su reciclaje.

2.2.4.5 CRITERIO DE SELECCIÓN

Debido a su bajo costo, a su ciclo de vida medio y a la capacidad específica suficiente para nuestro proyecto **utilizaremos baterías de plomo-ácido de ciclo profundo** que pueden ser la mejor opción para abaratar la implementación manteniendo un alto ciclo de vida de las baterías y brindándonos mejores prestaciones de energía y recarga a un bajo costo. A demás no necesitaremos muchas baterías porque utilizaremos un motor eléctrico pequeño de 48 V, de ésta manera en el capítulo de CÁLCULOS DE LOS COMPONENTES determinaremos específicamente las características de las baterías que utilizaremos en la implementación de tracción eléctrica.

2.3. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DEL MÓDULO PRINCIPAL

La selección del módulo la haremos en base a las siguientes características necesarias para cumplir con los objetivos planteados:

- El voltaje de trabajo tanto del motor y las baterías es de 48V.
- No contaremos con caja de velocidades y se lo realizará con una transmisión directa con relación a determinarse en el capítulo tres, por lo que el control de la velocidad lo debe realizar el controlador actuando como un dosificador de voltaje.
- El controlador debe también tener la capacidad de invertir el giro del motor para permitir al cross car tener marcha adelante y reversa.
- Para aprovechar la energía cinética de la inercia del cross car en los descensos necesitaremos que el controlador cuente con la capacidad de regeneración de energía de tal manera de poder aprovechar dicha energía para convertirla en electricidad con la que se puede recargar las baterías y aumentar la autonomía del vehículo.

Para ampliar el concepto de freno regenerativo nos valdremos del siguiente subcapítulo.

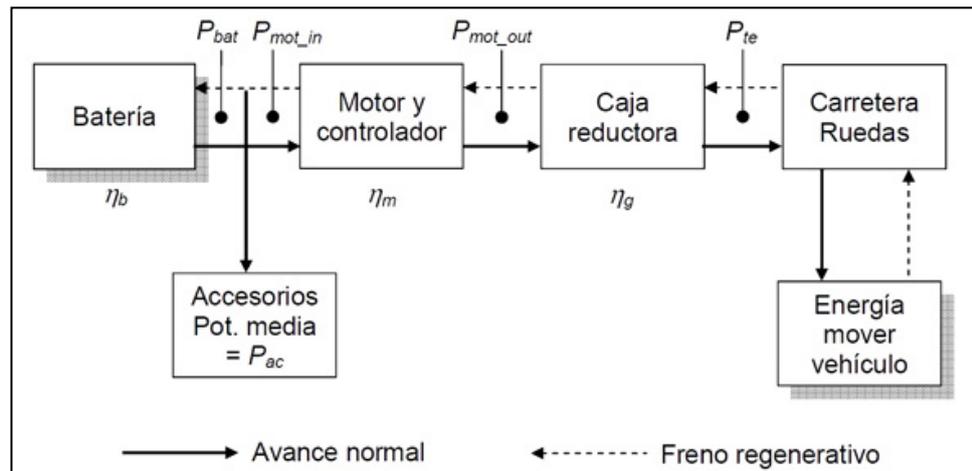
2.3.1 FRENO REGENERATIVO

La Universidad de Chile en su documento de estudio de “El Estado del Arte del freno regenerativo”, en el curso de Electrónica de Potencia de la Facultad de Ingeniería Eléctrica (2012) (Departamento de Electronica de la Universidad de Chile, 2012) nos dice:

“El término frenado regenerativo, a diferencia del freno dinámico en que el motor es llevado a completo reposo, se aplica a un sistema donde la carga ejerce torque negativo sobre el motor, impulsándolo como si fuese un generador logrando devolver energía a la fuente. Este tipo de frenado es una modificación del frenado dinámico, requiere que la tensión inducida sea mayor que la tensión de la fuente. Esto significa que la rotación debe ser mayor que la normal, condición que es posible alcanzar solamente si la carga es de un carácter persecutorio, como en un ferrocarril en marcha cuesta abajo, un ascensor que está descendiendo o un automóvil cuesta abajo. Fuera del exceso de velocidad, se puede generar si se aumenta la intensidad de excitación lo suficiente como para superar la tensión de la fuente; en otros casos, cuando varios motores impulsan una carga común, puedes ser conectados en diversas combinaciones serie o paralelo. El frenado regenerativo es de aplicación también, cuando se desea mantener limitada la velocidad de una carga dada.

Durante el frenado regenerativo, el motor ya sea de corriente alterna o de corriente continua deja de consumir electricidad y comienza a generar. Para

que esta energía pueda ser utilizada en un mejoramiento de eficiencia, se requiere de dispositivos de control necesarios que son circuitos de electrónica de potencia, tales como: interfases para un flujo bidireccional; y convertidores step up o mejor conocidos como boost converter.”



Fuente: Alberto Gonzales, (2010)

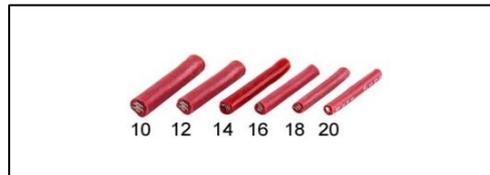
Figura 2.1: Diagrama del sistema de recuperación de energía

2.4. SELECCION DE CABLES

El manual técnico de Conversión de Vehículos Eléctricos de la Organización (Autolibre, 2011) señala que: “El cableado de un vehículo eléctrico es muy importante y a veces se pasa por alto su correcto cálculo durante el diseño de la instalación. Si la selección del cable es inferior a la necesaria obtendremos el recalentamiento de los terminales y disminuirémos la vida útil del controlador.”

Los cables son catalogados con una numeración en base a su grosor como se ve en la figura 2. .Estos calibres varían de acuerdo a la corriente (Amperios) y el voltaje de trabajo (Voltios). Otros factores para el

dimensionamiento de un cable son la temperatura, humedad, y uso del cable. El número más grande corresponde a un cable de menor espesor.



Fuente: Catálogo Cablec, (2013)

Figura 2.2: Grosor de los cables eléctricos

En éste proyecto vamos a necesitar dos tipos de cables:

2.4.1 CABLE DE CONTROL Y TRANSMISIÓN DE SEÑALES

Los cables de control son los que transmitirán señales de baja tensión, principalmente de 12V entre las que están: sensor de la posición del acelerador; palanca de selección de giro del motor; sensor de accionamiento del freno de servicio; interruptor de encendido; activación de accesorios y luces intermitentes, entre otros. Las señales que se van a necesitar son de bajo voltaje (12 a 48V) y de baja corriente con un máximo de 15 A. Entonces buscando en la tabla 2.5 vemos que debemos utilizar un cable número 18.

Tabla 2.5: Calibre de cables eléctricos y su carga máxima

AWG GAUGE CALIBRE	Conductor Diámetro Milímetros	Carga Máxima en Amperes
0000	11.684	380
00	9.26592	283
0	8.25246	245
1	7.34822	211
2	6.54304	181
6	4.1148	101
8	3.2639	73
10	2.58826	55
12	2.05232	41
14	1.62814	32
16	1.29032	22
18	1.02362	16
20	0.8128	11

Fuente: Sergio R. Tirado (2009)

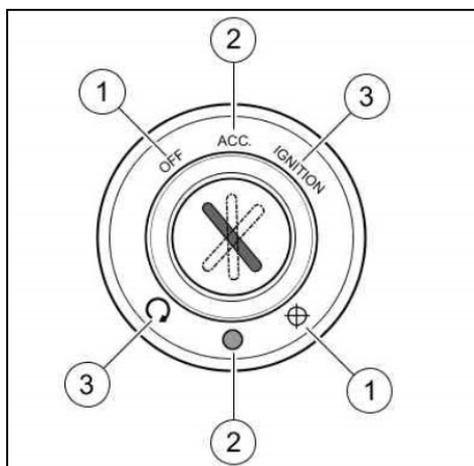
2.4.2 CABLES DE CONEXIÓN DEL MOTOR Y BATERÍA

Este cable es el que va a descargar la energía de las baterías para que sea consumida por el motor cuando el conductor así lo requiera. Las condiciones de trabajo de este cable de potencia son 48 voltios de tensión pero con la gran diferencia que la corriente que transportará desde las baterías hasta el controlador y de este al motor, así como también el proceso contrario en los momentos que funcione el freno regenerativo, podría llegar hasta los 200 Amperios. Observando en la tabla 2.5 el motor y baterías se deben conectar utilizando un cable 0 que tiene un máximo de 245 A.

2.5. INTERRUPTOR PRINCIPAL

El interruptor principal es un contacto que abre o cierra un circuito, nuestro interruptor será el mismo interruptor giratorio del volante del cross car y se manejará en tres posiciones accionado con la llave de encendido que conectará las tres posiciones que son (ver figura 2.3):

- OFF: Apagado del circuito eléctrico
- ACC: Encendido de Accesorios en la que funcionen accesorios como: luces, claxon, e instrumentación.
- ON: Encendido del cross eléctrico (el contactor del motor eléctrico pega sus contactos).



Fuente: Manual del propietario Harley-Davidson, (2006)

Figura 2.3: Interruptor principal

2.6 INSTRUMENTACIÓN EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

Como cualquier sistema, un VE (Vehículo Eléctrico) debe ser capaz de proveer información al conductor. Esta información debe lo más precisa, rápida y confiable que se pueda lograr.

El primer paso es el de elegir las variables, es decir, la información que se quiere obtener. A continuación, se explicarán todas éstas que pensamos serán importantes de incluir en nuestro cross eléctrico.

2.6.1 VELOCIDAD

Una de las más elementales de todas las variables. El objetivo de ésta es simplemente entregar la rapidez del desplazamiento del cross eléctrico.

2.6.2 CORRIENTE

Tener una buena medición de ésta nos permitirá conocer la eficiencia del cross, ya que, a menor corriente existe un menor esfuerzo tanto del motor como del controlador. Además en casos de vehículos eléctricos con freno regenerativo sirve para cuantificar esta implementación, como es nuestro caso.

2.6.3 VOLTÍMETRO

Este instrumento mide la carga existente en la batería. Para esto debe ser conectado en paralelo con la batería. La salida de éste puede darse en

dos formas: Digital o Analógica. La salida analógica consta de un voltímetro con una escala expandida etiquetado en porcentajes. Es importante considerar que una batería se encuentra drenada al 80% de su carga completa, luego se debe medir solo la parte usable por la batería (20% superior) con este instrumento. La digital está compuesta por una pantalla de números que dan una cuantificación precisa de lo medido. Al igual que en el caso analógico, se debe considerar que una batería cuando está a plena carga se encuentra un 8.3% por sobre su valor nominal. Luego esta pantalla debe tener un rango de entre 46 a 48 Volts.

En nuestro cross se implementará un medidor digital.

2.6.4 AMPERÍMETRO

La función de éste es medir el flujo de corriente entre los puntos en que sea conectado. Usualmente se puede conectar entre las baterías y el controlador o entre el controlador y el motor. Al usar un amperímetro éste debe tener como posición normal el centro, ya que, si el auto se diseña con freno regenerativo los flujos de corrientes se desplazarán en ambas direcciones.

2.7 SISTEMA DE PROTECCIÓN

2.7.1 SELECCIÓN DEL CONTACTOR

El contactor mostrado en la figura 2.4 cumple el mismo propósito que el relé de ignición en un automóvil a combustión. Cuando el conductor gira la llave a la posición de partida, el contactor cierra el circuito permitiendo el flujo de corriente hacia el motor. Además tienen la habilidad de manejar

voltajes y cargas de mayor envergadura. Se han visto casos en que contactores de bajo precio han fallado, incluso cuando se encuentran cerrados. De esta manera, se recomienda el uso de contactores especialmente diseñados para VE, ya que, soportan repetidas secuencias de apertura y cerrado sin mucho desgaste. Además están provistos con un sistema de “apagado de chispa” magnético para prevenir un arco entre sus contactos.



Fuente: Catálogo Curtis, (2010)

Figura 2.4: Contactor de corriente coninua 48V

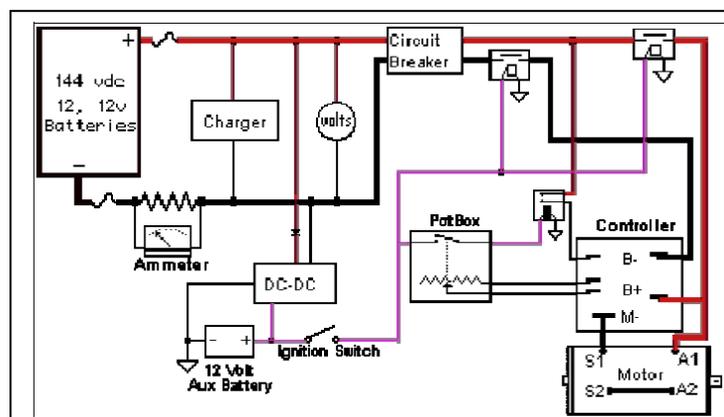
El contactor que necesitamos debe funcionar a 48 V y soportar corrientes de hasta a 200 A, por lo que seleccionamos un contactor de estas características para la implementación del motor eléctrico, que es el que se muestra en la figura 2.4.

2.7.2 FUSIBLES

Este sirve como respaldo del sistema de protecciones. Están diseñados para cortar el circuito cuando la corriente normal de funcionamiento se excede, con el fin de evitar daños en los componentes eléctricos del circuito que por lo general son caros y delicados. Por lo tanto debe estar coordinado con el resto de los elementos, en especial, con los desconectores

(Breakers), que a diferencia de éstos los fusibles si actúan se destruyen, por lo tanto, deben ser remplazados.

Los fusibles son muy importantes dentro de un circuito y se los debe colocar en lugares estratégicos de modo que si existe una anomalía se asegure que el suministro de corriente se corte de inmediato al controlador y al motor, la figura 2.5, muestra un circuito y los lugares donde se deben colocar los fusibles.



Fuente: Manual de circuitos eléctricos, (2009)

Figura 2.5: Diagrama eléctrico de un VE y sus protecciones

2.8. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL MOVIMIENTO

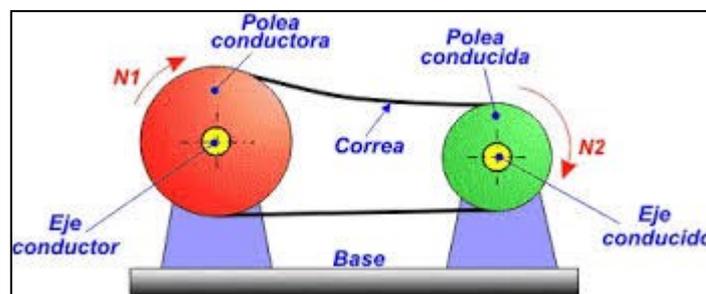
El sistema de transmisión es el encargado de hacer llegar el giro del motor hacia las ruedas motrices del vehículo para que este pueda moverse, además el sistema de transmisión debe variar la relación de transmisión entre el motor y las ruedas con el fin de reducir la velocidad y multiplicar el torque entregado por el motor para así poder aprovechar el

rango de velocidad en el que motor entrega la potencia y el torque óptimo para el que están diseñados.

Entre los sistemas de transmisión de movimiento más utilizados tenemos:

2.8.1 TRANSMISIÓN POR BANDA

En la transmisión por banda eje conductor y conducido ubicados a una distancia C (distancia entre centros), tienen poleas (ruedas acanaladas) de diferente o igual tamaño en sus extremos de acuerdo a la relación de transmisión que se requiera, y estas a su vez se encuentran unidas por medio de una banda (correa de caucho) cuya forma abraza a las canales de las poleas manteniendo cierta tensión que evita el deslizamiento entre las poleas y la banda, haciendo que el movimiento de giro de la polea conductora sea transmitido por la banda en el mismo sentido hacia la polea conducida como se muestra en la figura 2.6, La diferencia de velocidades angulares $N1$ y $N2$ dependerá de la relación de diámetros de las poleas.



Fuente: Libardo Vanegas (2012)

Figura 2.6: Transmisión por banda

2.8.1.1 VENTAJAS DE LA TRANSMISIÓN POR BANDA

- Transmiten potencia a distancias grandes
- Amortiguan impactos
- Versatilidad: posiciones de los ejes y sentidos de giro
- Elementos comercializados
- Simplifican la transmisión, diseño sencillo
- Trabajo silencioso
- No requieren lubricación ni fundas especiales
- Pueden transmitir potencia a varios ejes

2.8.1.2 DESVENTAJAS DE LA TRANSMISIÓN POR BANDA

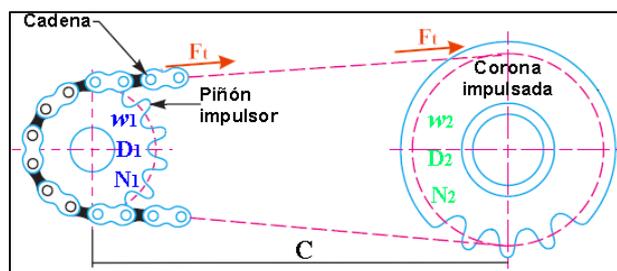
- Relación de transmisión no constante (deslizamiento).
- Grandes fuerzas en apoyos y ejes (tensado inicial).
- Alargamiento de las correas.
- A veces se requieren dispositivos tensores.
- Duración de la correa afectada por temperatura y humedad.
- Aceite, polvo y humedad reducen el coeficiente de fricción.
- Vida de la banda relativamente corta.

2.8.2 TRANSMISIÓN POR CADENA

En la transmisión por cadena el eje conductor y conducido ubicados a una distancia C (distancia entre centros), tienen piñones (ruedas dentadas) en sus extremos, estas tienen diferente o igual tamaño, de acuerdo a la relación de transmisión que se necesite. Los piñones a su vez se encuentran unidos por medio de una cadena cuyos eslabones encajan en los dientes de los piñones, haciendo que el movimiento del

piñón conductor transmita una fuerza tangencial F_t hacia el piñón conducido, produciendo el giro de éste en el mismo sentido, como se muestra en la figura 2.7, La diferencia de velocidades angulares y par de giro entre el eje conductor y el eje conducido depende de la relación que existe entre el número de dientes entre piñón conducido y piñón conductor, ó de la relación de sus diámetros primitivos.

“La transmisión por cadena es similar a la transmisión por correa. Se emplea cuando se tienen que transmitir grandes potencias con relaciones de transmisión reducidas.” (Mott, 2006)



Fuente: Ayala R, Arroyo E. (2013).

Figura 2.7: Diagrama de transmisión por cadena

2.8.2.1 VENTAJAS DE LA TRANSMISIÓN POR CADENA

- Transmiten potencia a distancias grandes
- Relación de transmisión prácticamente constante
- Sometidas a menores cargas que las transmisiones por correas (no requieren tensado inicial)
- Mejor resistencia a las condiciones ambientales que las transmisiones por correas.

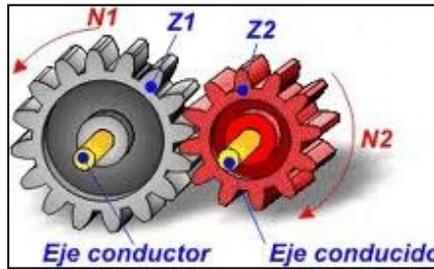
- Simplifican la transmisión.
- Pueden transmitir potencia a varios ejes.
- Tienen una amplia gama de elementos en base a las de necesidades de uso.
- Buen rendimiento mecánico 0.94 a 0.98

2.8.2.2 DESVENTAJAS DE LA TRANSMISIÓN POR CADENA

- Requiere lubricación y carcasas.
- Relativamente tienen un alto costo
- Requiere montaje y mantenimiento minuciosos

2.8.3 TRANSMISIÓN POR ENGRANES

Este sistema de transmisión es el más utilizado en máquinas, autos, herramientas, etc. Primordialmente se los utiliza para transmitir torques altos con alta eficiencia. En la figura 2.8, muestra como es el funcionamiento básico de esta transmisión, sin embargo los mecanismos que la utilizan lo hacen con un tren de engranajes (cajas de reducción o multiplicación), que no es más que la utilización sucesiva de esta configuración con diferentes relaciones de transmisión para variar y conseguir la velocidad y el torque deseados en dichos mecanismos. La relación de transmisión (i) depende de la relación entre el número de dientes del piñón conducido z_2 y piñón conductor z_1 ($i = z_2/z_1$).



Fuente: Cenise, (2008).

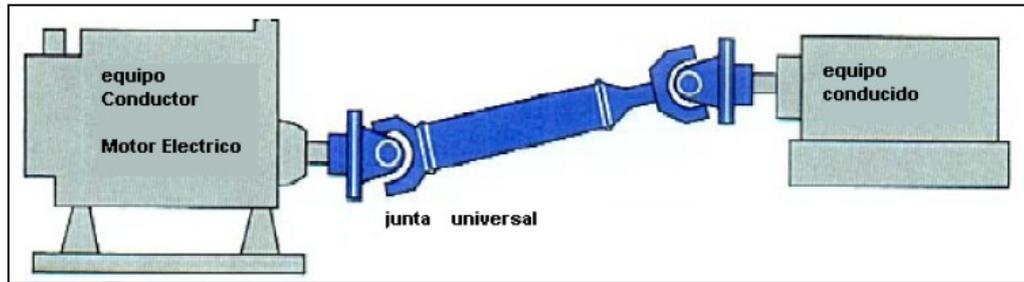
Figura 2.8: Funcionamiento transmisión por engranes

2.8.3.1 VENTAJAS DE LA TRANSMISIÓN POR ENGRANES

- Relación de transmisión constante e independiente de la carga.
- Seguridad de funcionamiento y larga duración, soportando sobrecargas.
- Dimensiones reducidas y elevado rendimiento (exceptuando algunos tipos de reductores de ejes cruzados).
- Rendimiento elevado 0.93 a 0.99.

2.8.3.2 DESVENTAJAS DE LA TRANSMISIÓN POR ENGRANES

- Transmiten potencia a corta distancia por lo que necesita de elementos auxiliares como juntas universales para poder transmitir movimiento a distancias más largas como se muestra en la figura 2.9.
- Costo elevado
- Ruido durante el funcionamiento
- Transmisión por engranajes
- Requieren mantenimiento: control y cambio del lubricante periódico.



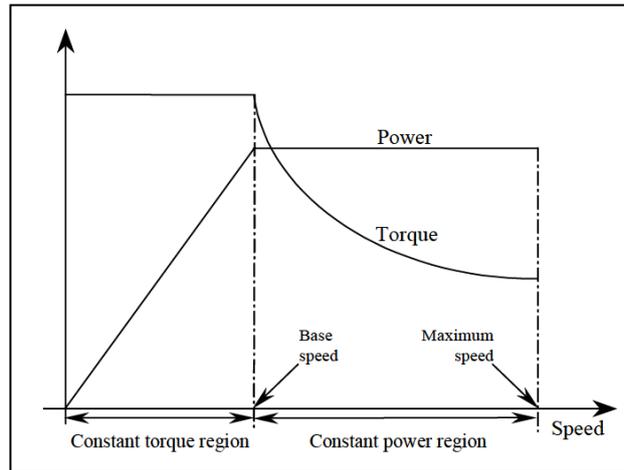
Fuente: (Conae, 2010)

Figura 2.9: Transmisión por junta universal

2.8.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN

En la revista Car Magazine – Edición impresa – Suplementos “Green Car” 2010 – 2011, señala que: “Un motor eléctrico no necesita cambio de marchas exceptuando algún mecanismo para distinguir avance y retroceso, que bien puede ser la inversión de polaridad del propio motor. Desarrolla un par máximo y constante desde 0 rpm y potencia constante a partir de medio régimen y hasta su límite de giro (teóricamente más del doble que el límite de un motor de gasolina, no digamos un diesel). Esto es lo que hace posible que en la misma “marcha” podamos arrancar desde parado y circular a la máxima velocidad.” (ver figura 2.10)

A continuación se detallan varios puntos que determinaran el tipo de transmisión que se escogerá.

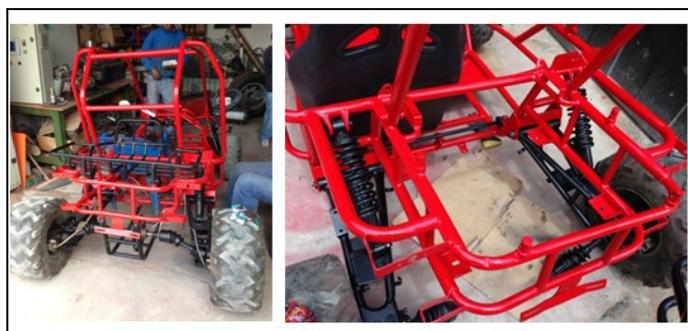


Fuente: (Laboratoire de Génie Electrique, 2009)

Figura 2.10: Curva torque-potencia vs velocidad motor DC

2.8.4.1 UBICACIÓN DEL MOTOR Y LA TRANSMISIÓN

En nuestro proyecto utilizaremos una configuración de transmisión con el motor en la parte posterior y las ruedas motrices también en la parte posterior, de manera que la transmisión estará detrás de los ocupantes del vehículo, justamente en el espacio que se muestra en la figura 2.11, lugar en donde venía ubicado el motor y transmisión originales del vehículo.



Fuente: Grupo investigador

Figura 2.11: Lugar de ubicación de la transmisión del cross

2.8.4.2 SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN

- El conjunto caja de velocidades - diferencial de éste vehículo se encontraba destruido por lo que vamos a sustituirlo por un **conjunto de transmisión de relación fija** que se determinará en el capítulo 3. Considerando que un motor eléctrico puede entregar su torque máximo desde que sale del reposo.
- Debido a que la **transmisión por banda** puede presentar pérdidas de energía y variación de la relación **por resbalamiento, la descartamos para nuestro proyecto.**
- La **transmisión por engranes** (caja de velocidades) constituye una buena opción para el vehículo con motor de combustión interna pero al tratarse de un motor eléctrico nos permite manejar su torque con mayor facilidad por tener un torque constante durante un amplio rango de revoluciones. Este tipo de transmisión tiene **el inconveniente que es costoso y de diseño complejo**, además que necesita mantenimiento periódico, así que **la descartamos para nuestro proyecto.**
- Nosotros **seleccionaremos entonces la transmisión de cadena** permitiéndonos tener mayor distancia entre el eje del motor eléctrico y el eje de transmisión de las ruedas, con una eficiencia del conjunto del 95%, además de ser **sencilla y con menos inconvenientes** por lo que es la más usada en cuadrones demostrando buenas prestaciones de servicio, aunque se pierda un poco de maniobrabilidad del vehículo en curvas a altas velocidades por el arrastre que produce al no tener diferencial, aunque en nuestro vehículo por seguridad no excederá los 50 km/h.

- El control de la velocidad se lo hará con un reóstato ubicado en el acelerador del cross car que envíe la señal al controlador del motor eléctrico para controlar su velocidad en base a la cantidad de intensidad de corriente que reciba. **El control de avance y retroceso entonces lo haremos utilizando la inversión de polaridad del motor** eléctrico seleccionado, simplificando la transmisión.

CAPITULO 3

3. DISEÑO Y ADAPTABILIDAD DE LOS ELEMENTOS A IMPLEMENTARSE

El vehículo que escogimos para implementar la propulsión eléctrica es un Cross car, marca SONYC, modelo YH150A, y se lo muestra en la figura 3.1. Éste vehículo se encontraba averiado y con los engranes de la transmisión rotos, motivo por el que lo consideramos ideal para reutilizarlo y transformarlo en un vehículo ecológico.



Fuente: Grupo investigador

Figura 3.1: Cross car escogido para la implementación

En el capítulo tres se pone a consideración los cálculos necesarios para la implementación del sistema de tracción eléctrica en el vehículo tipo cross car, por lo que se determinarán las características específicas que tendrán cada uno de sus componentes así como también las modificaciones estructurales de la carrocería necesarias para cumplir con los objetivos señalados.

El cross car antes de empezar la implementación cuenta con las características originales de fábrica mostradas en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Características del cross car seleccionado

SISTEMA	DESCRIPCION	
CHASIS	Largo	2075mm
	Ancho	1235mm
	Altura	1400mm
	Peso Total	165 Kg
TRANSMISION	Transmisión automática	3 velocidades
	Acople al motor	Por banda
MOTOR	Marca	SONYC
	Potencia máxima	7.5 KW @ 7500 rpm
	Cilindraje	150 cc
	Relación de compresión	9,21:1
	Torque máximo	9.5 Nm @ 5500 rpm
BATERÍA	Enfriamiento	Por aire
	Voltaje	12 V
	Amperaje	6.5 Ah

Fuente: Ficha técnica Sonyc YH150A, (2008).

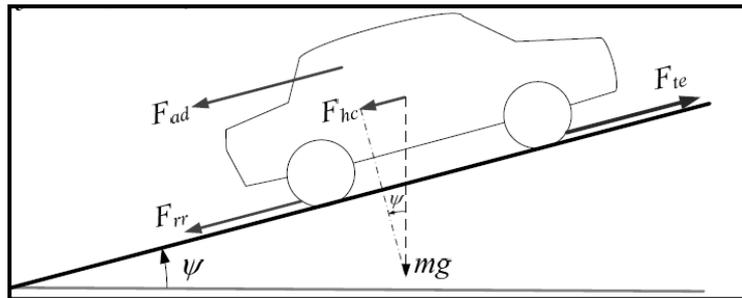
3.1. DISEÑO DINÁMICO DEL CROSS CAR

El estudio de sistemas dinámicos es una parte fundamental de la teoría de control, ya que para poder obtener el desempeño deseado de un sistema es necesario primero conocer su respuesta ante las distintas condiciones de operación. Una forma de entender la dinámica de un sistema es la obtención de un modelo matemático abstracto, el cual es obtenido mediante la aplicación de leyes físicas que rigen su comportamiento, como las leyes de Newton para sistemas mecánicos (Ogata, 2003). Este modelo matemático es un conjunto de ecuaciones que representan de forma aproximada la respuesta del sistema.

El vehículo en pendiente tendrá que cumplir con la Segunda ley de Newton que plantea que la sumatoria de fuerzas en el eje x es igual a la

masa del Cuerpo en movimiento por la aceleración que este tenga (Ver ecuación 1). Las ecuaciones para el cálculo de la fuerza de tracción fueron tomadas de (Larminie, 2003).

$$F_{te} - F_{rr} - F_{ad} - F_{hc} = m \cdot a \quad \text{Ec.1}$$



Fuente: M Durán, CENIDET, México

Figura 3.2: Fuerzas actuantes en vehículo en una pendiente

En donde (Ver figura 3.2):

F_{te} = fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo eléctrico.

F_{rr} = fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los neumáticos

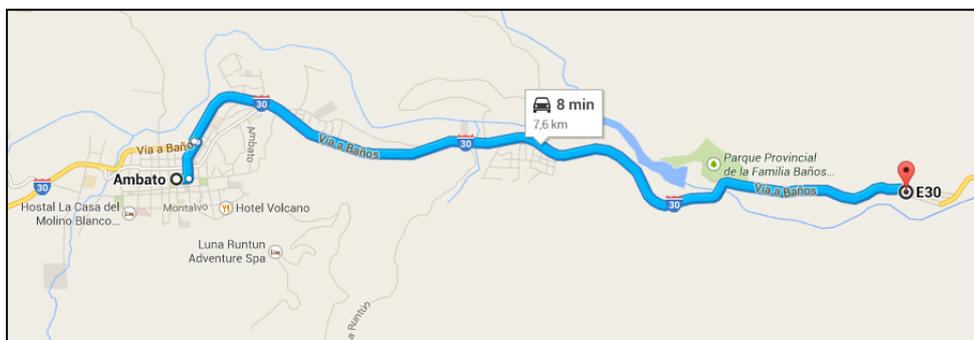
F_{ad} = fuerza de fricción con el viento

F_{hc} = Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente

Para empezar con los cálculos debemos tener en cuenta tres parámetros fundamentales que son:

- Peso total del vehículo (incluido los ocupantes)
- Velocidad de circulación del vehículo
- Porcentaje de pendiente que va a subir el vehículo
- Aceleración que tiene el vehículo en movimiento

En el cálculo de potencia para impulsar el cross car necesitamos plantearlo en base a la condición más exigente que tenemos en el recorrido de la ciudad de Baños, esto significa que tendrá que impulsar a dos personas (150Kg , es decir 75Kg por persona) en una pendiente del 10% (ver tabla 3.2), a una velocidad promedio de 20 km/h. Si esta condición se cumple, entonces el vehículo podrá cumplir con las demás condiciones del recorrido, ya que el recorrido elegido mostrado en la figura 3.3, se repetirá de ida y vuelta, y es en el recorrido de vuelta en donde deberá sortear la parte más exigente que está compuesta por ligeras pendientes con partes planas. Los vehículos eléctricos están diseñados para recorrer en lugares planos con pendientes poco pronunciadas para poder tener una autonomía considerable, es así que a esto enfocaremos nuestro diseño.



Fuente: Aplicación Google maps.

Figura 3.3: Recorrido del cross car turístico

El recorrido señalado inicia en el Parque central de Baños de Agua Santa, en la calle Ambato sale hasta llegar a la vía Baños-Puyo (carretera E30), tomando ésta carretera y pasando por el puente de la represa de Agoyán hasta llegar a la entrada del primer túnel vía al Puyo. Este recorrido tiene un total de 7.6 Km de ida y 7.6 Km de retorno con un total de 15.2 Km.

Tabla 3.2: Equivalencia entre grados de pendiente y porcentaje.

GRADOS DE PENDIENTE (°)	PORCENTAJE PENDIENTE %
1	1.75
2	3.49
3	5.24
4	6.99
5	8.75
5.71	10.00
10	17.63
11.35	20.07
15	26.79
20	36.40
25	46.63
30	57.74
35	70.02
40	83.91
45	100.00

Fuente: Equipo de investigación

3.1.1 FUERZAS ACTUANTES SOBRE EL VE EN PENDIENTES

3.1.1.1 FUERZA DE FRICCIÓN ENTRE LA SUPERFICIE A RODAR Y LOS NEUMÁTICOS

Esta fuerza es la que se opone al movimiento del vehículo por producirse fricción (energía convertida en calor) entre los neumáticos y la superficie donde se esté desplazando el vehículo, y está dada por la ecuación 2.

$$F_{rr} = \mu_{rr} \cdot m \cdot g \cdot \cos(\psi) \quad \text{Ec.2}$$

En donde:

μ_r = coeficiente de rozamiento dinámico entre caucho y asfalto (0.015) tomado de GTZ Matemática aplicada a la técnica del automóvil.

m = masa del vehículo eléctrico esto incluye el bastidor con el motor eléctrico, las baterías, el sistema de control y pasajeros (420kg).ver tabla 3.4

Θ = ángulo de la pendiente en grados (5.71°).

$$F_{rr} = \mu_{rr} \cdot m \cdot g \cdot \cos(\psi)$$

$$F_{rr} = 0.015 \cdot (420kg) \cdot \left(\frac{9.8m}{s^2}\right) \cdot \cos(5.71^\circ)$$

$$F_{rr} = 61.433N$$

3.1.1.2 FUERZA DE FRICCIÓN CON EL VIENTO

Esta fuerza, ya que el vehículo estará en movimiento será la ejercida por la acción del viento en contra del avance del vehículo, esta fuerza se aplica entonces sobre la sección transversal del cross car (ver figura 3.4) y será negativa por estar opuesta al movimiento. En situaciones reales esta podría cambiar de sentido y ser positiva si el viento estuviera en el mismo sentido del movimiento, pero por motivo de diseño se la considera contraria. Esta fuerza está dada por la ecuación 3.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_d \cdot v^2 \quad \text{Ec.3}$$

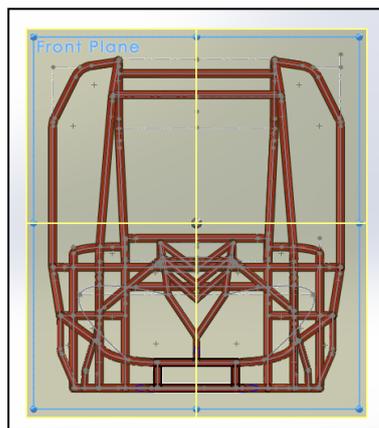
En donde:

ρ = es la densidad del aire (1.0236 kg/ m^3) a 1826 m.s.n.m altitud a la cual se encuentra ubicada la ciudad de Baños de Agua Santa.

A = es la sección transversal de cross car en m^2

C_d = coeficiente aerodinámico 0.3 a 0.8 en vehículos de turismo (0.6) (Kindler, 1986).

v^2 = producto de la velocidad por la velocidad del cross car en m/s (la fuerza de fricción con el viento es directamente proporcional a la velocidad del vehículo, más velocidad mayor fuerza).



Fuente: Grupo investigador

Figura 3.4: Sección transversal del cross car

Cálculo de la sección transversal:

$$A = \text{Ancho} * \text{alto}$$

$$A = (1.56)m * (153)m$$

$$A = 2.028m^2$$

Cálculo de la fuerza de fricción con el viento

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_d \cdot v^2$$

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1.0236kg}{m^3} \right) \cdot (2.028m^2) \cdot (0.6) \cdot \left(\frac{6.95}{s} \right)^2$$

$$F_{ad} = 30.08N$$

La velocidad con la que se calculó la fuerza de fricción con el viento es de 6.95m/s equivalente a 25 Km/h, por ahorro de energía, y aumento de autonomía, consideramos que ésta será la velocidad apropiada para subir las pendientes, mientras que para lugares planos la velocidad máxima estimada es de 50 Km/h.

3.1.1.3 CÁLCULO DEL COMPONENTE DEL PESO DEL VEHÍCULO EN LA PENDIENTE

Esta fuerza, es la componente del peso sobre el eje x, cuando el vehículo se desplaza en una pendiente. Constituye el componente de la sumatoria de fuerzas que más exige al motor eléctrico, ya que la componente de la fuerza del peso aumenta su magnitud mientras mayor es el ángulo de la pendiente. El peso aplicado en la ecuación 4, es el peso total, incluyendo los pasajeros y las baterías, tal como se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Pesos del vehículo para el diseño

COMPONENTE	PESO EN KG
Carrocería	105
Baterías	148
Motor eléctrico	17
Pasajeros	150
TOTAL	420

Fuente: Equipo de investigación

$$F_{hc} = m \cdot g \cdot \text{sen}(\psi) \quad \text{Ec.4}$$

$$F_{hc} = 420Kg \cdot 9.8m/m^2 \cdot \text{sen}(5.71^\circ)$$

$$F_{hc} = 409.515N$$

3.1.1.4 FUERZA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA TOTAL

Esta es la fuerza que necesita proveer el motor eléctrico para impulsar al vehículo. Despejando la fuerza de tracción eléctrica de la ecuación 1 entonces tenemos:

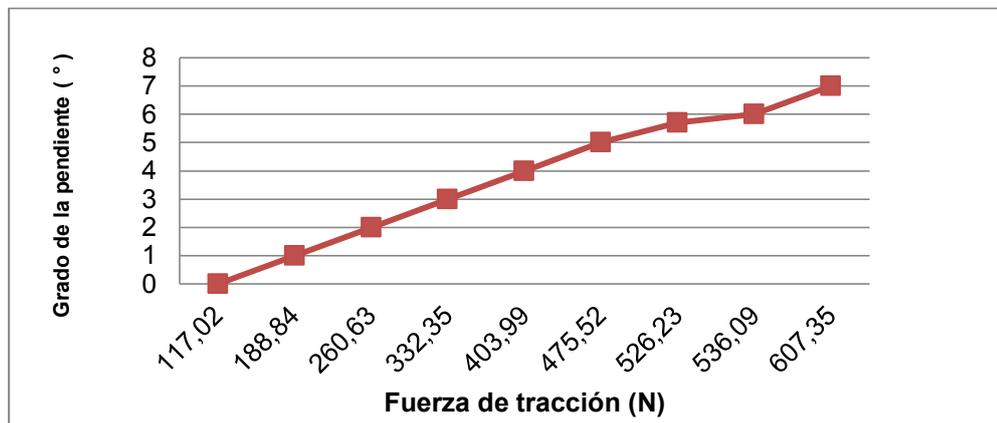
$$F_{te} = m \cdot a + F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} \quad \text{Ec.5}$$

$$F_{te} = (420kg) \cdot \left(\frac{0.06m}{m^2}\right) + 61.433N + 30.08N + 409.515N$$

$$F_{te} = 526.23N$$

Esta fuerza va variando de acuerdo al grado de pendiente (en grados °) en el que se encuentre desplazándose el vehículo, y los resultados de estos cálculos para diferentes grados de inclinación se pueden ver en la figura 3.5.

La aceleración que tomamos para este cálculo es 0.06 m/s^2 por ser una pendiente, y al tratarse de un vehículo eléctrico de turismo nos interesa mantener una aceleración pequeña alcanzando una velocidad de 25 km/h y ganar autonomía.



Fuente: Grupo de investigación

Figura 3.5: Fuerza de tracción en pendiente vs grado de inclinación.

3.2 CÁLCULO DE POTENCIA Y SELECCIÓN DEL MOTOR

3.2.1 CÁLCULO DE POTENCIA

La potencia que necesitamos que tenga el motor para cumplir con los objetivos planteados anteriormente la calcularemos con la ecuación 6, donde se expresa que la potencia es igual al producto de la fuerza de tracción necesaria para mover al vehículo y la velocidad máxima que llevará el cross. (la velocidad máxima en pendiente $30 \text{ km/h} = 8.34 \text{ m/s}$)

$$P_{calculada} = F_{te} \cdot V_{max} \quad \text{Ec.6}$$

$$P_{calculada} = 526.23 \text{ N} (8.33 \text{ m/s}^2)$$

$$P_{calculada} = 4383.50 \text{ W}$$

Suponiendo que existan pérdidas de energía de un 20%, es decir una eficiencia del motor de un 80% tenemos que utilizar la ecuación 7.

$$P_{motor} = \frac{P_{calculada}}{eficiencia} \quad \text{Ec.7}$$

$$P_{motor} = \frac{4383.50 \text{ W}}{0.80}$$

$$P_{motor} = 5479.37 \text{ W} = 5.47937 \text{ kW}$$

3.2.2 SELECCIÓN DEL MOTOR

Una vez determinado en el capítulo dos el tipo de motor que vamos a utilizar, buscamos fabricantes de motores eléctricos y encontramos en Latinoamérica una empresa uruguaya llamada ORGANIZACIÓN AUTOLIBRE que distribuye motores y accesorios eléctricos para utilizarlos en vehículos, es así que la disponibilidad de motores de corriente continua que tienen, es la que indica la tabla 3.4, de la que escogeremos la mejor opción para nuestro proyecto.

Tabla 3.4: Comparativa motores eléctricos DC para vehículos eléctricos

IDENTIFICACIÓN MOTOR DC	VOLTAGE (V)	POTENCIA (kW)	EFICIENCIA (%)	VELOCIDAD (RPM) máx	PESO (kg)	CARGA MÁXIM (kg)
DRIVE 1	72V	4.8 nominales 15 máx	90	3700	13	600
DRIVE 2	48 a 144V	26 nominales 63 máx	92	5500	90	2500
DRIVE4	24 a 48V	4.5 nominales 11.2 máx	90	3200	14	400
DRIVE 5 ME1003	48 a 72V	12 nominales 22 máx a 72V 6 nominales 9.5 máx a 48v	90	5000 a 72V 2600 a 48V	17	600

Fuente: (<http://www.autolibreelectrico.com/archives/category/productos>)

Seleccionamos la alternativa del motor eléctrico Drive 5 porque cumple con las características que buscamos en el cálculo de potencia y puede llegar desempeñar la potencia calculada y la capacidad de carga es mayor al peso total del vehículo, es así que tenemos un margen más amplio de peso para poder utilizarlo de mejor manera en la selección de las baterías recargables.

Para ampliar las razones por las que seleccionamos el motor, a continuación se detalla las especificaciones del mismo.

3.2.2.1 ESPECIFICACIONES DEL MOTOR SELECCIONADO

La figura 3.6 muestra el motor seleccionado del que a continuación se detallan las características más importantes, que ampliarán las razones por las que se lo escogió.



Fuente: (MOTENERGY INC., 2010)

Figura 3.6: Motor ME1003 seleccionado

a. Características del motor AUTOLIBRE DRIVE 5 DE TRACCIÓN 48 A 72 V

- Motor de corriente continua de tipo imanes permanentes con escobillas.
- Alta eficiencia de aproximadamente 90%.
- Ciclo de vida de las escobillas de 1500 horas a 200 A.
- Motor con carcasa abierta, diseñado con un ventilador interno para su enfriamiento.

- Soporte de las escobillas de fácil remoción, sin tener que sacar los cojinetes del eje motor.
- Capacidad del motor de funcionar como freno regenerativo.
- Voltaje: 48 a 72 V.
- Rotación máxima 5000 RPM a 72 V y 2600 rpm a 48V.
- Motor Corriente máxima: 400 A/1min.
- Potencia 6KW nominales y 9KW máximos @ 48V; 12KW nominales y 22KW máximos @ 72V.
- Torque máximo 240 lb-in ó 27.15 Nm a 48V.
- Peso: 17 Kg.
- Diámetro. 20 cm y 30 cm de profundidad permite impulsar vehículos de hasta 600 Kg

Para realizar los cálculos también son imprescindibles las curvas de comportamiento del motor eléctrico seleccionado, por lo que la figura 3.7 que nos fue proporcionada por el fabricante nos las mostrará.

Después de seleccionado el motor eléctrico para el cross calcularemos la relación de la transmisión por cadena que fue seleccionada en el capítulo dos. Para este cálculo necesitamos el torque necesario en las ruedas motrices y el torque generado por el motor.

3.3.1 CÁLCULO DEL TORQUE NECESARIO EN LAS RUEDAS

El torque que se generará con la acción de la fuerza de tracción, se lo calcula con la ecuación 8, donde por definición el torque es el producto de la fuerza aplicada F_{te} por la distancia, que en este caso corresponde al radio de la rueda posterior r_{rueda} .

$$T_{rueda} = F_{te} \cdot r_{rueda} \quad \text{Ec. 8}$$

$$T_{rueda} = 526.23N (0.2 m)$$

$$T_{rueda} = 105.25Nm$$

3.3.2 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

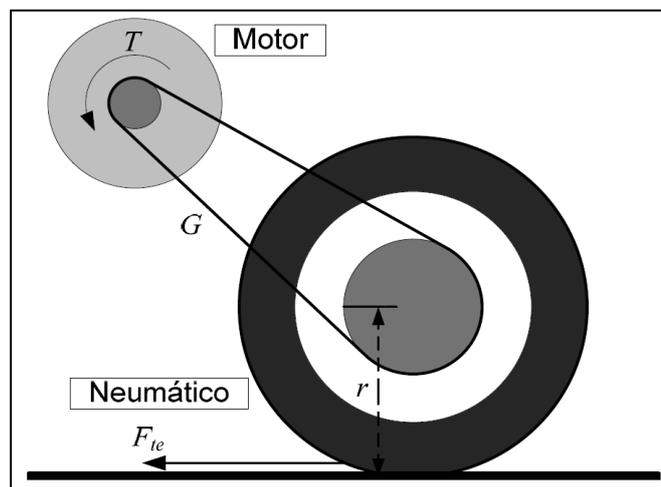
Una vez determinada la fuerza de tracción eléctrica que necesitamos para mover el cross car con las condiciones antes expuestas ahora determinaremos la relación de transmisión adecuada para aprovechar de mejor manera el torque del motor eléctrico seleccionado para lo cual utilizaremos la Ecuación 9, que es el torque calculado cuando la máquina eléctrica entrega potencia (funciona como impulsor) y también la ecuación 10 cuando el motor no tiene carga pero está girando es decir está

funcionando como un generador de energía para recargar las baterías (fase de regeneración del motor eléctrico),

$$T_{Motor} = \frac{r_{rueda}}{n_g \cdot G} \cdot F_{te} \quad \text{Ec.9}$$

$$T_{regeneración} = n_g \cdot \frac{r_{rueda}}{G} \cdot F_{te} \quad \text{Ec.10}$$

La figura 3.8 muestra cada uno de las variables en donde:



Fuente: (Durán, 2010)

Figura 3.8: Representación del torque en la transmisión del vehículo eléctrico

T_{Motor} = torque del motor necesario para impulsar el cross car

$T_{regeneración}$ = torque generado en el motor cuando está sin carga eléctrica y sirve para la etapa de regeneración de energía.

r_{rueda} = Radio de giro de la rueda impulsora (rueda posterior que estará conectada al motor eléctrico que mide 0.20m).

n_g = eficiencia de la transmisión elegida en el cross car. (0.95)

G = relación de transmisión entre el motor y las ruedas impulsoras

F_{te} = Fuerza de tracción eléctrica (fuerza del motor)

Entonces si tenemos la ecuación 9.

$$T_{motor} = \frac{r_{rueda}}{n_g \cdot G} \cdot F_{te}$$

Reemplazando la ecuación 8 en la ecuación 9 tenemos entonces:

$$T_{motor} = \frac{T_{rueda}}{n_g \cdot G}$$

Podemos despejar la relación de transmisión G , ya que conocemos las demás variables, de manera que la relación de transmisión queda expresada:

$$G = \frac{T_{rueda}}{n_g \cdot T_{Motor}}$$

$$G = \frac{105.25Nm}{0.95 (27.12Nm)}$$

$$G = 4.08$$

3.3.3 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MÁXIMA

Considerando que el motor eléctrico seleccionado tiene una velocidad angular variable (W_{motor}) de 0 y 2600rpm, calcularemos ahora la velocidad máxima que puede desarrollar el vehículo con esta relación de transmisión.

Entonces transformando a radianes por segundo tenemos:

$$W_{motor} = \frac{2600 \text{ rev}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = 272.27 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La velocidad angular en la rueda W_{rueda} se puede calcular con la ecuación 11, que nos dice:

$$W_{rueda} = \frac{W_{motor}}{G} (n_g) \quad \text{Ec.11}$$

Remplazando:

$$W_{rueda} = \frac{\frac{272.27 \text{ rad}}{\text{s}}}{4.08} \cdot (0.95) = 63.4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Con la ecuación 12, podemos entonces calcular la velocidad lineal de la rueda (V_{rueda}) en Km/h.

$$V_{rueda} = W_{rueda} (r_{rueda}) \quad (3.6) \quad \text{Ec.12}$$

$$V_{rueda} = 63.4 \frac{\text{rad}}{\text{s}} (0.2\text{m}) (3.6 \frac{\text{km.s}}{\text{m.h}})$$

$$V_{rueda} = 45.648 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

3.4 SELECCIÓN DE LA CADENA Y PIÑONES DE LA TRANSMISIÓN

3.4.1 SELECCIÓN DE LA CADENA

Para seleccionar una cadena es preciso conocer las condiciones de funcionamiento a las que se va a enfrentar que principalmente son:

- La potencia a transmitir.
- La velocidad de giro del eje motor y del conducido.
- Las condiciones de trabajo, las cuales harán que la potencia a transmitir sea mayor con un factor de servicio.

Potencia máxima del motor = 9 KW

Velocidad de giro del eje motor= 2500 rpm

Velocidad del eje conducido= 650 rpm

3.4.1.1 FACTOR DE SERVICIO

Este factor es un factor de seguridad de diseño que depende de la carga a la que va a estar sometida la cadena. La tabla 3.5, muestra los factores de servicio sugeridos según la carga.

La cadena a elegir transmitirá el giro del motor eléctrico a la transmisión que tendrá una exigencia media y un choque moderado porque es un vehículo liviano. Nos ubicamos en la siguiente tabla 3.5, e identificamos que necesitamos un factor de servicio de 1,3.

Utilizando este factor de servicio, calculamos la potencia de diseño de la cadena con la ecuación 13.

$$P_{diseño} = P_{motor} (n_g)(Ks) \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

P_{motor} = Potencia del motor

Ks = Factor de servicio seleccionado (1.3)

n_g = eficiencia del motor

$$P_{diseño} = 9KW(0.9)(1,3)$$

$$P_{diseño} = 10.53KW$$

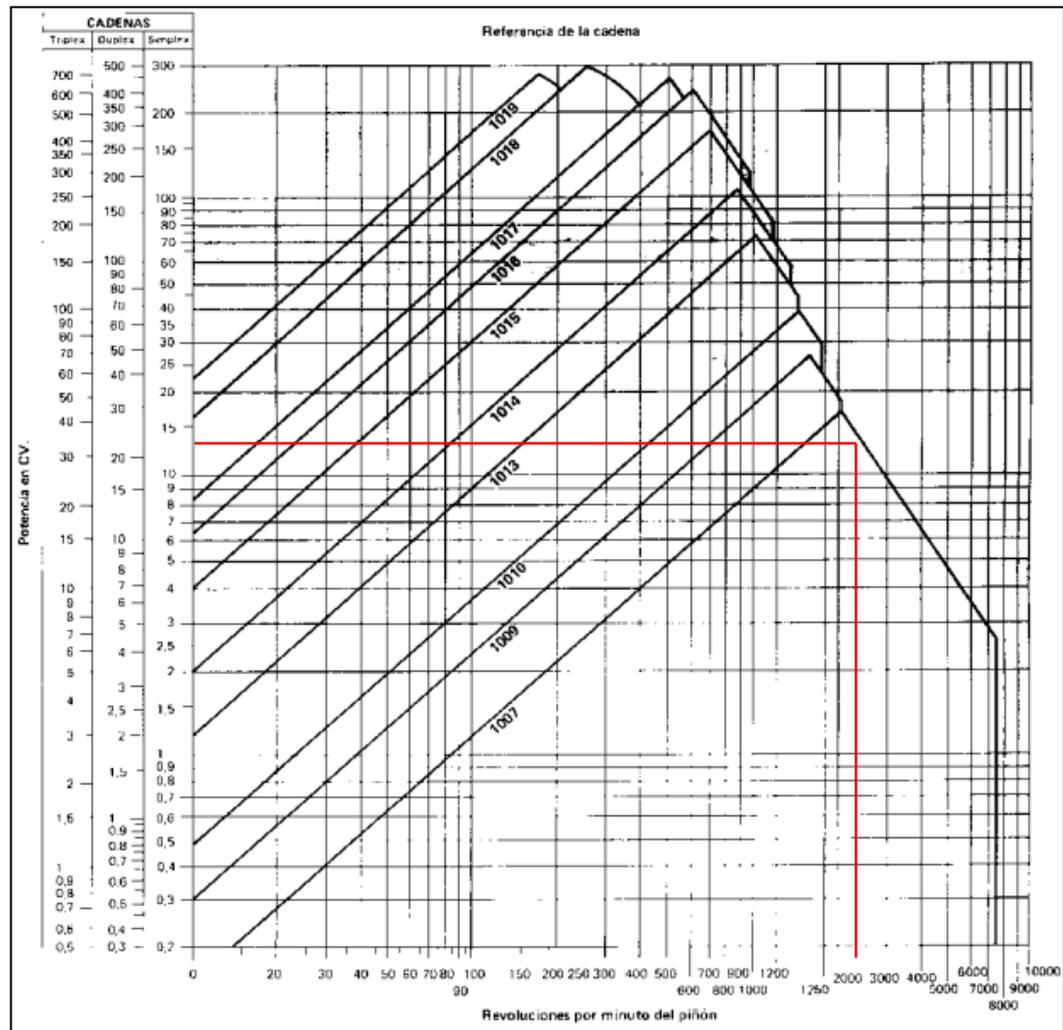
Tabla 3.5: Factores de servicio para transmisiones por cadena

Tipo de Carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramientas, grúas, transportadores pesados, mezcladores de alimentos, molinos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillo, transportadores alternos, accionamiento de molino de rodillos)	1.4	1.5	1.7

Fuente: (Mott, 2006)

Una vez identificada la potencia de diseño y la velocidad de giro del eje, los utilizaremos como datos de entrada para seleccionar con la gráfica de la figura 3.9, la cadena que vamos a utilizar.

La potencia de diseño de 10,53 KW es igual a 14.32CV, ubicamos en la figura 3.9, en la parte de cadena simple a 2500 revoluciones.



Fuente: (Porrás, 2011)

Figura 3.9: Gráfica de selección de cadena de rodillos

Determinamos en la gráfica que debemos utilizar una cadena simple bajo la numeración 1007, cuyas características las encontramos en la tabla de la figura 3.10:

<i>Ref. N°</i>	<i>PASO P mm. Pulg.</i>	<i>ancho int. A. mm.</i>	<i>Ø rod. D. mm.</i>	<i>Carga rotura Kgs.</i>	<i>Peso Kgs. por m.</i>
1000-S.	9'52 - 3/8"	3'94	6'35	1.000	0'380
1001-S.	9'52 - 3/8"	5'72	6'35	1.000	0'400
1002-S.	12'70 - 1/2"	3'30	7'75	875	0'300
1003-S.	12'70 - 1/2"	4'88	7'75	1.400	0'460
1004-S.	12'70 - 1/2"	6'40	7'75	1.800	0'610
1005-S.	12'70 - 1/2"	5'21	8'51	2.000	0'650
1006-S.	12'70 - 1/2"	6'40	8'51	2.000	0'680
1007-S.	12'70 - 1/2"	7'75	8'51	2.000	0'730
1008-S.	15'88 - 5/8"	6'48	10'16	2.500	0'840
1009-S.	15'88 - 5/8"	9'65	10'16	2.500	0'960
1010-S.	19'05 - 3/4"	11'68	12'07	3.200	1'230
1011-S.	19'05 - 3/4"	12'70	11'90	3.900	1'600
1012-S.	25'40 - 1"	12'70	12'70	3.900	1'330
1013-S.	25'40 - 1"	17'02	15'88	6.500	2'670
1014-S.	31'75 - 1 1/4"	19'56	19'05	10.000	3'300
1015-S.	38'10 - 1 1/2"	25'40	25'40	22.000	7'680
1016-S.	44'45 - 1 3/4"	30'99	27'94	25.000	9'450
1017-S.	50'80 - 2"	30'99	29'21	26.000	8'950
1018-S.	63'50 - 2 1/2"	38'10	39'37	43.000	16'040
1019-S.	76'20 - 3"	45'72	48'26	65.000	25'310

Fuente: (Porras, 2011)

Figura 3.10: Dimensiones de cadenas de rodillos simples

Necesitamos una cadena de 12,7mm de paso que corresponde a una cadena de ½ pulgada con una resistencia a la carga de 2000kg. Esta cadena corresponde a una cadena número 40 en la norma ANSI.

3.4.2 SELECCIÓN DE LOS PIÑONES

Los piñones para la cadena 1007S se detallan en la figura 3.11, debemos encontrar un par de piñones que satisfagan la relación de transmisión de 4:1 calculada. Una norma de selección de los piñones es que uno de los piñones debe tener un número de dientes impar y el otro debe tener un número par, para que el desgaste de los dientes sea homogéneo. Por recomendación se debe utilizar el número impar en el piñón conductor.

<i>Ref Nº</i>	<i>Z</i>	<i>D_p mm.</i>	<i>D_e mm.</i>	<i>D_g mm.</i>	<i>Ø A mm.</i>	<i>B mm.</i>
1001 13S	13	39'80	44	27	12	30
1001 15S	15	45'81	50	33	12	30
1001 17S	17	51'84	56	39	12	30
1001 19S	19	57'87	62	45	12	30
1001 21S	21	63'91	68	51	12	30
1001 23S	23	69'95	74	57	12	30
1001 25S	25	76	80	63	12	30
1001 27S	27	82'05	86	69	12	30
1001 30S	30	91'12	95	79	12	30
1001 38S	38	115'34	119	70	20	36
1001 57S	57	172'91	177	70	20	36
1001 76S	76	230'49	234	75	20	36
1001 95S	95	288'08	291	75	20	40
1001 114S	114	345'68	349	80	25	46

Fuente: (Porrás, 2011)

Figura 3.11: Dimensiones de cadenas de rodillos simples

Seleccionamos entonces un par de piñones que nos dan entre sí, exactamente la relación calculada (4:1) con las siguientes características:

PIÑÓN CONDUCTOR: 19 dientes

PIÑÓN CONDUCTIDO: 76 dientes

3.4.2.1 DISTANCIA ENTRE CENTROS

La distancia entre centros recomendada para una cadena de ½ pulgada de paso se puede ver en la figura 3.12, que nos da una distancia de 600 mm, que será tomada en cuenta para la ubicación del motor y la transmisión.

PASO	Pulg (mm)	$\frac{3}{8}$ 9,525	$\frac{1}{2}$ 12,70	$\frac{5}{8}$ 15,875	$\frac{3}{4}$ 19,05
DISTANCIA ENTRE CENTROS	(mm)	450	600	750	900
PASO	Pulg (mm)	$1\frac{1}{2}$ 38,10	$1\frac{3}{4}$ 44,45	2 50,80	$2\frac{1}{2}$ 63,50
DISTANCIA ENTRE CENTROS	(mm)	1350	1500	1700	1800

Fuente: (Porras, 2011)

Figura 3.12: Distancia entre centros recomendada

3.5 CÁLCULO DEL BANCO DE BATERÍAS

En el capítulo anterior se seleccionó las baterías de plomo-ácido (en gel) de ciclo profundo libres de mantenimiento, para implementarlas en el cross eléctrico, el motor elegido funcionará a 48 V y entregará una potencia nominal de 6000 W con una eficiencia del 90%, entonces ahora nos queda determinar la capacidad específica del banco de cuatro baterías de 12 V conectadas en serie que nos dan el total de 48 V necesarios. La capacidad específica de las baterías ($I_{baterías}$) se calcula con la ecuación 14.

Las baterías plomo-ácido no deben descargarse por completo para poder funcionar correctamente, sin que se vea afectado su ciclo de trabajo por lo que se recomienda descargarlas máximo hasta un 80% de su capacidad de carga. En la ecuación 14 entonces el porcentaje de descarga máximo será de 0,8.

$$I_{baterías} = \frac{P_{Motor} \times n_{motor}}{V_{Banco} (\%descarga)} \quad \text{Ec. 14}$$

$$I_{baterías} = \frac{6000W(0.9)}{48V(0.8)}$$

$$I_{baterías} = 140.625 A$$

Entonces con 140 Ah de capacidad específica podremos determinar las baterías adecuadas, buscando en el mercado encontramos baterías de 140 Ah de capacidad con un peso de 48 kg y necesitando cuatro vemos que el peso es excesivo por lo que debemos seleccionar baterías más livianas. En la tabla 3.6, se muestran tres tipos de baterías de entre las cuales se escogerá la apropiada para el proyecto.

Tabla 3.6: Características de baterías de ciclo profundo

BATERÍAS	EXCIDE	ULTRACELL	ULTRACELL
Capacidad (Ah)	140	120	100
Voltaje (V)	12	12	12
Peso (kg)	48	37	31
Medidas (mm)	513 x 223 x 223	240 x 177 x 225	330 x 173 x 212
Capacidad específica(Wh/ kg)	35	38.92	38.70

Fuente: (Catálogo Proviento, 2013)

3.5.1 CRITERIO DE SELECCIÓN DE LAS BATERÍAS

- Necesitamos baterías de 140 Ah para descargarlas hasta un 80% de su capacidad, pero observando en la tabla 3.7 las baterías Excide harían que el vehículo pese demasiado, ya que en los cálculos de potencia se determinó un peso de 148 Kg de peso total de las baterías, y estas suman un total de 192 kg. Por esta razón debemos tomar otra alternativa, porque las baterías plomo-ácido mientras más capacidad tienen, más pesadas son.
- La batería Ultracell 120Ah por el contrario cumple con el peso establecido para las baterías con la desventaja que tiene una menor capacidad a la calculada, pero como el motor y controlador seleccionado permiten recuperar energía con el freno regenerativo, esta capacidad de 120 Ah puede satisfacer las necesidades del motor si se descargara completamente la batería. Pero la función de regeneración de energía haría que la batería no llegue a descargarse más allá del 80% de su capacidad, aprovechando la carga entregada por el motor a las baterías en los descensos y desaceleraciones. Utilizando el 80% de capacidad de esta batería podemos tener 600 ciclos de vida, como lo muestra la figura 3.13, punto que es bueno considerando que es una batería de plomo ácido.

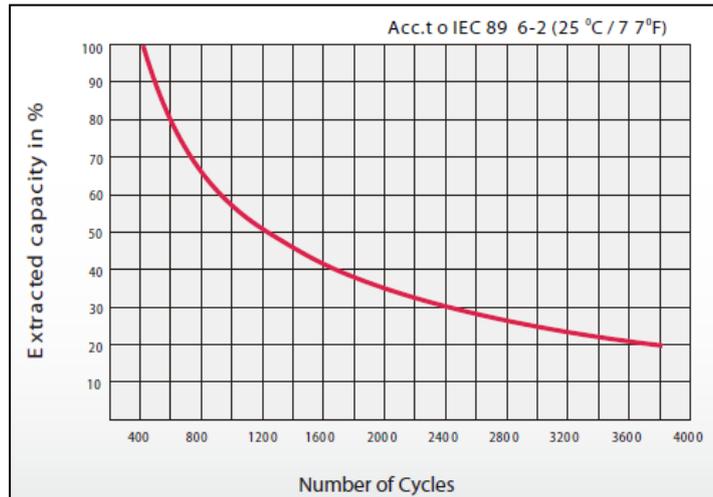


Figura 3.13: Ciclos de vida de la batería Ultracell 120Ah

Fuente: (ULTRACELL, 2012)

- La batería Ultracell de 100 Ah en cambio tienen una capacidad muy baja a la necesaria y muy difícilmente la función de regeneración de energía podría evitar que se descarguen demasiado.
- En vista de los puntos expuestos escogemos las Baterías Ultracell de 120Ah y 12 V, que en total serán cuatro como la que se muestra en la figura 3.14.

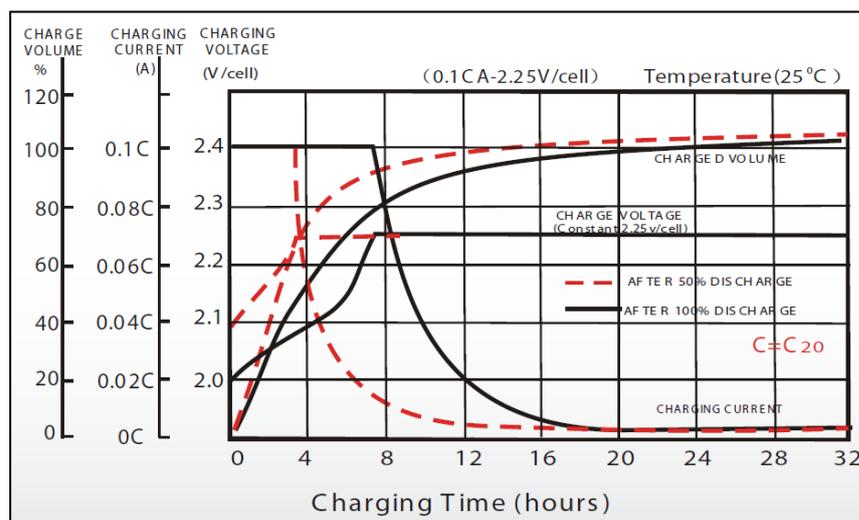


Fuente: (ULTRACELL, 2012)

Figura 3.14: Batería Ultracell 120Ah seleccionada

3.5.2 CÁLCULO DEL TIEMPO DE RECARGA DE LA BATERÍA

El tiempo estimado para la carga completa de las baterías seleccionadas está dado por el fabricante, en nuestro caso Ultracell nos muestra en la figura 3.15 y nos ceñimos a la curva de 0.1C que significa cargar la batería a una corriente constante del 10% de la capacidad de la batería (120Ah), por lo que nuestro cargador debe entregar una corriente de 12 A y 50V al menos para que las cuatro baterías conectadas en serie reciban la carga, ya que se cargarán conectadas en conjunto. Entonces según nos muestra la figura tendremos una carga completa en el período 8 de horas, que se lo puede hacer en la noche.



Fuente: (ULTRACELL, 2012)

Figura 3.15: Tiempo de carga vs corriente de carga

3.5.3 CÁLCULO DE AUTONOMÍA

Haciendo referencia que el cross car funcionará entre rectas, descensos y pendientes con un consumo promedio de 100 A y una velocidad promedio

de 25 Km/h y conociendo que la capacidad de las baterías seleccionadas es 120 Ah entonces la autonomía queda determinada por la expresión de la ecuación 15.

$$\mathbf{Autonomía} = \frac{C_{BATERÍA} \times V_{promedio}}{C_{PROMEDIO}} \mathbf{Ec.15}$$

$$\mathbf{Autonomía} = \frac{120\text{Ah} \times 25\text{km}}{100 \text{ A } \text{ h}}$$

$$\mathbf{Autonomía} = 30 \text{ Km}$$

Esta autonomía calculada dependerá mucho de las condiciones de manejo de cada persona y el grado de pendiente en donde se conduzca el cross, sin embrago con el fin de alargar al máximo la autonomía del cross car en el capítulo cinco se explica la manera adecuada y las reglas que se deben seguir para conducir éste vehículo.

3.6. CÁLCULO DE CONTROLES Y SEGURIDADES ELÉCTRICAS

3.6.1 FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR

En el capítulo dos en selección de componentes se determinó que el controlador del motor tendrá las siguientes funciones:

- Inversión de giro del motor (avance y retroceso de la marcha de vehículo)
- Tendrá la capacidad de controlar la función de regeneración de energía del motor-generator cuando el motor no reciba carga

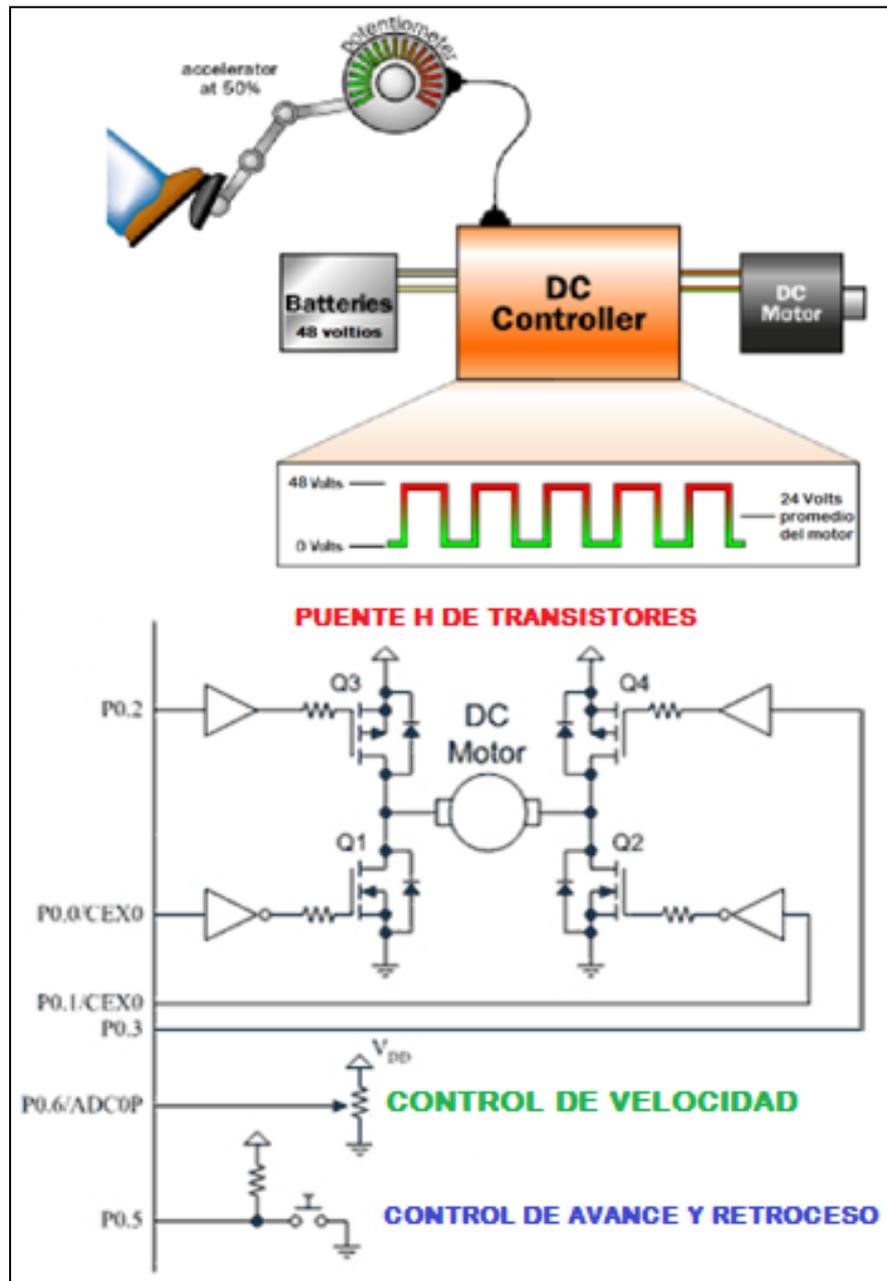
- Funcionará con 48VCC y será capaz de entregar una corriente de hasta 200 Amperios siendo esta corriente la que el motor consume cuando se encuentre funcionando a su potencia máxima.
- Debe soportar altas temperaturas y tener su propio sistema de refrigeración.

Para entender de mejor manera como el controlador realizará este trabajo se explicará a continuación el funcionamiento de un controlador con control para freno regenerativo, como el que se implementará en el cross car, para después si seleccionarlo.

El controlador para cumplir con las funciones antes expuestas hace uso de microprocesador que hace un control PWM (modulación por ancho de pulsos), que controla a un conjunto de transistores MOSFET de alta potencia dispuestos en forma de H (ver figura 3.16), para lograr eficiencias de hasta el 97%.

El microprocesador permite un control preciso del motor en base a las señales de entrada como: posición del acelerador, sensor de frenado y selección del sentido de giro (avance y retroceso).

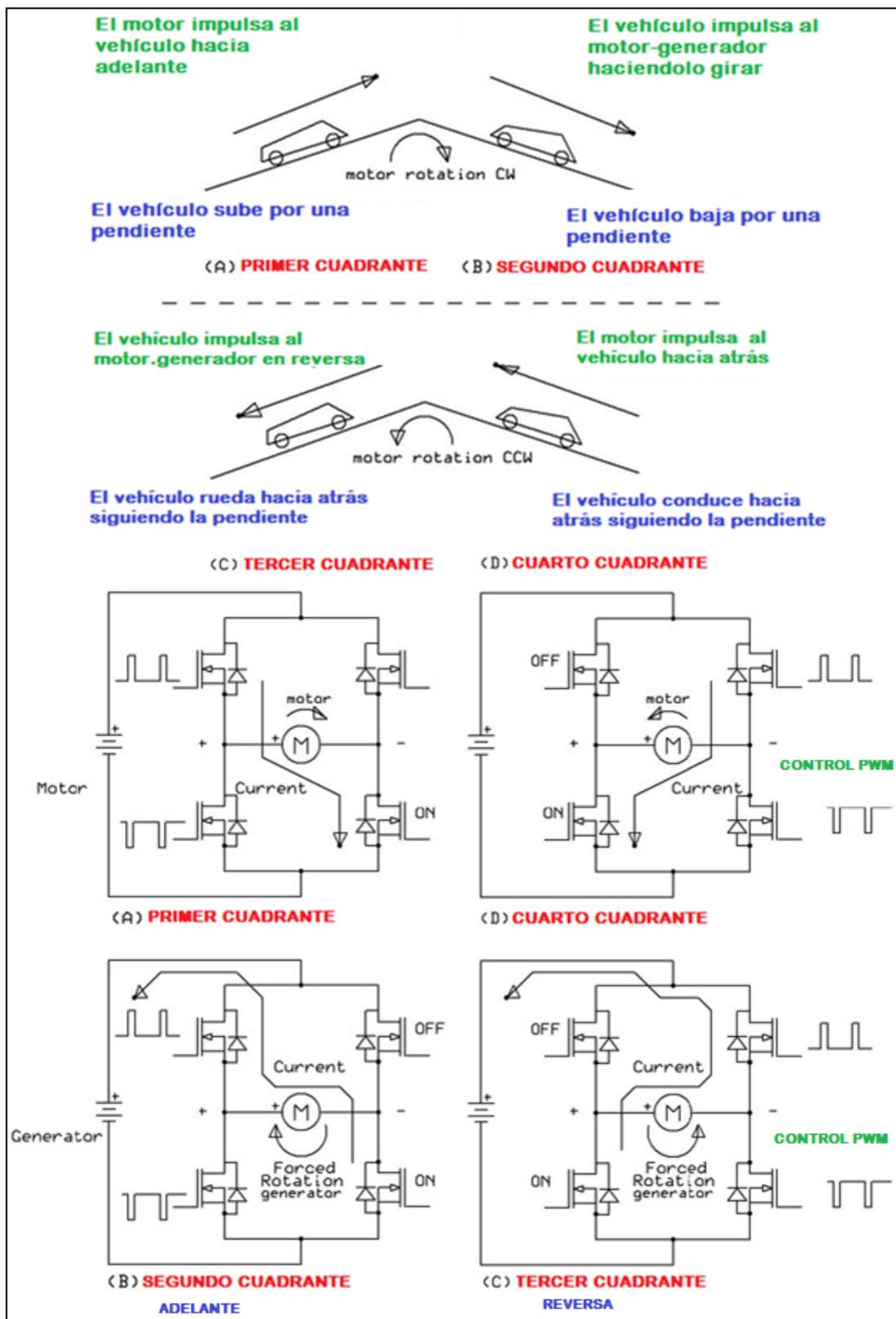
El puente H, actúa con la programación lógica del microprocesador del controlador, en cuatro cuadrantes, dependiendo de las condiciones de manejo a las que se esté sometiendo al vehículo eléctrico, es así que se tienen 4 condiciones de funcionamiento, que se detallan y explican en la figura 3.17.



Fuente: (www.howstuffworks.com/electric-car., 2014)

Figura 3.16: Configuración básica del controlador

Otra de las funciones del controlador es que su microprocesador tiene una memoria programable y permite a los usuarios ajustar los parámetros, realizar pruebas y obtener información de diagnóstico.



Fuente: (www.roboteq.com, 2014)

Figura 3.17: Fases de funcionamiento del controlador

3.6.2 SELECCIÓN DEL CONTROLADOR DEL MOTOR ELÉCTRICO

En la tabla 3.7, encontraremos una lista de controladores de la marca KELLY PM CONTROLLERS de la cuál seleccionaremos el que cumpla con todos los requerimientos anteriores.

Tabla 3.7: Controladores KELLY para motores de corriente continua.

Kelly Full Bridge Permanent Magnet DC Motor Controller					
Model	1 minute Current	Continuous Current	Rated Voltage	Voltage Range	Regen
PM24101	100A	40A	24V	12V-24V	Yes
PM24201	200A	80A	24V	12V-24V	Yes
PM24301	300A	120A	24V	12V-24V	Yes
PM36101	100A	40A	36V	24V-36V	Yes
PM36201	200A	80A	36V	24V-36V	Yes
PM48101	100A	40A	48V	24V-48V	Yes
PM48201	200A	80A	48V	24V-48V	Yes
PM48301	300A	120A	48V	24V-48V	Yes
PM48401B	400A	160A	48V	24V-48V	Yes
PM48501B	500A	200A	48V	24V-48V	Yes
PM72101	100A	40A	72V	24V-72V	Yes
PM72201	200A	80A	72V	24V-72V	Yes
PM72301	300A	120A	72V	24V-72V	Yes
PM72401B	400A	160A	72V	24V-72V	Yes
PM72501B	500A	200A	72V	24V-72V	Yes
PM12101H	100A	40A	120V	24V-120V	Yes
PM12201H	200A	80A	120V	24V-120V	Yes

Fuente: (Kelly Controls, 2012)

En vista que el motor puede llegar a consumir hasta 200 Amperios pico conectado a una fuente de 48V entonces seleccionaremos un controlador que soporte una corriente un mayor para evitar que sufra daños si llegara a sobre pasar esta corriente, pero también necesitamos que pueda entregar fácilmente 120 Amperios.

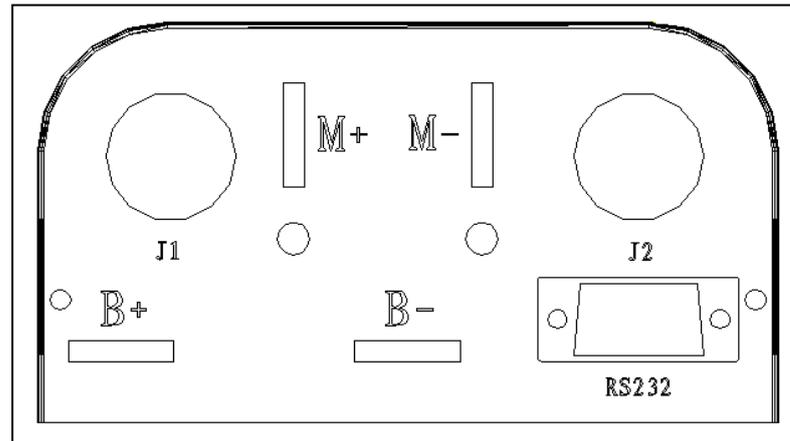
Seleccionamos entonces el controlador PM48301 que se muestra en la figura 3.18, que entrega una corriente de 120 A continuos y tiene un límite de corriente de 400 A, y funciona desde 24 V a 48 V y lo utilizaremos a 48V.



Fuente: www.kellycontroller.com, (2014)

Figura 3.18: Controlador Kelly PM72401B seleccionado

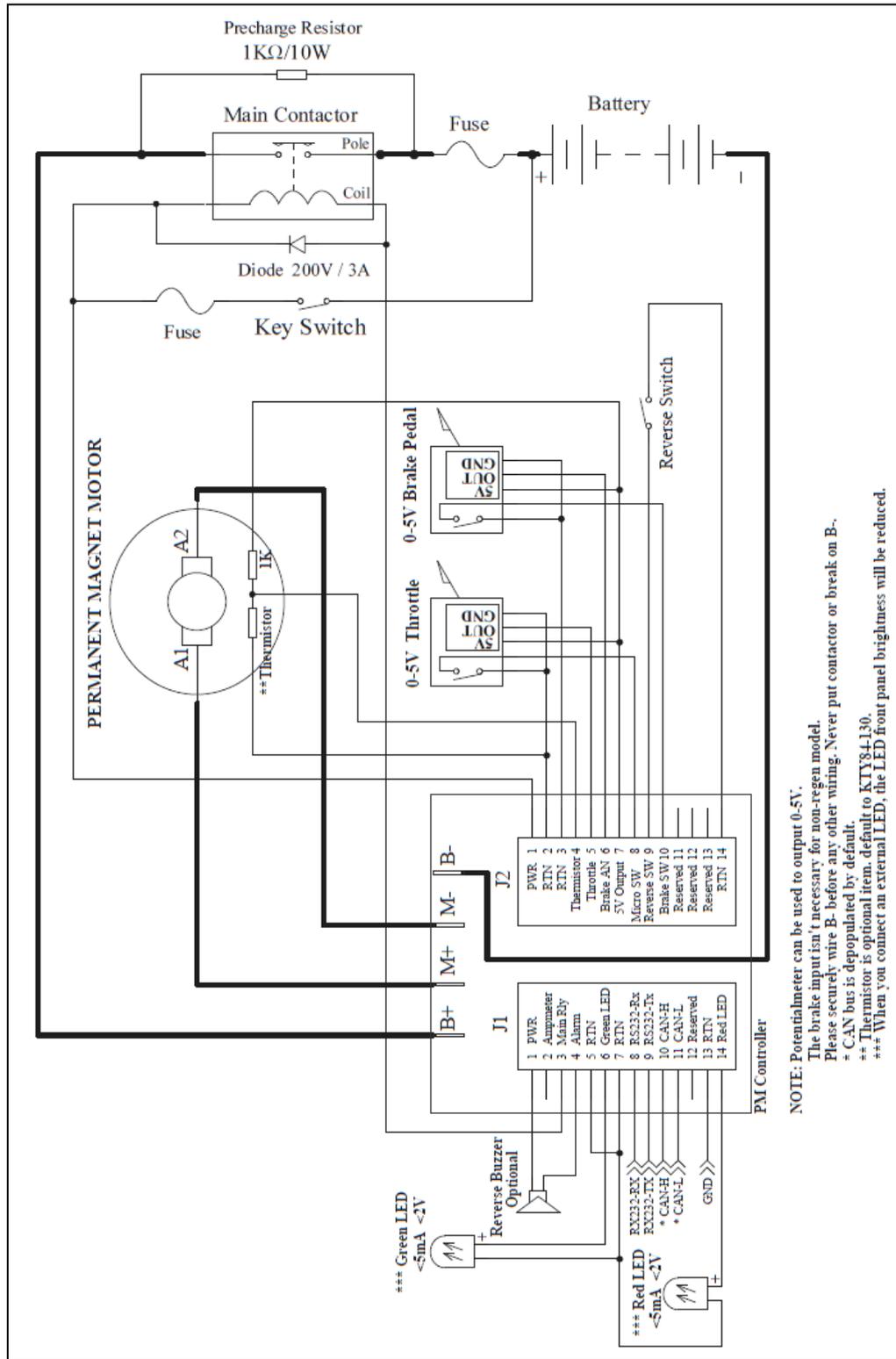
El controlador es un elemento que en su interior tiene circuitos electrónicos de alta potencia capaces de manejar altas corrientes. Para hacerlo necesita señales de entrada (sockets J1 y J2 de la figura 3.19) como: posición del acelerador, sensor de posición de la palanca selectora de avance y retroceso, sensor de activación del freno de servicio y posición de la llave de encendido. Estas señales el controlador las procesa y dependiendo de ellas entregará el voltaje necesario para la solicitud de potencia que el conductor requiera. El controlador viene configurado de fábrica con la función de regeneración de energía, aunque esta es una memoria programable que tiene la entrada RS232 (ver figura 3.19) para programarla y configurarla con el computador. Los parámetros que se pueden variar son límites de corriente, voltaje, y tiempos para aplicaciones específicas.



Fuente: www.kellycontroller.com, (2014)

Figura 3.19: Conectores del controlador Kelly PM48301

Los terminales M+ y M- del controlador (figura 3.19) van conectados a los polos del motor que también vienen señalados con esta simbología. Los terminales B+ y B- corresponden su conexión a los terminales del banco de baterías con sus polaridades respectivas. Las conexiones de estos terminales deben ser bien ajustadas con tornillos para evitar calentamiento de los cables por conexiones flojas. Además el controlador debe ser instalado en un lugar donde pueda recibir el viento para su refrigeración. A continuación la figura 3.20, muestra el diagrama de conexión del circuito completo, con todas sus seguridades.



Fuente: www.kellycontroller.com, (2014)
 Figura 3.20: Diagrama de conexión del controlador

3.6.3 CÁLCULO DE FUSIBLES ELÉCTRICOS

En el capítulo de selección se detallaron las funciones que desempeñará el fusible. El componente más delicado en el sistema de propulsión eléctrica es el controlador del motor eléctrico por lo que se lo colocará entre las baterías y el contactor y otro entre el interruptor principal de encendido y el controlador (ver figura 3.20). Para el cálculo del fusible a implementarse debemos utilizar la ecuación 16, y conocer la corriente máxima del circuito que es de 140 Amperios a máxima potencia

$$f = \frac{I_{\text{totales}}}{0.9} \quad \text{Ec. 16}$$

$$f = \frac{140 (A)}{0.9}$$

$$f = 155.56 (A)$$

Por lo tanto se deberá implementar dos fusibles de corte rápido de 48 (V) y 150 (A) que existen en el mercado como los que se muestran en la figura 3.21.



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.21: Fusibles de corte rápido de corriente continua

3.6.4 CARACTERÍSTICAS DEL PARO DE EMERGENCIA

La figura 3.22, nos muestra el botón de corte rápido general que maneja 48 (V) y una corriente de hasta 25 A, que se implementará en control del motor eléctrico. La corriente es relativamente baja porque éste componente no controla directamente la corriente de las baterías pero si es un control manual de corte de corriente de alimentación de señales al contactor y este a su vez corta la corriente al controlador.



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.22: Paro de emergencia, corte de corriente manual

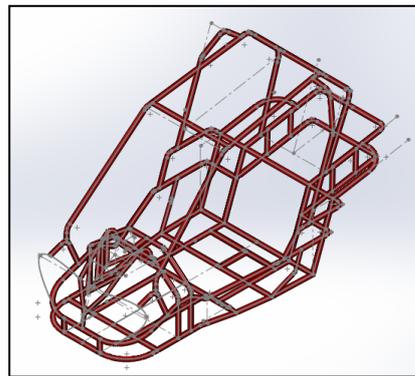
3.7 CÁLCULOS CONSTRUCTIVOS

Los componentes necesarios para la implementación ya se han determinado, ahora vamos a diseñar los elementos estructurales que van a sujetarlos a la carrocería, con la ayuda del programa de diseño y análisis SOLIDWORKS.

3.7.1 ANÁLISIS DEL CHASIS TUBULAR

Necesitamos verificar si los componentes que se van a implementar van a poder ser soportados por la estructura que disponemos, haciendo un

análisis estático con la ayuda del programa de diseño para lo que tomamos las medidas exactas del chasis y lo modelamos, es necesario también medir los diámetros de los tubos que la conforman y le aplicamos el material común para estructuras, en nuestro caso es un ACERO ASTM A36 con un límite elástico de $2.5 \times 10^8 N/m^2$. El modelado realizado lo podemos ver en la figura 3.23.

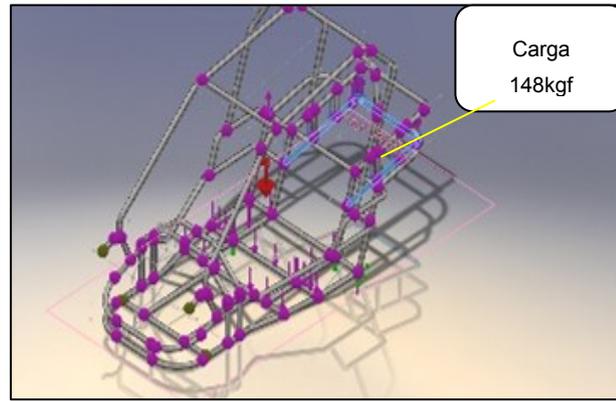


Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.23: Modelado del chasis tubular en SOLIDWORKS

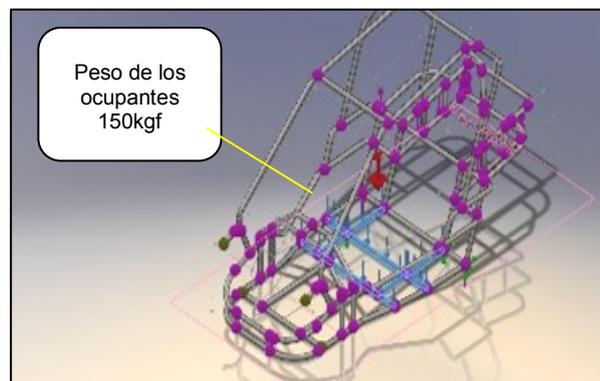
3.7.1.1 CARGAS APLICADAS A LA ESTRUCTURA

Aplicamos cuatro cargas que actuarán directamente sobre la estructura en la figura 3.24, se muestra la carga de la gravedad en color morado y la carga del peso de las baterías en color azul. En la siguiente figura 3.25, aplicamos la carga por el peso de los ocupantes, y en la figura 3.26, la carga por el peso de la transmisión en la parte donde se sujeta el soporte de la transmisión que lo analizaremos más adelante.



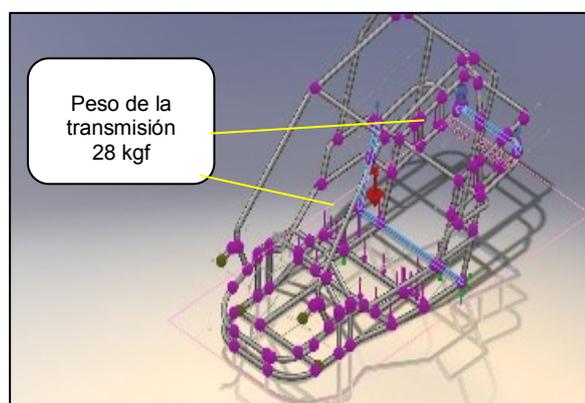
Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.24: Aplicación de la carga por el peso de las baterías



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.25: Aplicación de la carga por el peso de los ocupantes



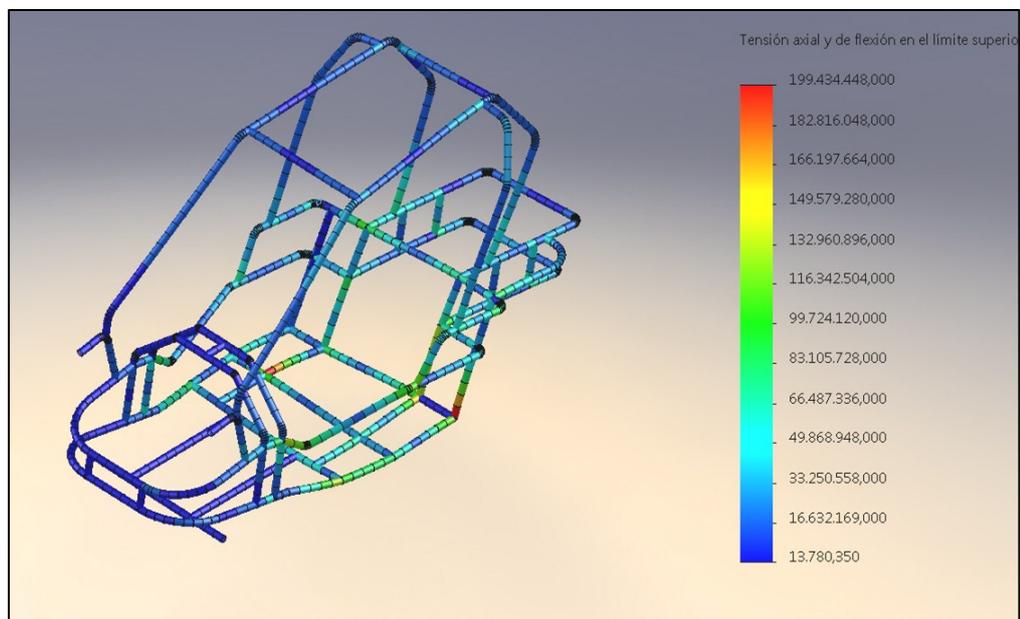
Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.26: Aplicación de la carga por el peso de la transmisión

3.7.1.2 ANÁLISIS DEL CHASIS POR EL SOFTWARE

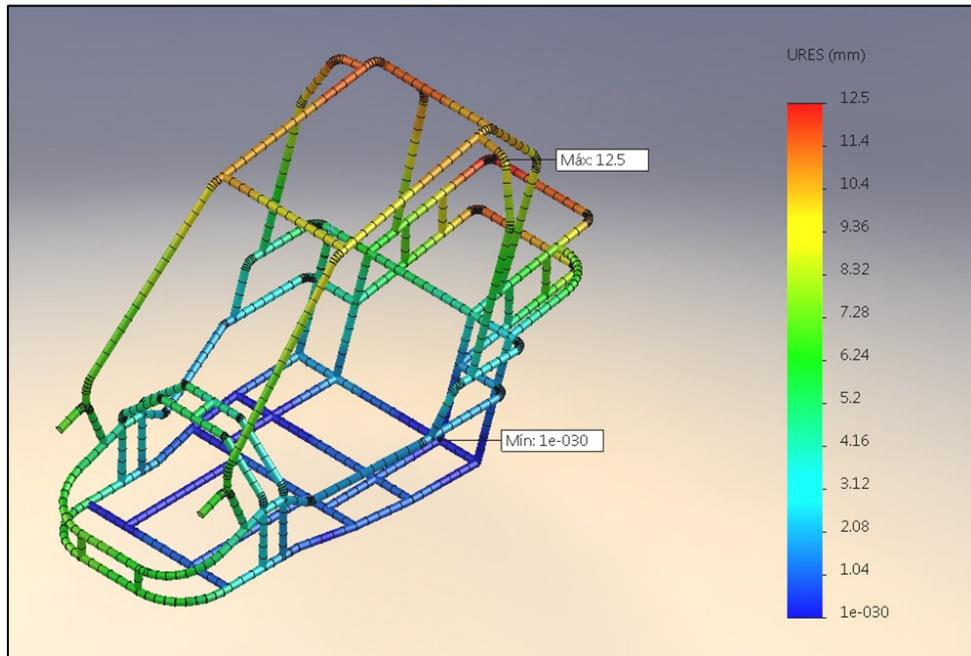
Aplicadas las cargas analizamos la estructura bajo el criterio de diseño de Von Mises o también conocido como teoría de la energía de distorsión máxima que maneja SOLIDWORKS que nos dice “Esta teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de Von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión.” (www.solidworks.com, 2014)

Los resultados de los análisis se muestran a continuación en las figuras 3.27, 3,28 y 3,29. En la tabla 3.8 se resumen los resultados.



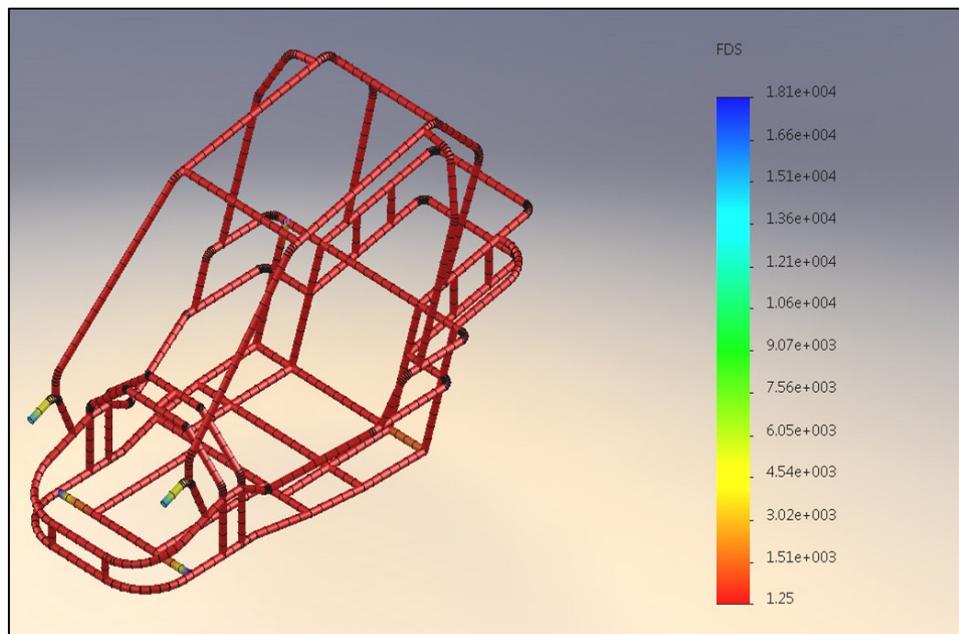
Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.27: Análisis de Von Mises



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.28: Desplazamiento máximo del chasis



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.29: Factor de seguridad

Tabla 3.8: Resumen del análisis del chasis

Esfuerzo de Von Mises calculado	1.99434e+008 N/m ²
Número total de elementos	935
Número total de nodos analizados	1535
Desplazamiento máximo	12.4753 mm
Factor de seguridad	1.25354

Fuente: Grupo de investigación, (2014)

El factor de seguridad en una ubicación se calcula a partir de:

$$\text{Factor de seguridad (FDS)} = \frac{\sigma_{\text{limite}}}{\sigma_{\text{VonMises}}} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

σ_{limite} = límite elástico del material

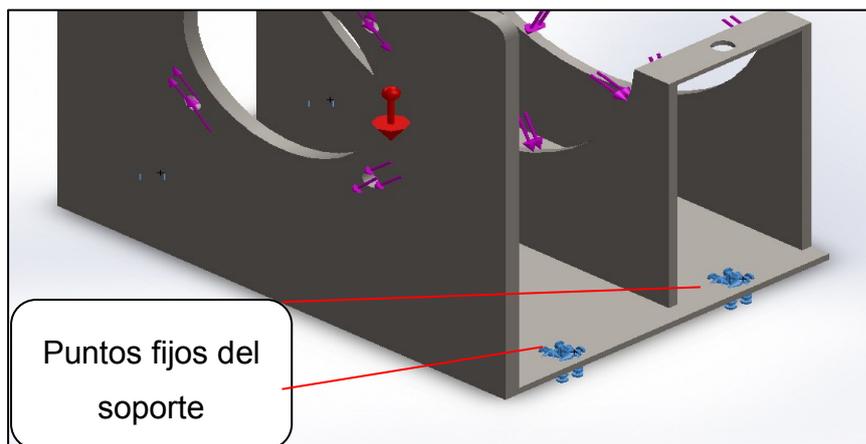
$\sigma_{\text{Von Mises}}$ = esfuerzo calculado

Realizado el análisis entonces concluimos que la estructura resistirá los componentes que van a ser implementados por lo que podemos empezar con el diseño del sistema de transmisión

3.7.2 ANÁLISIS DEL SOPORTE DEL MOTOR

Elegimos el material de acero ASTM A36 con un límite de fluencia de $2.5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ con un grosor de 0.25 pulgadas para su modelado y lo analizamos.

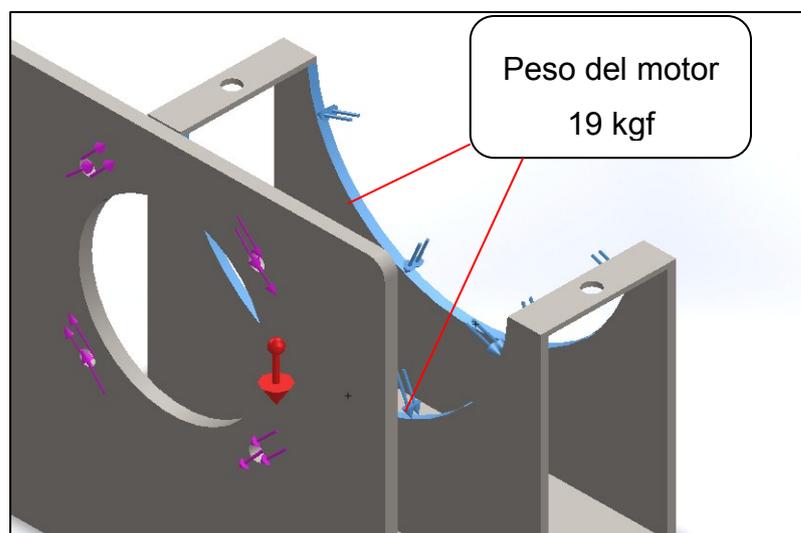
3.7.2.1 CARGAS APLICADAS AL SOPORTE MOTOR



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

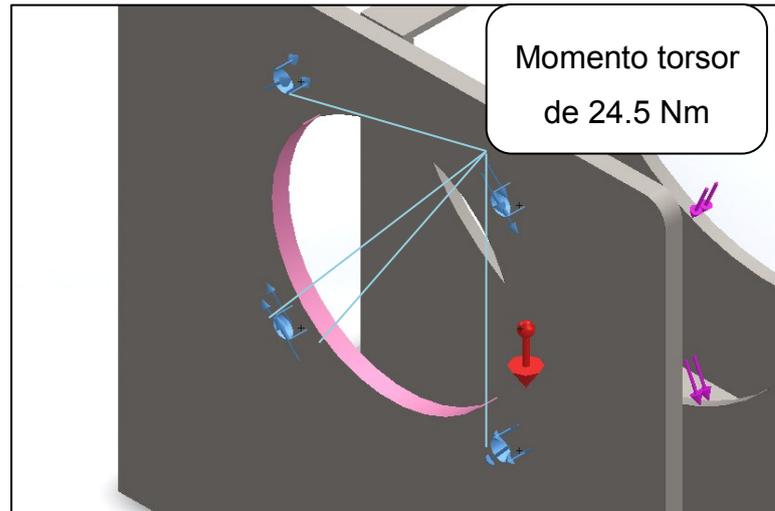
Figura 3.30: Puntos fijos del soporte motor

En la figura 3.30, se muestran dos de los cuatro puntos fijos del soporte motor, mientras que en las figuras 3.31, y 3.32, se aplican las cargas ejercidas por el motor eléctrico en el soporte.



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.31: Carga - peso del motor eléctrico

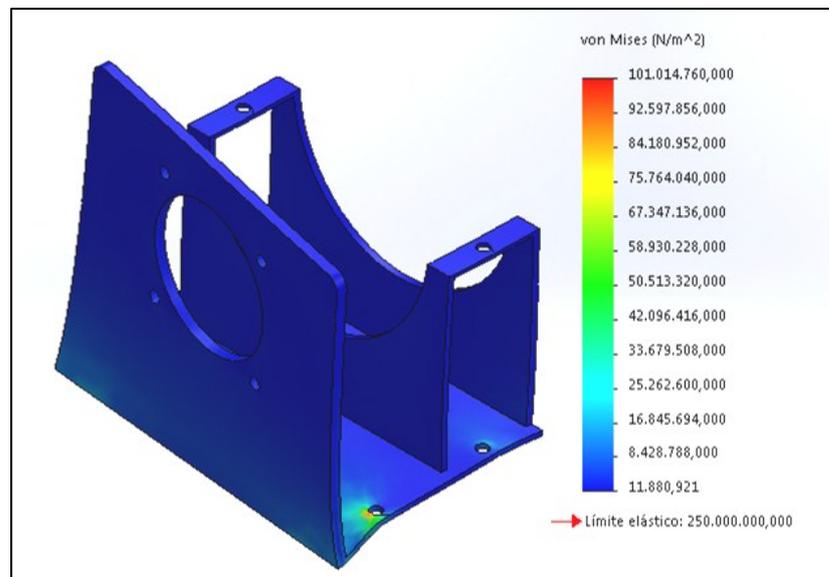


Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.32: Momento torsor del motor eléctrico

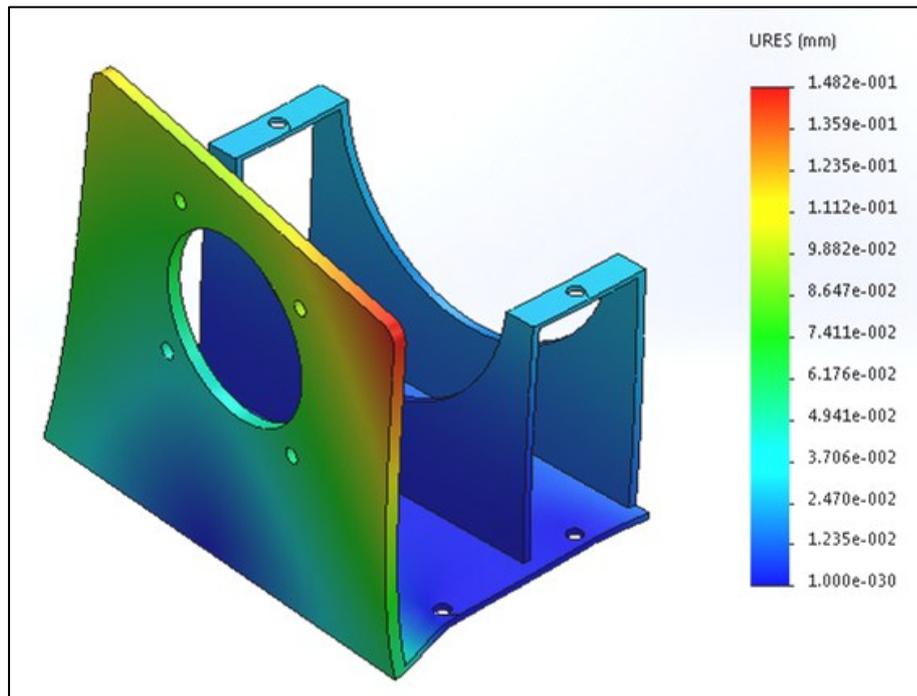
3.7.2.2 ANÁLISIS DEL SOPORTE MOTOR POR EL SOFTWARE

Las figuras 3.33, 3.34, y 3.35 muestran los análisis del soporte del motor, y en la tabla 3.9, se detalla el resumen del análisis.



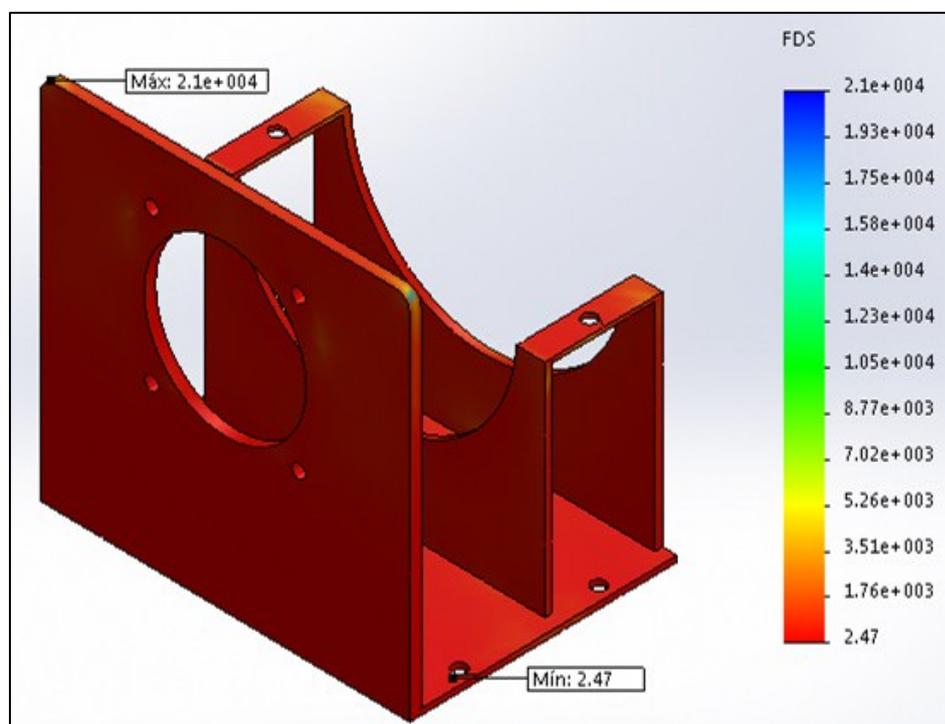
Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.33: Análisis de Von Mises



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.34: Deformación máxima



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

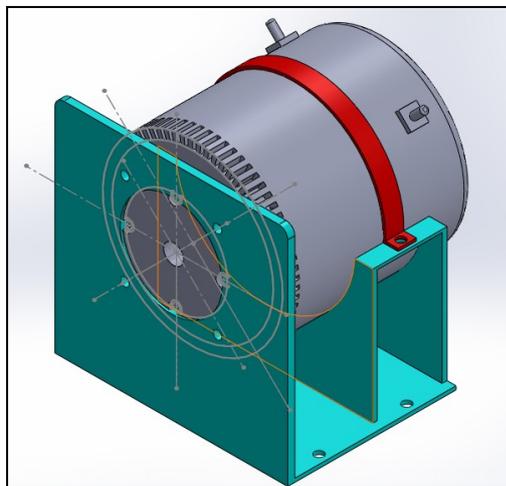
Figura 3.35: Factor de seguridad

Tabla 3.9: Resumen del análisis del soporte motor

Esfuerzo de Von Mises calculado	1.01015e+008 N/m ²
Número total de elementos	3376
Número total de nodos analizados	7197
Desplazamiento máximo	0.148226 mm
Factor de seguridad	2.47489

Fuente: Grupo de investigación, (2014)

En conclusión el análisis del soporte nos da paso a su construcción ya que cumple con los criterios de diseño de Von Mises, de modo que sirva de soporte para el motor eléctrico y quede armado como se muestra en la figura 3.36.

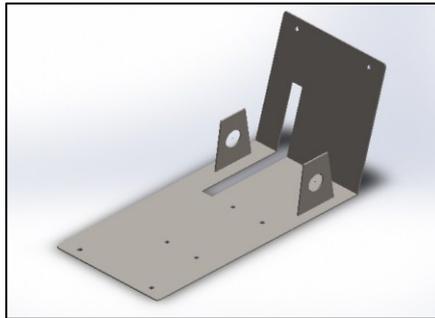


Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.36: Soporte motor ensamblado

3.7.3 ANÁLISIS DEL SOPORTE DE LA TRANSMISIÓN

Elegimos el material de acero ASTM A36 con un límite de fluencia de $2.5 \times 10^8 N/m^2$ con un grosor de 0.25 pulgadas para la su modelado y lo analizamos. En la figura 3.37 se muestra el modelado.

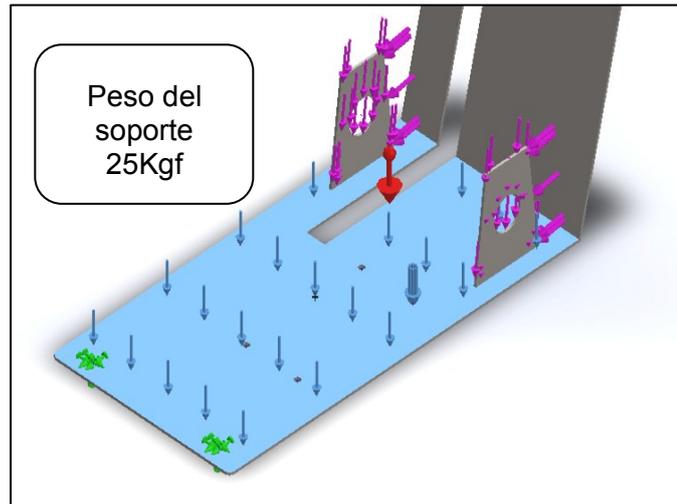


Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.37: Modelado del Soporte de la transmisión

3.7.3.1 CARGAS APLICADAS AL SOPORTE DE LA TRANSMISIÓN

En la figura 3.38, se muestra la carga ejercida por el soporte motor, mientras que en las figuras 3.39, y 3.40, se aplican las cargas ejercidas por el trabajo de la transmisión.



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.38: Peso del soporte motor en la superficie celeste

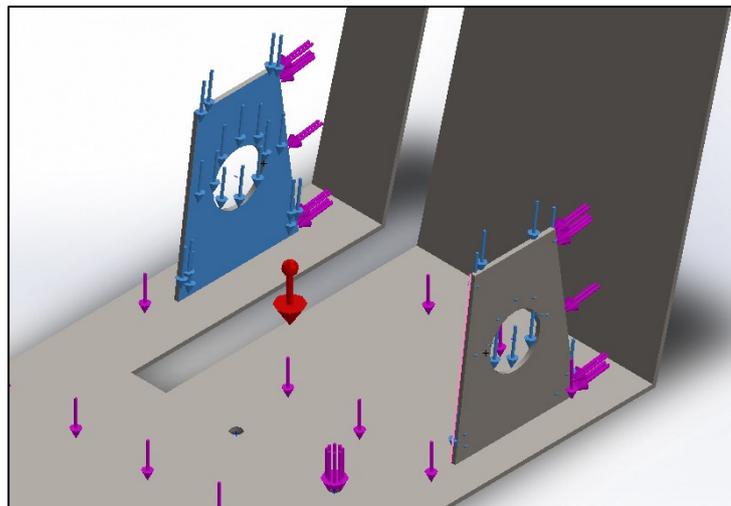
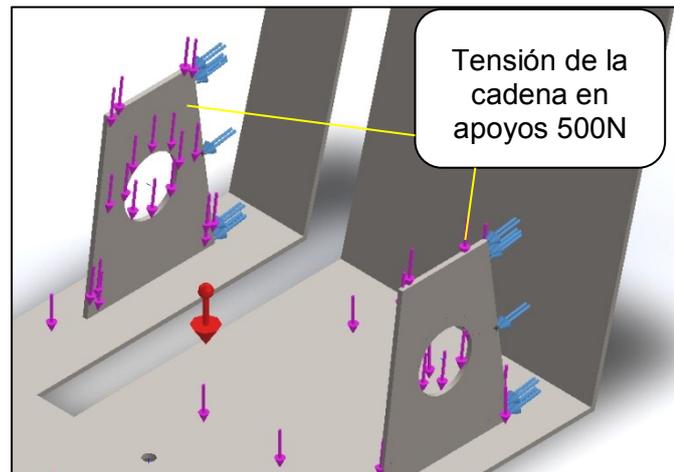


Figura 3.39: Carga-peso de la transmisión por cadena en color celeste

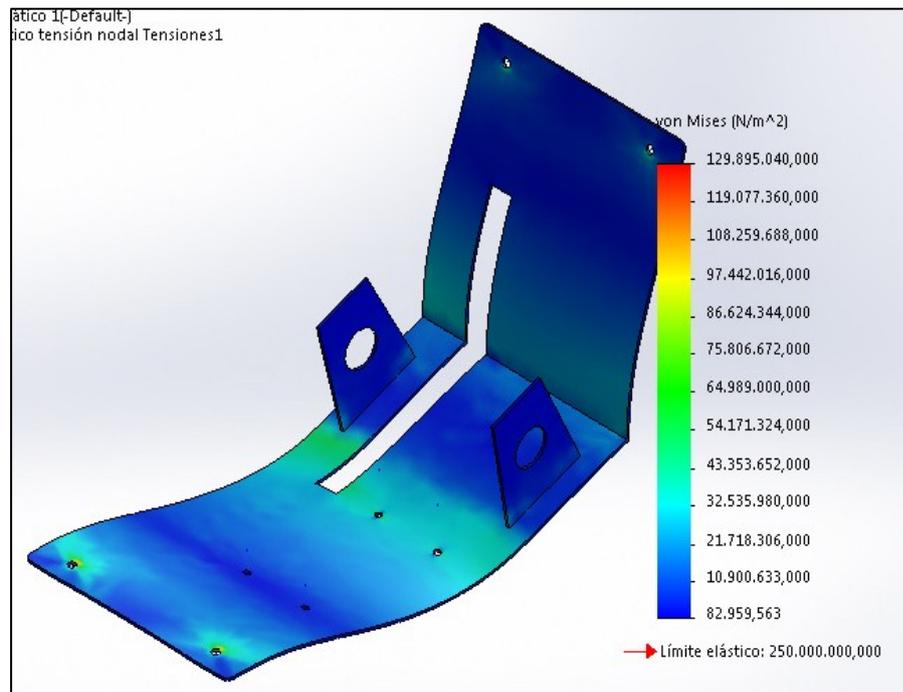


Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.40: Tensión de la cadena en apoyos de la transmisión

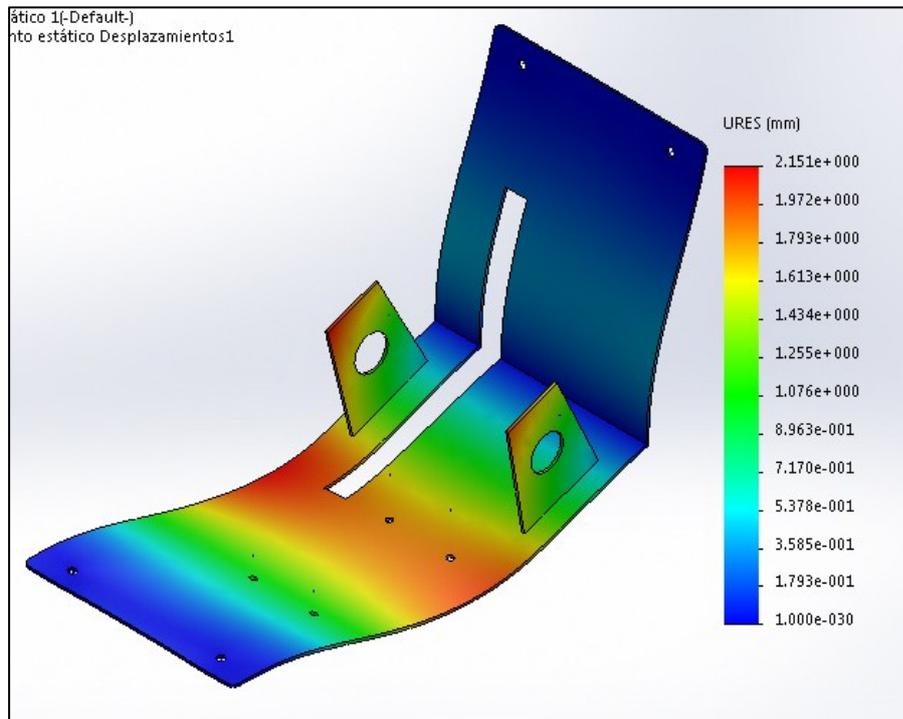
3.7.1.2 ANÁLISIS DEL SOPORTE DE LA TRANSMISIÓN

Las figuras 3.41, 3.42, y 3.43 muestran los análisis del soporte de la transmisión, y en la tabla 3.10, se detalla el resumen del análisis.



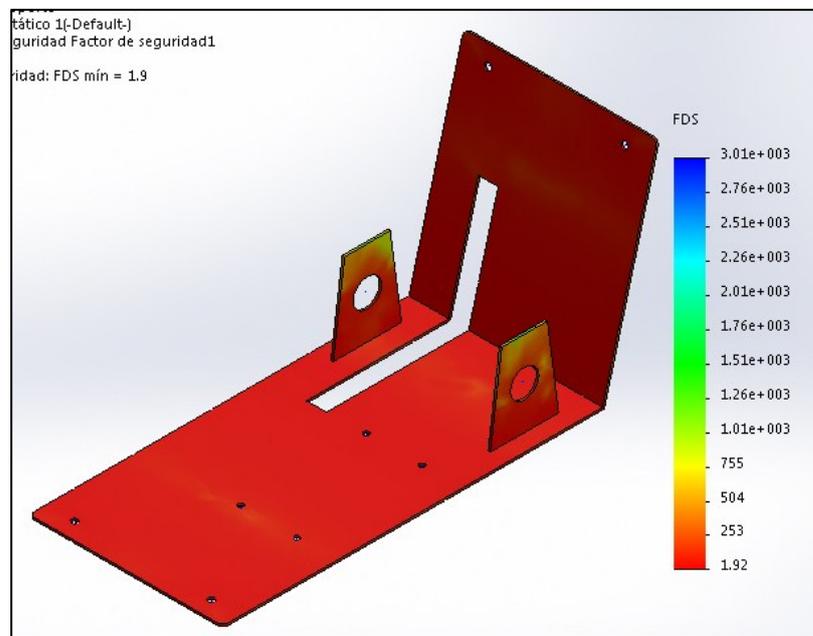
Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.41: Análisis de Von Mises



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.42: Deformación máxima



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.43: Factor de seguridad

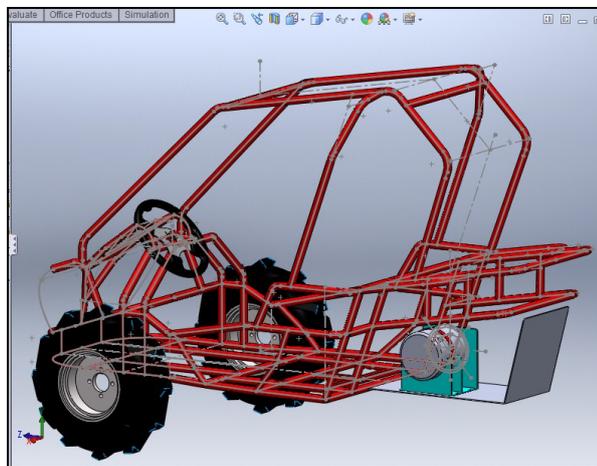
Tabla 3.10: Resumen del análisis del soporte de la transmisión

Esfuerzo de Von Mises calculado	1.29895e+008 N/m ²
Número total de elementos	3612
Número total de nodos analizados	7790
Desplazamiento máximo	2.15108 mm
Factor de seguridad	1.92463

Fuente: Grupo de investigación, (2014)

El análisis del soporte nos da paso a su construcción ya que cumple con los criterios de diseño de Von Mises, manteniendo un factor de seguridad aceptable que nos permite construirlo.

Una vez construido el soporte motor, el motor y el soporte de la transmisión quedarán ubicados como se muestra en la figura 3.44.



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.44: Ubicación del sistema de transmisión

3.7.4 UBICACIÓN DEL CENTRO DE MASA DEL CROSS CAR

El centro de masa (c.m) de un sistema es el punto geométrico que dinámicamente se comporta como si en él estuviera aplicada la resultante de las fuerzas externas al sistema.

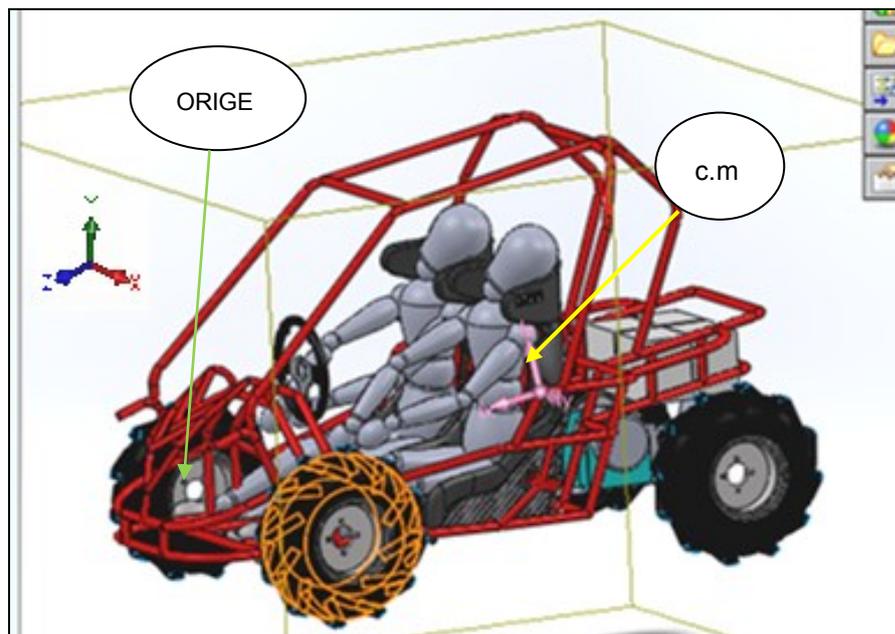
Para determinar la ubicación del centro de masa en el cross car necesitamos ensamblar los componentes que vamos a implementar, a fin que el programa pueda calcular este punto con mayor exactitud. Para ello entonces tenemos también que colocar a los ocupantes para que su ubicación sea más real.

Para ello modelamos el ensamble en SOLIDWORKS como se muestra en las figuras 3.45, 3.46 y 3.47.



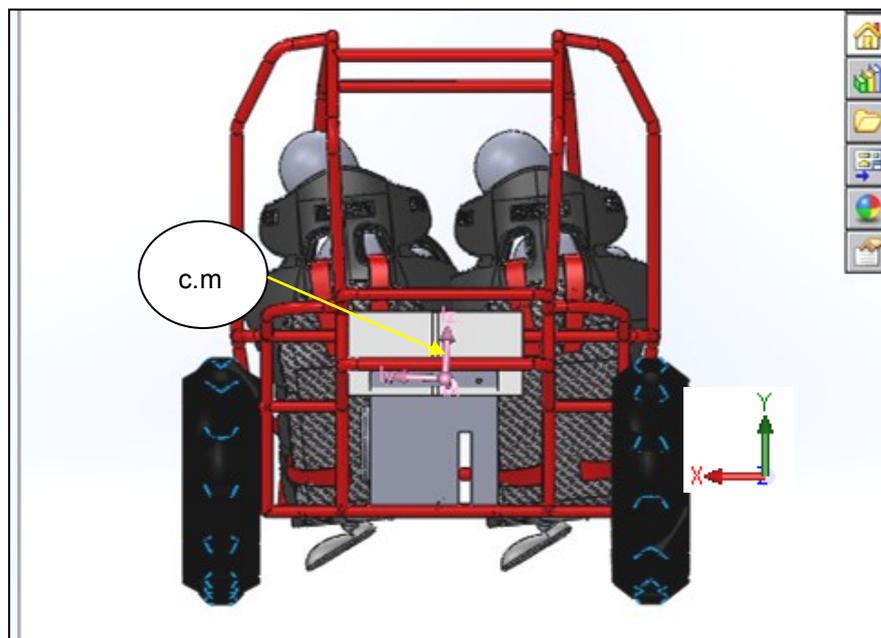
Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.45: Ubicación centro de masa vista lateral



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.46: Ubicación centro de masa perspectiva



Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Figura 3.47: Ubicación centro de masa vista posterior

Entonces el centro de masa calculado se encuentra en las coordenadas que se muestran en la tabla 3.11, tomando como punto de referencia (origen del dibujo) el punto medio inferior de la parte frontal del chasis como se muestra en la figura 3.46:

Tabla 3.11: Coordenadas de ubicación del centro de masa

EJE	COORDENADAS
X	-24.68mm
Y	193.23 mm
Z	-1481.21 mm

Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Analizando el resultado obtenido vemos que el centro de masa del proyecto se encuentra detrás de los ocupantes del vehículo, ligeramente hacia atrás del centro del vehículo, debido a que el peso de las baterías se encuentra sobre el eje posterior, que por motivos de diseño eléctrico, espacio y confort de los ocupantes no pueden ser ubicadas en otro lugar. Sin embargo en un vehículo eléctrico se aconseja que el banco de baterías vaya ubicado en la mitad de los ejes delantero y posterior del vehículo para bajar lo máximo posible el centro de masa y obtener mejor desempeño dinámico a altas velocidades. Tomando en cuenta que nuestro vehículo turístico no excederá los 50 Km/h, la ubicación del centro de masa calculado es aceptable, como si fuera un vehículo de combustión interna con el motor en la parte posterior.

CAPÍTULO 4

4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL CROSS CAR

Con la finalidad de obtener resultados más precisos al realizar las pruebas nos aseguramos de mantener las baterías del cross car cargadas al 100%. Todas las pruebas en éste capítulo se las hizo con la carga máxima calculada (175 Kg o dos personas). Al ser un vehículo de transporte turístico para la ciudad de Baños, la superficie donde se realizaron las pruebas es de asfalto.

4.1 PRUEBAS DE ACELERACIÓN

Esta prueba la realizamos en una superficie recta, y consistía en determinar el tiempo que el cross car demora en recorrer una distancia de 150m, partiendo desde el reposo. El tiempo cronometrado fue de 14.76 segundos.

Entonces la velocidad calculada está dada por:

$$Vf = \frac{d}{tf} \quad \text{Ec. 18}$$

$$Vf = \frac{150m}{14.76s} = 10.16 \frac{m}{s} = 36.59 \frac{Km}{h}$$

Calculada la velocidad la aceleración está dada por la ecuación 19:

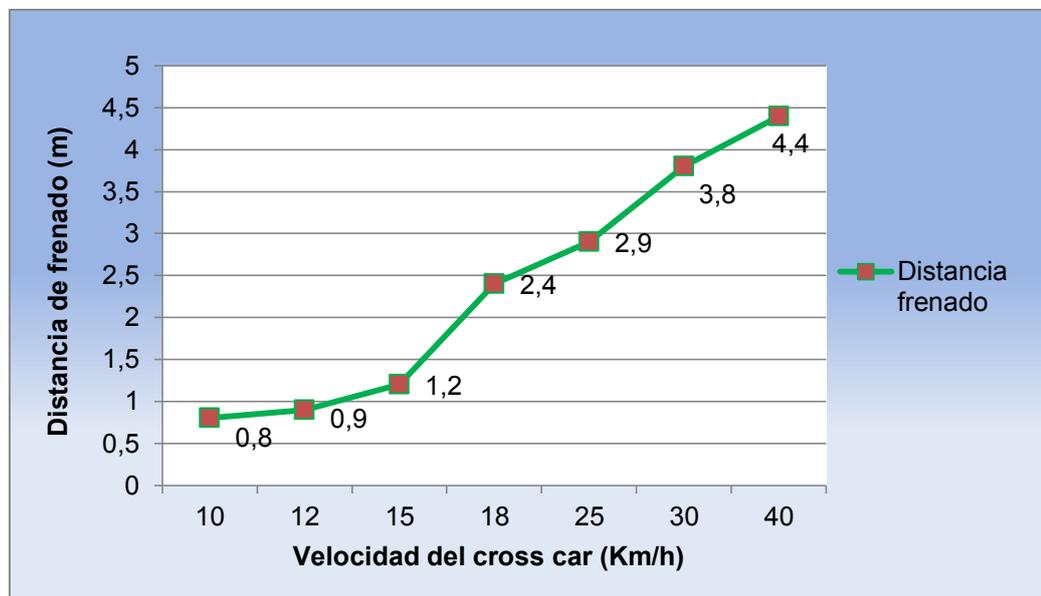
$$a = \frac{v_f - v_o}{t_f - t_o} \quad \text{Ec. 19}$$

$$a = \frac{10.16 \text{ m/s} - 0}{14.76 \text{ s} - 0} = 0.688 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

La prueba de aceleración determinó que el cross car tiene una aceleración máxima de $0.688 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

4.2 PRUEBAS DE FRENADO

La prueba de frenado es importante pues nos permite conocer como se comportará el vehículo a distintas velocidades y poder utilizar estos datos para tomar las precauciones necesarias en la conducción del cross car. La figura 4.1, detalla los datos obtenidos en la prueba,



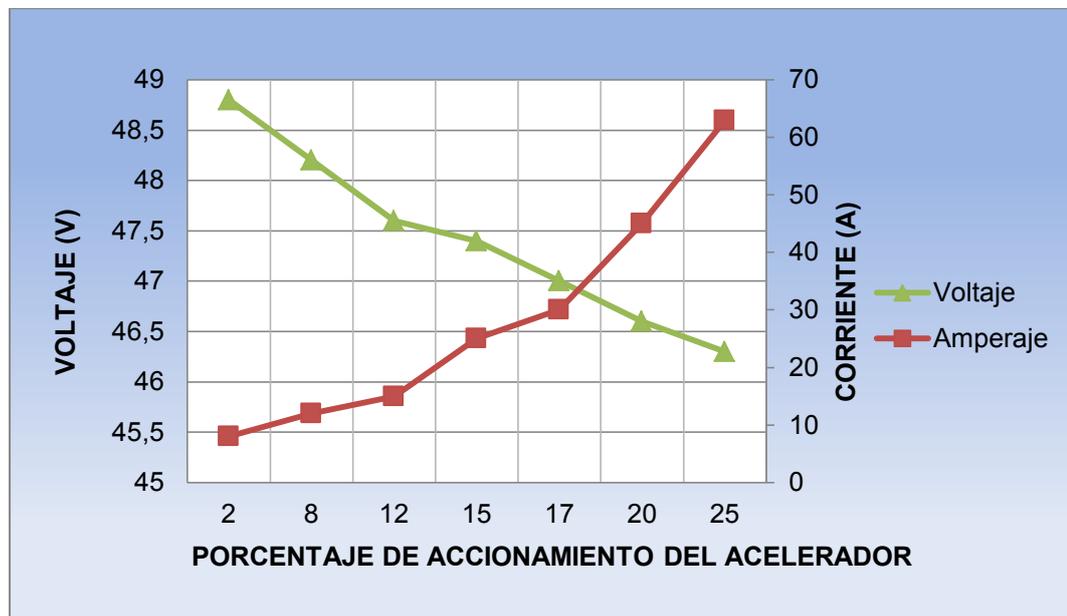
Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 4.1: Pruebas de frenado

Se puede observar que a una velocidad de 40 km/h el auto necesita de una distancia de 4.4 m hasta detenerse totalmente, se recomienda usar la distancia prudente de 5 m atrás de cualquier vehículo u obstáculo para una conducción segura.

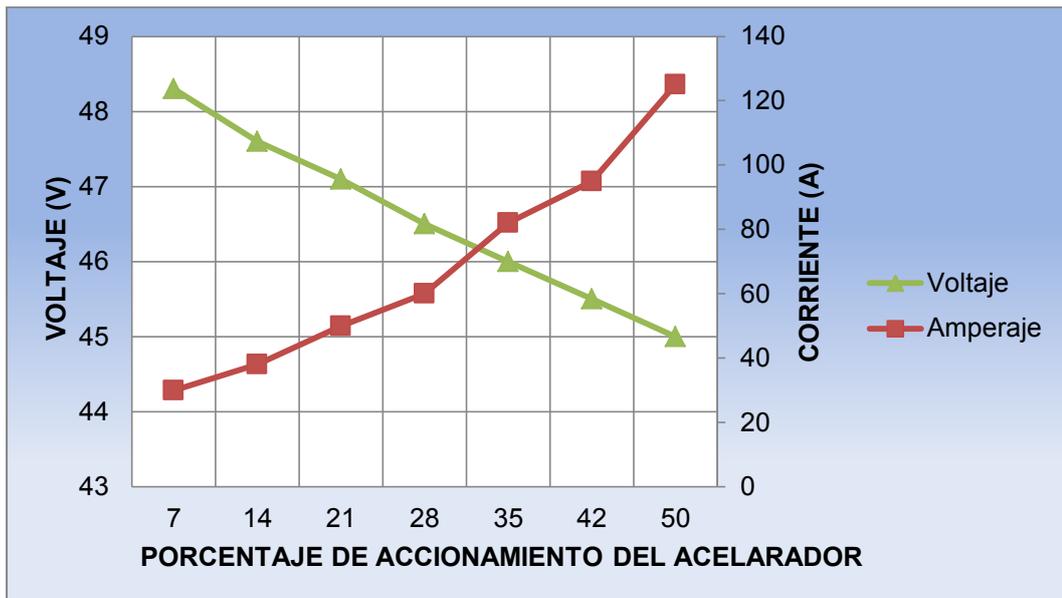
4.3 PRUEBAS EN RECTA

En las figuras 4.2, 4.3 y 4.4 se recopilan los datos obtenidos de las pruebas en recta de baja, media y plena carga respectivamente, en cada una de ellas se observa el voltaje de las baterías y el amperaje consumido por el motor de acuerdo a la posición del pedal del acelerador. Los datos expuestos son las lecturas de los instrumentos de medición del panel de control del cross car.



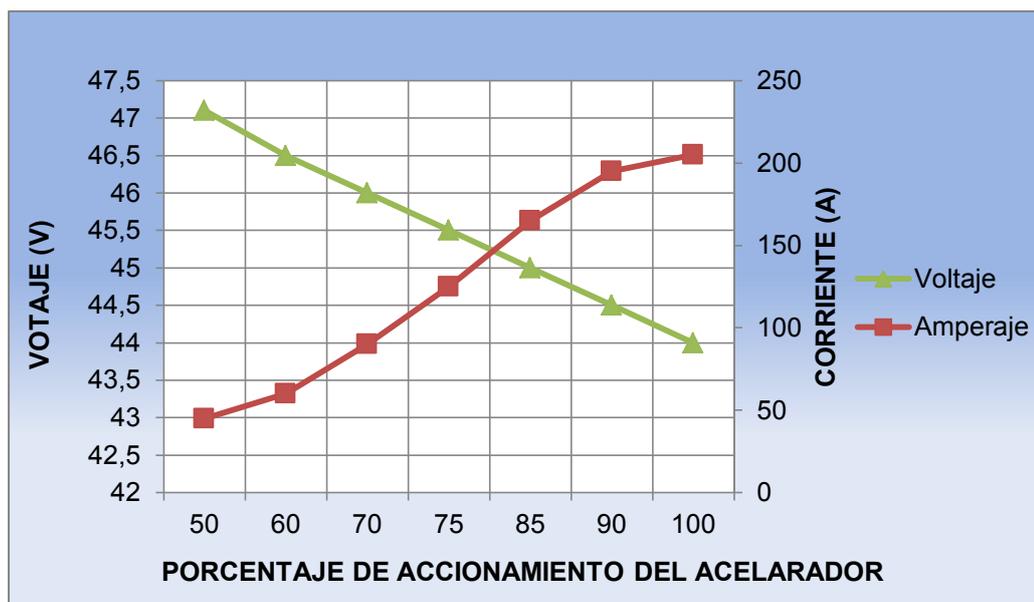
Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 4.2: Aceleración del motor hasta llegar al 25% del pedal



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 4.3: Aceleración del motor hasta llegar al 50% del pedal



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 4.4: Aceleración del motor hasta llegar al 100% del pedal

En la tabla 4.1 se pone a consideración un resumen de los parámetros más representativos de la prueba en recta.

Tabla 4.1: Resumen de las pruebas en recta.

Posición del acelerador %	Corriente consumida (A)
25	63
50	125
100	205

Fuente: Grupo de investigación (2014)

La caída de voltaje máxima que se obtiene al acelerar en recta es de 44 V al 100% de aceleración.

Por lo tanto se observa que el consumo en recta desde un 25% hasta un 100% del acelerador, va de 63 Amp a 205 Amp respectivamente sobre una superficie plana, se recomienda no usar el pedal del acelerador constante al 100% para aumentar la autonomía del vehículo.

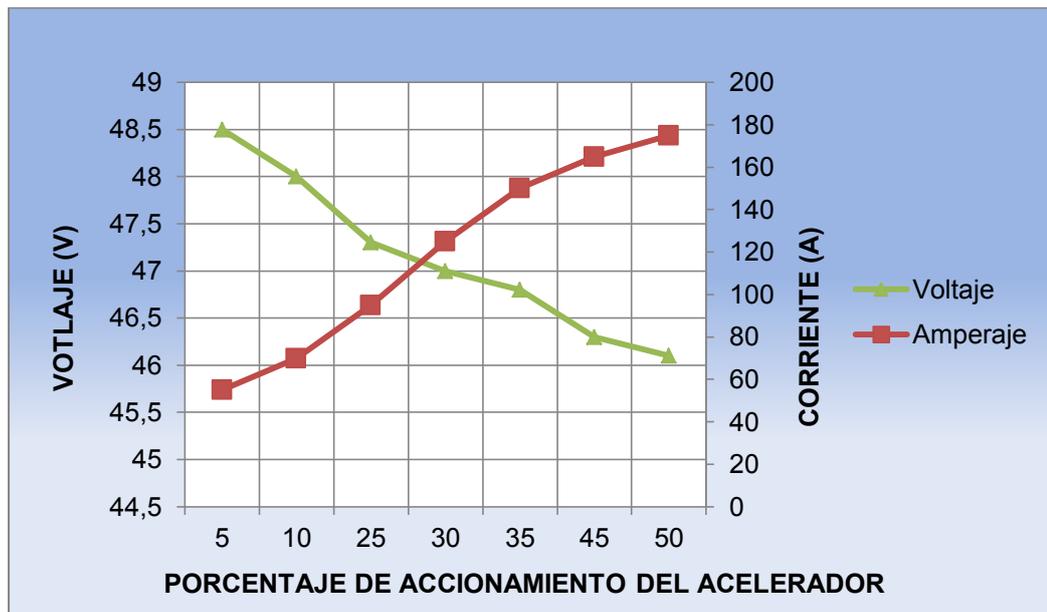
4.4 PRUEBAS EN PENDIENTE

Las pruebas en pendiente se las realizó en la pendiente del 10%, que es la más exigente de nuestro recorrido como se puede ver en la figura 4.5. Obteniéndose los resultados que se muestran en la figura 4.6 con la posición del acelerador a media carga y en la figura 4.7, con la posición del acelerador a plena carga.



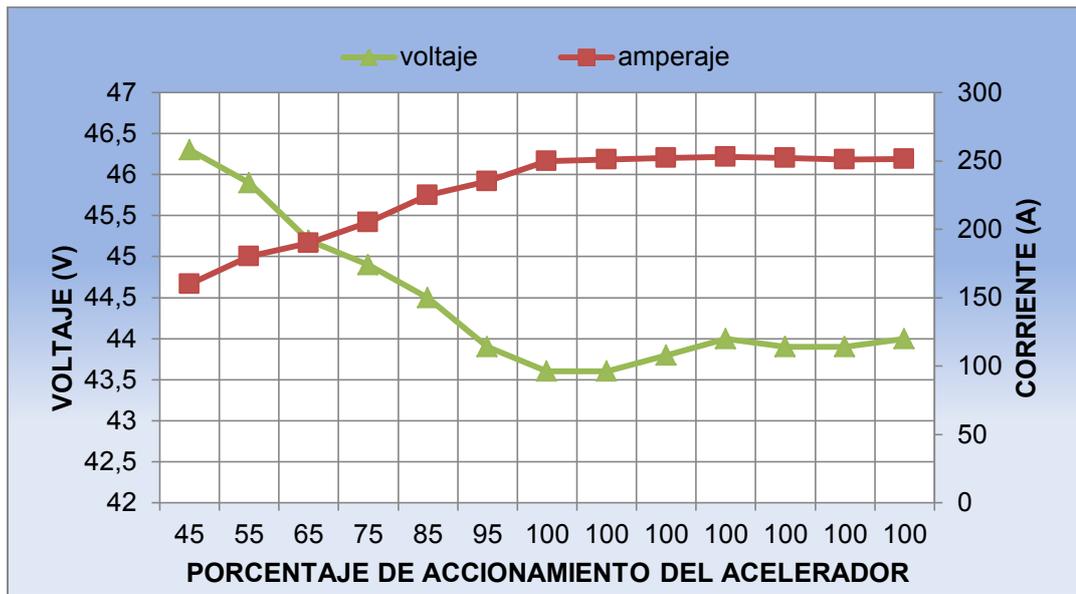
Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 4.5: Prueba en pendiente del 10% con final del 20%



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 4.6: Prueba a media carga en pendiente del 10%



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 4.7: Prueba a plena carga en pendiente del 10%

Haciendo el resumen del comportamiento del cross car (ver tabla 4.2) en esta pendiente podemos decir que está diseñado para subir una pendiente del 10% (6°), aunque probamos que si logra subir pendientes más inclinadas, porque al final la inclinación de la pendiente aumenta hasta alcanzar el 20% (13°) de inclinación, pero el controlador llega a su límite de entrega de corriente (250A), haciendo que el motor consuma mucha energía de las baterías y baje la autonomía.

Tabla 4.2: Resumen de las pruebas en pendiente.

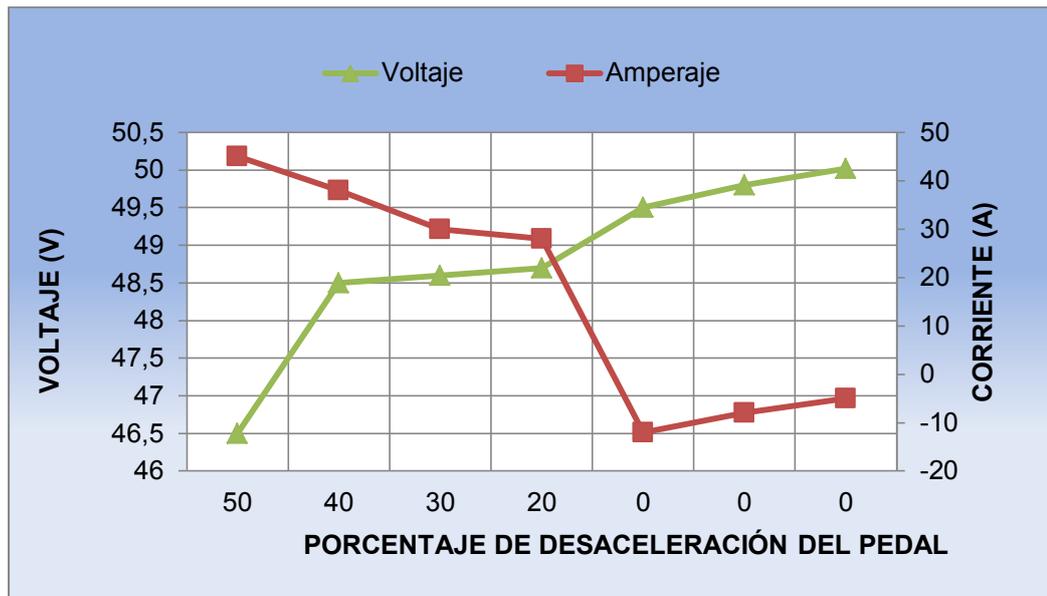
Posición del acelerador %	Corriente consumida (A)
25	95
50	175
75	205
100	250

Fuente: Grupo de investigación (2014)

En conclusión vemos que mientras más aceleremos el cross car, la corriente que consume el motor aumenta de 95 Amp hasta 250 Amp, pero no así su velocidad, la velocidad va aumentando progresivamente hasta un punto donde se mantiene una aceleración constante, y luego la velocidad comienza a decaer cuando mantenemos acelerado totalmente el vehículo, lo mismo pasa con el voltaje que tiene una caída hasta 43.5 V. Por esta razón es que no se recomienda acelerar todo el recorrido del pedal para que la corriente consumida no sea excesiva y se pueda alcanzar una mayor autonomía, manteniendo una velocidad constante.

4.5 PRUEBAS DE REGENERACIÓN DE ENERGÍA

La prueba de regeneración de energía fue realizada en un descenso del 10%. Los datos recopilados de la figura 4.8 muestran el descenso progresivo de la carga del motor cuando se desacelera, hasta el punto que el acelerador no recibe ninguna acción por parte del conductor, en este momento la curva de color rojo (Corriente del motor) indica que existe una corriente negativa (la representamos de esta manera midiendo directamente la corriente de las baterías) porque quiere decir que el motor en lugar de consumir corriente la está entregando a las baterías, consecuencia de esto el voltaje de las baterías sube haciendo notar que hay una entrega de energía.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 4.8: Prueba de regeneración de energía en descenso

En este caso la potencia que entregó en esta prueba la calculamos multiplicando el voltaje de carga de la batería por la corriente medida y tenemos una Potencia entregada = $(10A) (50.02) = 500.2 \text{ W}$, esto nos permite aumentar la autonomía de nuestro Cross, teniendo en cuenta que en el recorrido tenemos unos 6 Km aproximados de descenso.

4.6 PRUEBAS DE MANIOBRABILIDAD

En la prueba de maniobrabilidad viajamos por el recorrido señalado en el capítulo tres, que no tiene curvas cerradas que puedan ser peligrosas, sin embargo como se dijo en el capítulo dos en la selección de la transmisión, al seleccionar la transmisión por cadena (sin caja diferencial) vamos a tener una desventaja de arrastre de las ruedas posteriores como muestra la figura 4.9 que va a ser mayor cuando se necesite realizar un giro en U. Debido a

un ángulo de giro de las ruedas directrices es pequeño y la distancia entre ruedas posteriores mayor que la distancia entre las ruedas delanteras.

Sin embargo en las pruebas de manejo en las curvas no se tuvo inconveniente aunque por seguridad el cross car lo diseñamos para que no exceda los 45 Km/h y evitar pérdidas de control a altas velocidades.



Fuente: (www.bfgoodrich.es, 2014)

Figura 4.9: Explicación del subviraje.

4.7 PRUEBAS DE AUTONOMÍA

La prueba de autonomía se hizo por el recorrido planteado al comienzo del capítulo tres, que consiste en un tramo de 15.2Km comprendidos en 7.6 Km de descenso y 7.6 km de ascenso en ligeras pendientes (ver figura 3.3).

Es así que con el banco de baterías cargado completamente, el cross car cumplió con dos viajes completos y un ultimo con un voltaje mínimo y velocidad reducida, cumpliendo con un total de 38,4 km, cumpliendo con así con los cálculos estimados.

4.8 PRUEBAS DE CARGA

Cuando la lectura de voltaje del voltímetro panel de control marque 43V, las baterías se encuentran descargadas el 80% de su capacidad total, y necesitan ser recargadas. Entonces utilizamos el cargador de carga media que construimos que entrega una corriente de 12 A continuos y un voltaje regulado de 50V.

El tiempo de carga estimado por el fabricante es de 7,5 horas a 25°C, pero en base a las recargas que se han hecho las baterías se recargan en un tiempo que va entre 7horas y 45 minutos a 8 horas.

CAPÍTULO 5

5. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.1: Cross Car Eléctrico Biplaza turístico

5.1 GENERALIDADES

El presente manual de funcionamiento y mantenimiento corresponde a un vehículo eléctrico tipo Cross para transporte turístico en la ciudad de Baños, el mismo que tiene por objeto facilitar al usuario y al técnico el mantenimiento preventivo y correctivo del Cross.

Ese manual también incluye instrucciones sobre:

- Reglas generales de seguridad.
- Especificaciones técnicas del vehículo, ver tabla 5.1.

- Instrucciones sobre el mantenimiento y reparación de los distintos componentes del vehículo y las herramientas a usarse, ver tabla 5.2
- Cuadro de errores frecuentes en el vehículo, ver tabla 5.3

El correcto uso de este manual nos ayudara a evitar posibles daños en el vehículo, por lo que se recomienda siempre tener en un lugar visible y al alcance de propietario como también técnicos.

El fabricante no se responsabiliza por daños producidos en el personal o vehículo en el caso de no darle el correcto uso a este manual de mantenimiento.

Este manual usa las siguientes denominaciones, los mismos que corresponden a indicaciones de vital importancia:



ATENCIÓN: Informaciones de carácter especial para evitar el daños en el vehículo



PELIGRO: Informaciones de carácter especial para evitar daños personales



PELIGRO: shock eléctrico, riesgo de muerte

5.2. REGLAS DE SEGURIDAD

5.2.1. REGLAS GENERALES

Este vehículo fue diseñado como un Cross eléctrico para el transporte de pasajeros en un lugar turístico, por consiguiente no es un vehículo para competencias, y un máximo de dos personas en el mismo.

Por lo tanto puede ser causa de peligros para las personas y bienes materiales en el caso de que:

- Se lo use en carreas o pistas para competencias
- No se siga correctamente las normas de seguridad
- Sea modificado o alterado en su diseño de implementación
- Sea manejado por personal que no tengan la edad adecuada

En general se debe tener presente las siguientes medidas de seguridad:

- Evitar el contacto con superficies metálicas en el suelo, tales como tuberías y cualquier tipo de metal
- Mantener alejada las manos de las partes móviles del vehículo
- Mantener alejado las manos de las partes eléctricas que generan alta tensión en el vehículo tales como baterías y motor eléctrico.
- Este vehículo se encuentran sellado contra salpicaduras de agua, sin embargo de ninguna manera se podrá echar corros de agua directamente o sumergir en agua al vehículo

5.2.2 REGLAS DE SEGURIDAD PARA EL MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN

1. Los mantenimiento y reparaciones se deberán realizar por personal capacitado para evitar daños en sus partes
2. No se deberá poner en movimiento el vehículo en el caso de existir averías
3. No manipular el vehículo en movimiento
4. Realizar reajuste de conexiones siempre con el vehículo, presionado el botón de paro de emergencia.

5.2.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.2: Cross Car Eléctrico Biplaza turístico

Tabla 5.1 Dimensiones del Cross car

Tabla 5.1: Especificaciones técnicas del Cross car eléctrico

SISTEMA	DESCRIPCIÓN	
CHASIS	Largo (mm)	2075
	Ancho (mm)	1235
	Distancia entre ejes (mm)	1400
	Peso Total (Kg)	165
TRANSMISIÓN	Relación de transmisión	4:1
	Cadena	½ pulgada de paso
MOTOR	Marca	DRIVE 5 ME1003
	Voltage	48V
	Potencia Nominal	6 KW
	Peso	19 Kg
BATERÍAS	Peso total	148 Kg
	Marca	ULTRACELL
	Amperaje	120 A/h

Fuente: Grupo de investigación, (2014)

Las especificaciones técnicas mostradas en la tabla 5.1 son del vehículo turístico eléctrico tipo cross car mostrado en la figura 5,2.

5.2.4 HERRAMIENTAS PARA MANTENIMIENTO

Para el correcto mantenimiento y reparación del Cross car eléctrico se deberán tener las siguientes herramientas:

Tabla 5.2: Herramientas usadas en el mantenimiento

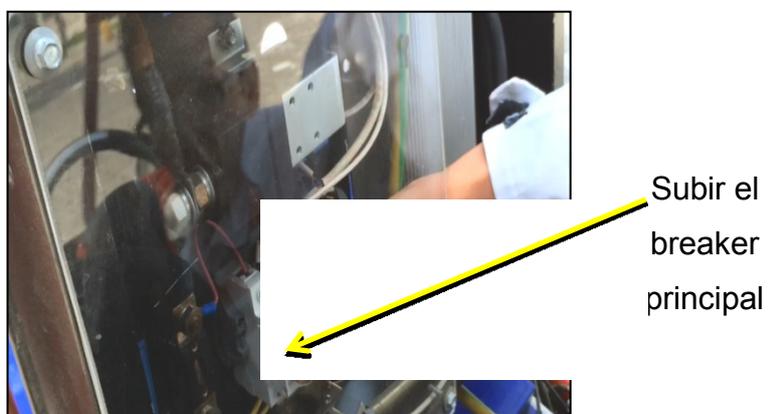
No	Herramientas	Gráfico
1	Llaves fijas No.10, No.12, No.13, No.17, No.22	
2	Juego de llaves Allen	
3	Juego de Copas No.10, No.12, No.13, No.17, No.22	
4	Destornillador Plano	
5	Destornillador estrella	
6	Martillo metálico	
7	Flexometro	
8	Alicate	
9	Pinza	
10	Alicate de presión	
12	Desengrasante	
13	Multímetro	

Fuente: Grupo de investigación (2014)

5.4 PROCEDIMIENTO DE ENCENDIDO

Para proceder con el encendido del Cross Eléctrico se lo realiza de la siguiente manera:

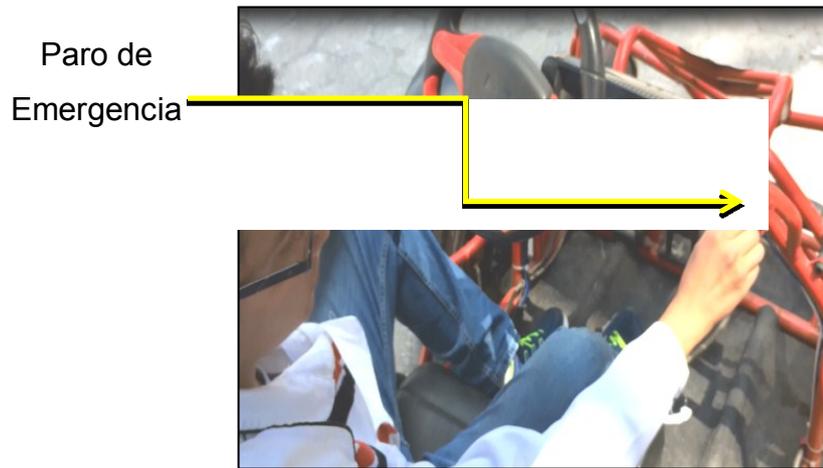
Paso 1: Encender el Breaker principal en el panel de control, en el caso que el mismo no esté encendido, ver figura 5.3



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.3: Breaker principal

Paso 2: Quitar el paro de emergencia, ver figura 5.4.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.4: Paro de emergencia

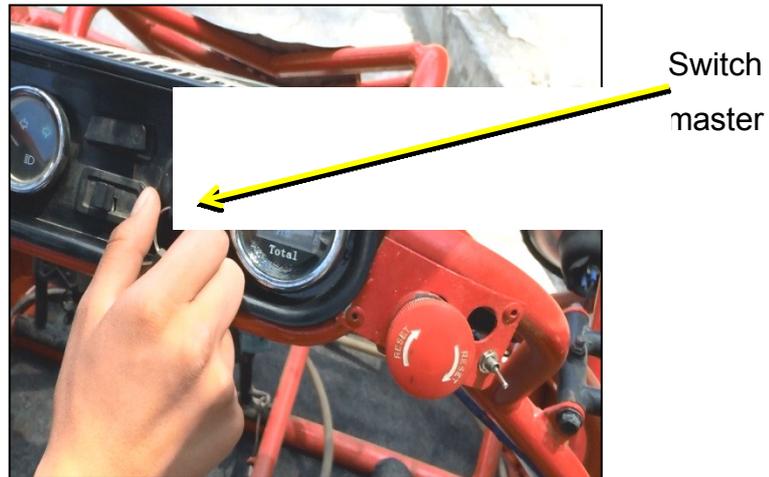
Paso 3: Encender el modulo electrónico de medición, ver figura 5.5.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.5: Switch módulo electrónico

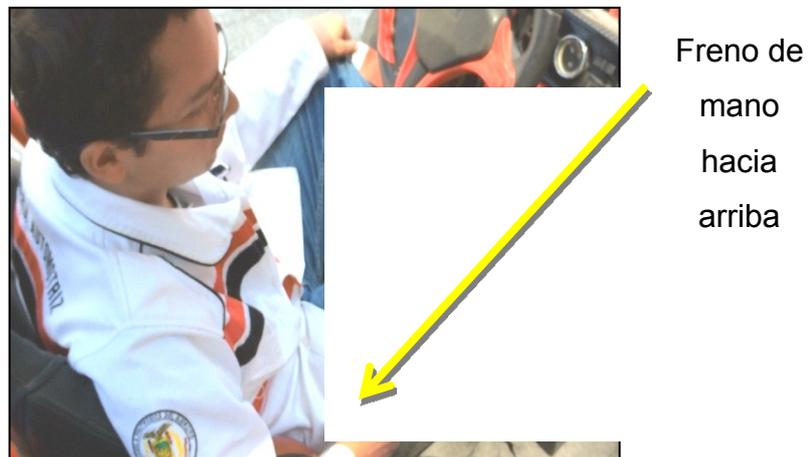
Paso 4: Encender el switch de encendido del vehículo, ver figura 5.6



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.6: Breaker principal

Paso 5: Quitar el freno de mano hacia arriba, es decir quitando el seguro y jalándolo, ver figura 5.7.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.7: Desenganche freno de mano

Paso 6: Seleccionar marcha adelante o atrás y acelerar, ver figura 5.8

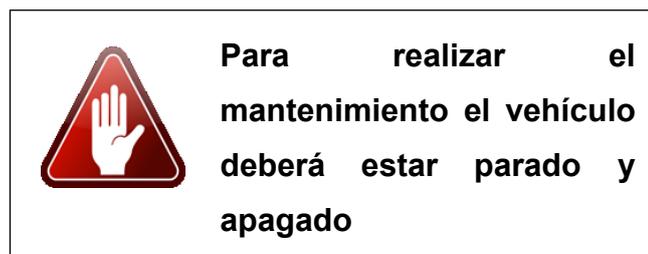


Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.8: Palanca seleccionadora de marcha (D o R)

5.5 MANTENIMIENTO Y REPARACION

A continuación se muestran las indicaciones para el mantenimiento preventivo y correctivo del Cross eléctrico:



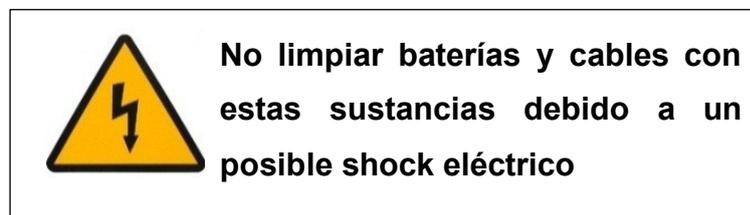
5.5.1 LIMPIEZA

Realizar la limpieza del Cross con gasolina o desengrasante por medio de una estopa para limpiar cualquier tipo de impurezas excepto las baterías y el motor eléctrico en periodos de no más de un mes, dependiendo del uso del mismo, ver figura 5.9.



Fuente: www.norauto.es (2014)

Figura 5.9: Desengrasante para la limpieza del Cross



5.5.2 MANTENIMIENTO ESTRUCTURAL

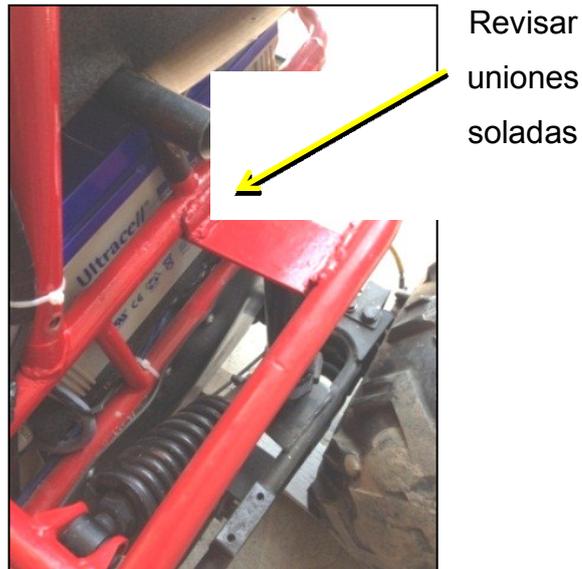
5.5.2.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO GENERAL

Realizar periódicamente inspecciones visuales del ajuste de todos los pernos del Cross, y de todas las piezas para visualizar daños en la estructura debido a que es un vehículo turístico sometido a varios tipos de caminos y por lo tanto a diferentes esfuerzos.

Realizar un ajuste preventivo semanalmente. En el caso de encontrar pernos flojos, terquearlos de acuerdo a su medida para evitar accidentes.

5.5.3 INSPECCIÓN DE UNIONES SOLDADAS

En caso de observar uniones soldadas con falla, se debe inmediatamente llevar a soldar la pieza averiada o realizar el cambio de pieza de ser necesario, ver figura 5.10.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.10: Uniones soldadas

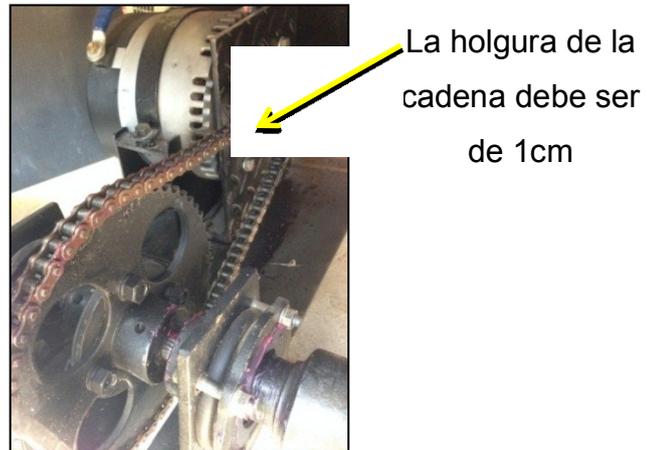
5.5.4 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

En esta sección hace referencia al mantenimiento preventivo y correctivo del tren de potencia del Cross eléctrico

5.5.4.1 REVISIÓN DE LA CADENA

El mantenimiento de la cadena consiste en la inspección de los siguientes puntos:

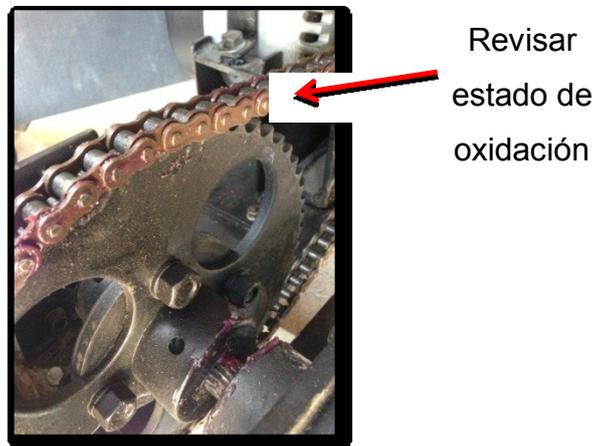
Revisar el estado de la cadena, y el ajuste de la misma, ver figura 5.11



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.11: Holgura en cadena de transmisión

Revisar el deterioro de la cadena y el estado de oxidación por exposición al agua y sales, en el caso de existir usar un desoxidante para su limpieza y un cepillo de alambre, ver figura 5.12.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.12: Estado de oxidación de la cadena de transmisión



Siempre usar el desoxidante, usando equipos de protección como mascarilla y guantes.

Realizar esta inspección cada mes periódicamente para evitar daños en la transmisión.

5.5.4.2 REVISIÓN DE LOS EJES

Se debe hacer una inspección del eje cada mes periódicamente en la misma que consiste, visualizar deformaciones en el eje, en el caso de encontrarlas realizar el siguiente procedimiento:

Paso 1: Desmontar el eje a reparar, ver figura 5.13 y 5.14.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.13: Ejes traseros del Cross



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.14: Revisión del eje trasero

Paso 2: Rectificar en el torno, ver figura 5.15



Fuente: www.directindustry.es (2013)

Figura 5.15: Torno rectificador

Paso 3: Enderezar en la prensa hidráulica, ver figura 5.16



Fuente: www.directindustry.es (2013)

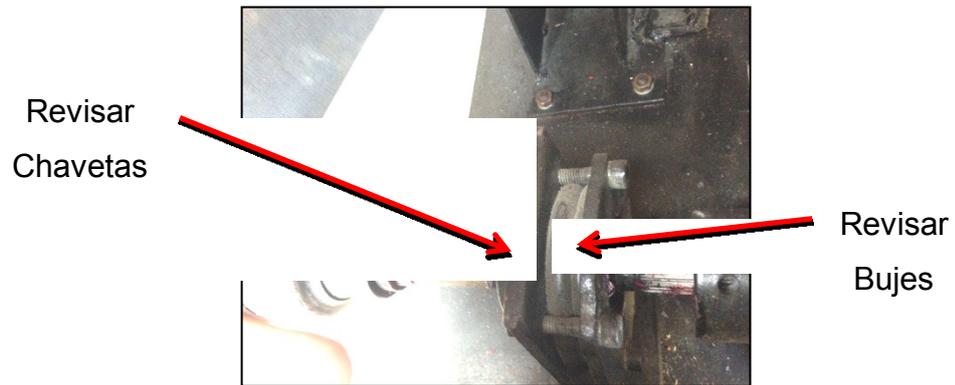
Figura 5.16: Prensa hidráulica

Paso 4: Volver a montar el eje.

5.5.4.3 REVISIÓN DE FIJACIONES SOBRE EL EJE

Paso 1: Verificar las chavetas y ajuste de los ejes

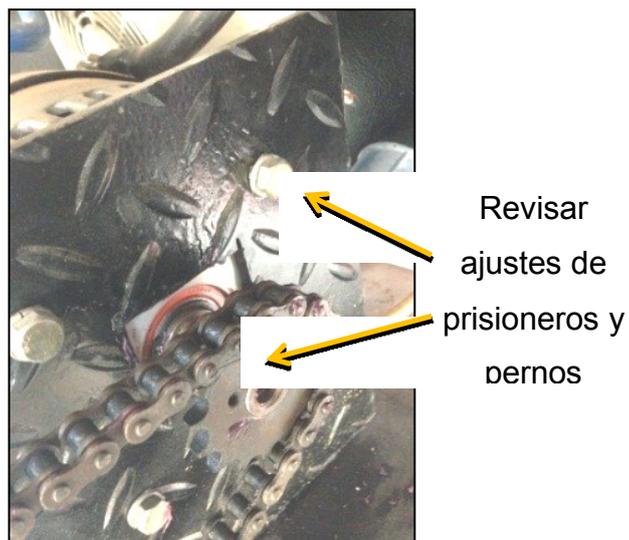
Paso 2: Revisar los bujes y el ajuste de todos los pernos ubicados en el eje, ver figura 5.17.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.17: Fijaciones sobre el eje

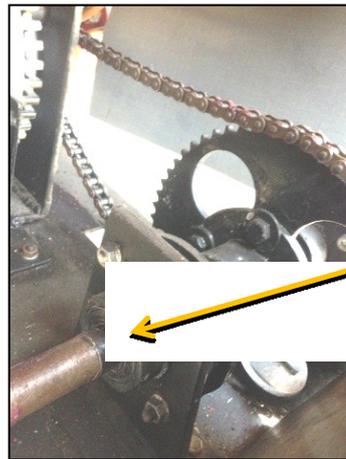
Paso 3: Revisar ajustes de los prisioneros ubicados en la manzana de la catalina, ver figura 5.18.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.18: Pernos de sujeción motor y transmisión

Paso 4: Revisar el estado y el sonido de los rodamientos (para revisar el sonido necesariamente debe hacerse con el vehículo en marcha), ver figura 5.19.

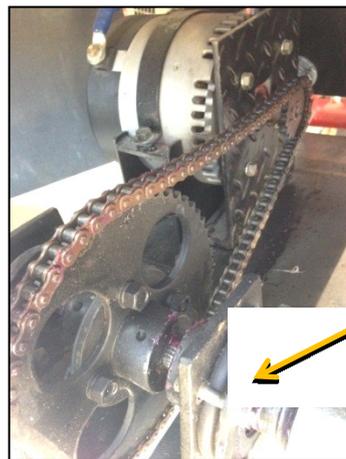


Revisar
rodamientos

Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.19: Rodamientos de la transmisión

Paso 5: Realizar limpieza del eje y engrasar sus puntas, ver figura 5.20.



Engrasar todo
el eje

Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.20: Engrase y limpieza del sistema de transmisión



En el caso de que un rodamiento se encuentre en mal estado no mover el Cross y hacer el cambio inmediato.

5.5.4.4 REVISIÓN DE LAS MANZANAS DE LOS EJES

Verificar el buen estado de la manzana de los ejes observando que no existe deformación significativa en caso de encontrar una deformación leve se debe seguir el siguiente proceso. Estas partes se pueden ver en la figura 5.21.

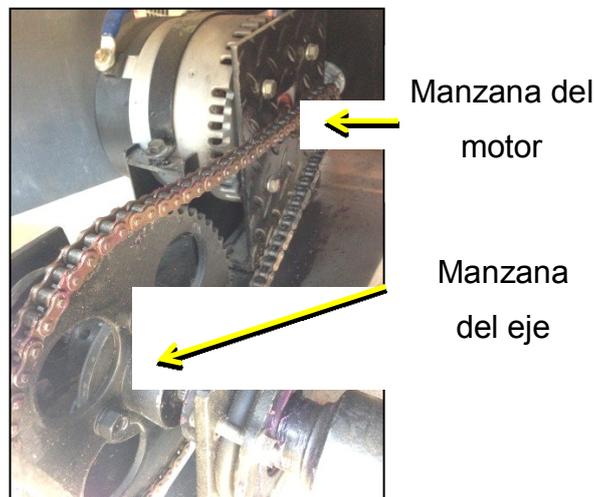
Paso 1: Desmontar el eje y manzana y proceder a rectificarle



Si la deformación es significativa proceder a cambiar la pieza para evitar daños en el sistema.

Paso 2: Comprobar la deformación del eje visualmente y mediante el uso de un calibrador para verificarlo.

Paso 3: Proceder a montar el eje y torquear sus pernos.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

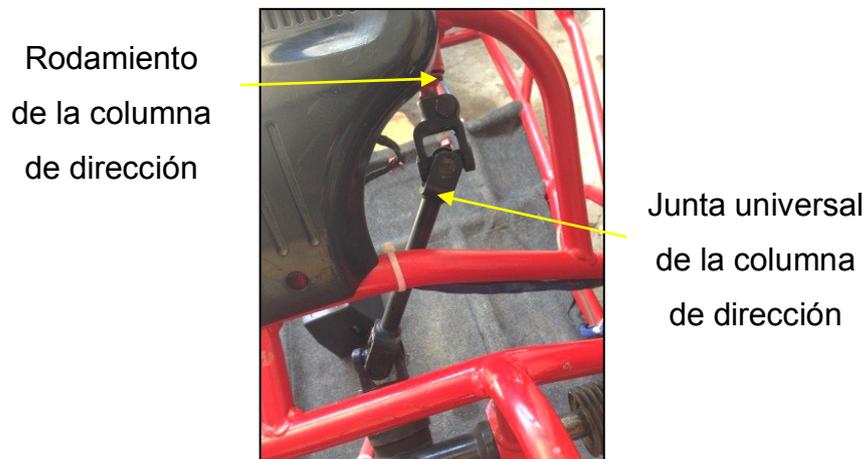
Figura 5.21: Revisión manzanas del motor y transmisión

5.6 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN

El sistema de dirección está compuesto por varios componentes por lo tanto el conjunto debe estar alineado y debe cumplir con la condición de paralelismo entre las ruedas y no tener juegos excesivos entre sus partes, para desempeñar un trabajo eficaz. Para el proceso de revisión deben tomarse en cuenta las siguientes partes.

5.6.1 COLUMNA DE DIRECCIÓN

Verificar el estado de la columna de dirección, en caso de encontrar desgaste excesivo en la junta universal de la columna de dirección (ver figura 5.22), debe cambiarse por una nueva para evitar juegos en el sistema.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.22: Columna de dirección

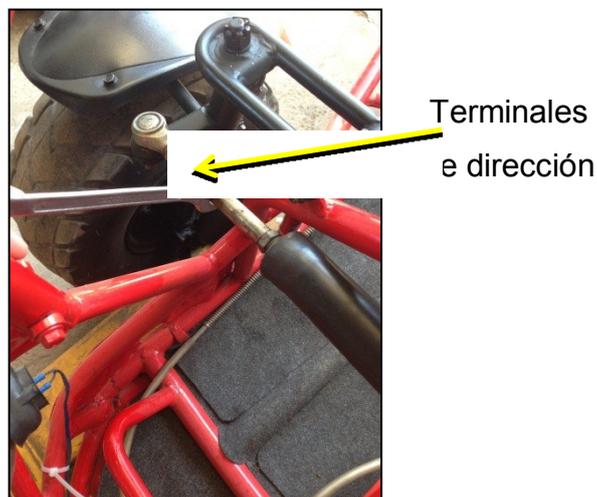
5.6.2 RODAMIENTO DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN

Comprobar el buen estado del rodamiento de la columna de dirección (ver figura 5.22) visualmente y verificar su sonido, en el caso de no estar en

buen estado proceder a su cambio, sacándolo mediante una prensa y volver a montarlo.

5.6.3 TERMINALES DE DIRECCIÓN

Comprobar el estado de los terminales de dirección (ver figura 5.23) moviendo el volante de dirección y observando si las rótulas de los terminales tienen juego excesivo. Reemplazar los terminales en caso que fuera necesario, para evitar accidentes.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.23: Ajuste de varillas tensoras

Una vez revisados todos los componentes del sistema de dirección y verificados todas sus holguras, se debe realizar la alineación de las ruedas directrices para un correcto funcionamiento del sistema, un desgaste adecuado de los neumáticos y un manejo confortable y seguro.

5.6.4 ALINEACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN

Paso 1: Colocar el cross car sobre la mesa de alineación, este procedimiento se lo debe realizar con una alineadora para mejor eficiencia, ver figura 5.24



Fuente: www.autopartner.cl (2013)

Figura 5.24: Alineadora

Paso 2: Inmovilizar la columna de dirección asegurando la posición del volante de dirección en una posición centrada sobre su eje vertical, ver figura 5.25.



Volante
centrado

Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.25: Ajuste de dirección

Paso 3: Fijar el sistema de reglaje de la alineadora en las ruedas delanteras del cross car.

Paso 4: Desatornillar las tuercas de los terminales de dirección de las ruedas delanteras, con la ayuda de unas llaves mixtas como se ve en la figura 5.26.



Ajuste el
eje de
regulación
aquí

Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.26: Eje de alineación de ruedas del Cross

Paso 5: Girar las varillas tensoras para ajustar el ángulo de convergencia de las ruedas, hasta que se cumplan los ángulos recomendados para este tipo de vehículo en la computadora de la máquina alineadora.

Paso 6: Mediante unas llaves mixtas, procedemos a ajustar nuevamente los terminales de dirección con las calibraciones ya realizadas. Ver figura 5.26.

5.7 REVISIÓN DE LAS RUEDAS

Para las ruedas se debe tener primeramente las especificaciones del fabricante, seguir los siguientes pasos para su mantenimiento correctivo:

Paso 1: Comprobar a diario la presión de los neumáticos que debe ser de (15 PSI), con esto y una buena alineación de las llantas se obtendrá un desgaste uniforme de las neumáticos.

Paso 2: Balancear las llantas una vez al mes.

Paso 3: En caso de un desgaste desigual de los neumáticos visible se necesita de urgencia alinear las ruedas del vehículo.

5.8 MANTENIMIENTO DE FRENOS MECÁNICOS

El sistema de frenos del Cross car eléctrico es mediante un sistema de frenos hidráulicos, ayudado también por el freno regenerativo del motor

eléctrico. Para el mantenimiento del sistema de frenos hidráulico se debe realizar el siguiente procedimiento:

Paso 1: Revisar el nivel de líquidos de frenos, ver figura 5.27.



Reservorio de
líquido de
freno

Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.27: Revisión nivel líquido de frenos

En caso que el nivel de líquido de frenos en el reservorio esté muy bajo revisar el desgaste de las pastillas de los frenos de disco de las cuatro ruedas.

Paso 2: Comprobar el nivel de desgaste de las pastillas de frenos visualmente, en caso de ser necesario cambiar las mismas ver figura 5.28.



Pastillas de freno

Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.28: Revisión pastillas de freno

Paso 3: En caso que las pastillas de frenos estén en buenas condiciones (espesor adecuado) y el nivel del reservorio haya estado bajo, revisar los circuitos del sistema de frenos en busca de fugas y corregirlas en caso de encontrarlas. Ver figuras 5.29 y 5.30.



Seguir circuito de cañerías

Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.29: Revisión circuito de cañerías del líquido de frenos



Fuente: **Grupo de investigación (2014)**

Figura 5.30: Bomba de freno y sus circuitos

Paso 4: Ajustar periódicamente las tuercas y tornillos del sistema, ver figura 5.31.



Ajustar pernos
de los circuitos

Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.31: Ajuste de carrocería

Paso 5: De ser necesario purgar el sistema de frenos, ver figura 5.32 Para evitar derramar líquido en el proceso utilizar una manguera conectada a un depósito en la válvula de purga.



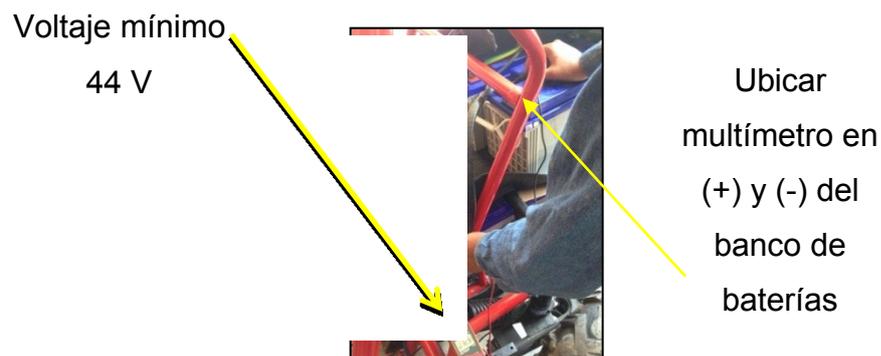
Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.32: Purgado del sistema de frenos

5.9 REVISIÓN DEL BANCO DE BATERÍAS

El tipo de baterías seleccionadas para el Cross no necesita mantenimiento en vista a su sistema de sellado hermético, sin embargo es necesario comprobar:

Nivel de carga de las baterías periódicamente mediante el uso de un multímetro, ver figura 5.33



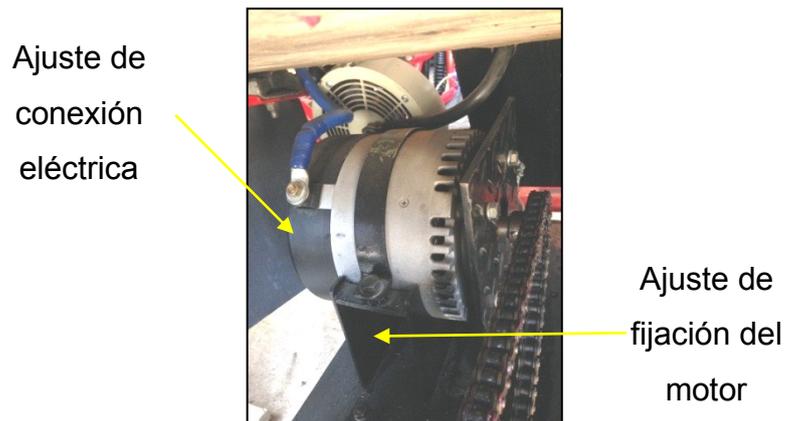
Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.33: Revisión banco de baterías

Revisar el ajuste de los pernos de sujeción de las baterías para evitar calentamiento de los bornes.

5.10 MANTENIMIENTO DEL MOTOR ELÉCTRICO

Paso 1: Revisar el ajuste de los pernos, tanto para la abrazadera de fijación del motor eléctrico como las tuercas de ajuste de las conexiones del motor al controlador. Con un torque de 65 Lb.in. Ver figura 5.34



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.34: Revisión motor eléctrico

Paso 2: Realizar limpieza cada mes mediante un soplete de aire de todos sus componentes eléctricos ubicados en la caja de control donde se encuentran: el contactor, fusiblera, módulo de control y acelerador, ver figura 5.35.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.35: Revisión sistema de control

Paso 3: Revisar el voltaje de funcionamiento del motor y su amperaje mediante los instrumentos en el panel, ver figura 5.36

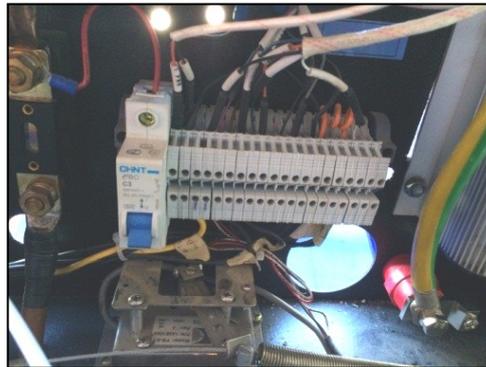


Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.36: Revisión del sistema electrónico de medida

5.11 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL

Paso 1: Revisar que las conexiones al conector master se encuentren ajustados y revisar periódicamente el estado de los cables, ver figura 5.37.



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.37: Revisión del sistema de encendido y control

Paso 2: Verificar la corriente y voltaje en la pantalla, verificar que el voltaje no descienda de 44 voltios y que la corriente no suba de 250 Amp en su funcionamiento, ver figura 5.38.



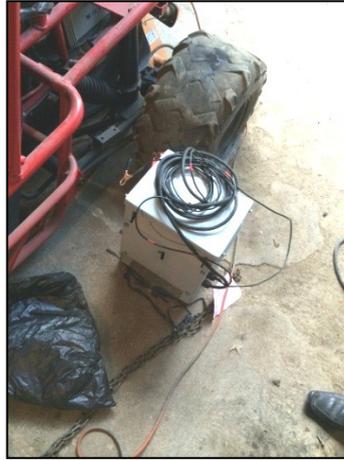
Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.38: Supervisión del sistema de carga de baterías

Paso 3: Revisar las conexiones de la resistencia del panel digital, en caso que este dejara de funcionar.

5.12 SISTEMA DE CARGA DE LAS BATERÍAS

- Supervisar el cargador de baterías, el mismo no debe exceder los 15 Amp de carga lenta y 48 a 50 voltios de carga.
- Supervisar la temperatura del transformador de carga de baterías.
- Tener precaución en la manipulación del cargador ya que maneja 110 VAC y los transforma a 50 VCD, ver figura 5.39



Fuente: Grupo de investigación (2014)

Figura 5.39: Cargador de baterías

5.13 TABLA DE POSIBLES FALLAS

La tabla 5.3 está hecha con el fin de ayudar al usuario o al técnico de mantenimiento a que se oriente en caso de algún problema que presente el cross car, de modo que sea más fácil de realizar un diagnóstico.

Tabla 5.3: Tabla de posibles fallas

SÍNTOMA	RAZÓN	SOLUCIÓN
La silla no ajusta	Seguro bloqueado	Verificar el seguro y engrasar sus partes móviles
	El pedal está bloqueado con algún instrumento o pieza	Quitar el atasco
El Cross no frena	No existe un nivel adecuado del liquido de frenos	Completar nivel con liquido de frenos DOT 3
	El pedal no esta rotando libremente durante todo su recorrido	Purgar el sistema de frenos
	Las pastillas están mal estado	Cambiar pastillas

CONTINUA

La dirección es demasiado dura	No existe un buen funcionamiento del freno regenerativo	Remitirse al manual del motor del fabricante
	Apriete excesivo en las mesas y puntas terminales	Ajustar correctamente los pernos con un torcometro
El Cross tiende a ir hacia un lado	Ruedas bajas	Revisar nivel de presión de aire en las ruedas
	Mal alineamiento del Cross	Realizar alineamiento del Cross
	El modulo se ha desconectado	Revisar conexiones al modulo
El Cross no avanza	La batería se agoto	Revisar estado de la batería y su carga con un multímetro
	No funciona el freno regenerativo	Remitirse al manual del fabricante
	No funcionan los contactos existentes en la palanca de seleccionamiento	Revisar los contactos y de no estar conectados conectarlos

Fuente: Grupo de investigación (2014)

En el caso que se presenten problemas en el módulo de control, esto se refiere a que el cross car no funcione y el led indicador de color rojo en el módulo empiece a parpadear. En la parte de anexos se incluye el diagnóstico de códigos de fallas del módulo.

CONCLUSIONES

1. Se escoge para la implementación del sistema eléctrico y transmisión un car Cross con motor de combustión bi plaza marca SONYC, modelo YH150A, este modelo nos permite tener una buena adaptabilidad de todos los sistemas y componentes para el correcto funcionamiento después de su implementación en carretera, exclusivamente en zonas turísticas
2. Para satisfacer con las necesidades de peso y potencia requerida para mover el Car Cross se escoge un motor eléctrico marca AUTODRIVE ME1003 capaz de producir hasta 9 KW de potencia efectiva, con un voltaje de 48 V y un consumo máximo de 400 Amp por un minuto y 250 Amp a su máxima aceleración e inclinación que fue de una pendiente de 12.7 grados.
3. Para el manejo de todos los componentes eléctricos y electrónicos, se implemento un modulo de control electrónico marca Kelly Control PM72401B ya que la misma cuenta con dos puertos programables J1 y J2, que controlan todos los sistemas del vehículo como son: avance y reversa del motor eléctrico, aceleración, freno regenerativo, alarmas, para un correcto manejo del mismo. Este maneja un amperaje máximo de 300 Amp y un voltaje de 48 V, comandado por el grupo de baterías instaladas.

4. Las baterías escogidas para nuestro vehículo , son baterías marca ULTRACELL de 12 V con características de ciclo profundo ,el banco se encuentra conformado por 4 baterías para conformar nuestro voltaje necesario de 48 V , las mismas nos ofrecen una capacidad de 120 Amp/h , cumpliendo con los requerimientos de autonomía de 32 Km en prueba.

5. Mediante cálculos realizados se determino que la transmisión se la va a realizar por medio de dos catalinas enlazadas por una cadena , la relación de dientes de la una catalina a la otra para obtener el torque necesario y la potencia para cumplir con las exigencias del vehículo eléctrico están en una relación de 4.08 a 1, y concluyendo que la cadena debe tener un paso de 12.7 mm de paso correspondiente a una cadena de ½ pulgada, cumpliendo todos los requisitos de fuerzas y momentos aplicados.

6. El Cross cumple con todas las características de diseño dinámico y estático, ya que mediante cálculos realizados en Solid Works, se obtuvo en todos los diseños del mismo, factores de seguridad superiores a 1.2, por lo cual nos permite concluir que el vehículo soportara todo tipo de carga y conducción, comprobándolo en el manejo eficiente en carretera en la ciudad de Baños.

7. Después de las pruebas realizadas en carretera podemos determinar que el consumo en rectas promedio del Cross a media carga y carga

completa va aproximadamente desde los 60 Amp hasta los 200 Amp respectivamente, mientras que en las mismas circunstancias en pendientes de hasta 10 % el consumo es de 150 Amp hasta 250 Amp respectivamente controlado por el controlador.

8. Se comprueba la eficiencia del freno regenerativo, ya que en instancias de frenado el mismo modulo electrónico de medida nos muestra el incremento de voltaje hasta los 50.02 V, en donde empieza el ciclo de recarga aumentando la autonomía
9. El vehículo eléctrico cumple con especificaciones y reglamentaciones de seguridad, ya que cuenta con dispositivos de seguridad como son paros de emergencia, fusibles de 250 Amp y protecciones internas para manos, las cuales no permiten tener un contacto directo de sus ocupantes con riesgos eléctricos.
10. Se elabora un manual de conducción el mismo que nos demuestra como operar el vehículo, las posibles fallas a darse y su respectivo mantenimiento, por medio del él nos podemos guiar más fácilmente y acoplarnos más al nuevo mundo de la tecnología de vehículos eléctricos y su influencia en el medio ambiente.
11. Fue elaborado un cargador de baterías por medio de un transformador de 120 VAC a 50 VDC que nos permite recarga las baterías después de

su periodo de trabajo y cuenta con una carga aproximada de 10 Amp/h dándonos una carga completa en 8 Horas o toda la noche .

12. La contaminación auditiva y ambiental se reduce de manera notable con este tipo de vehículos, el mismo que satisface con los requerimientos medio ambientalistas y de bienestar con la comunidad para su implementación efectiva.

RECOMENDACIONES

1. Es muy importante para operar el Car Cross Eléctrico primero leer el manual de mantenimiento incluido en el capítulo 4, para un mejor manejo y vida útil de sus componentes como la seguridad de quien lo está operando.
2. El Cross eléctrico funciona como un voltaje DC de 48 VDC, pero sus corrientes pueden llegar a superar los 250 AMP, aunque el mismo está provisto de protecciones tanto externas como internas, no se puede manipular ni tocar sus componentes de control mientras se encuentre encendido.
3. Este tipo de vehículo deberá ser operado por personas mayores de edad por normativa de la ANT y las leyes del estado Ecuatoriano.
4. El Cross es un vehículo eléctrico para transporte turístico, se recomienda no hacer uso del mismo en situaciones de competencias o en pistas donde las condiciones de manejo sean difíciles.
5. Las baterías son de ciclo profundo esto quiere decirnos que pueden cumplir un ciclo de descarga completa y carga, pero es recomendable cargarlas cuando en el módulo electrónico de carga marque un voltaje de baterías de 46 VDC.

6. Este vehículo está equipado con un módulo que puede soportar los 300 AMP, sin embargo posee elementos de protección y programación que no van a dejar superar los 250 AMP por lo cual en el panel de control se deberá supervisar no superar de este rango de seguridad.
7. El Cross eléctrico ha sido probado en manejo y situaciones extremas para el mismo cumpliendo todas las expectativas de estabilidad, manejo y frenado, sin embargo es recomendable un manejo seguro y responsable durante su uso.
8. Este vehículo es para dos personas, bajo ningún motivo deberán ir más pasajeros en el mismo o fuera de él, en vista a que se compromete la seguridad de sus ocupantes.
9. Usar de manera correcta el cargador de baterías, el mismo que es fácil su manipulación pero no deberá ser desarmado o manipulado ya que en su interior contiene un transformado con alta corriente y voltaje.
10. El Cross eléctrico es de uso exclusivo para transporte turístico, y para su manejo, límites de velocidad y áreas donde puede ser manejado será regido exclusivamente por la ANT y el municipio de la ciudad de Baños.
11. La autonomía del cross car se puede incrementar con la implementación de modernas baterías de polímero de litio, que pueden tener una capacidad específica de 200 Wh/kg frente a las baterías de plomo-ácido

de ciclo profundo que fueron seleccionadas para nuestro proyecto que tienen una capacidad específica de 38.92 Wh/kg. Sin embargo para nuestro proyecto éste tipo de baterías resultaban muy costosas.

12. Las eficiencias en el sistema de transmisión de movimiento hasta las ruedas deben ser superiores a 0,8 en un vehículo eléctrico debido a que la autonomía también depende del aprovechamiento eficaz de la energía entregada por las baterías.

13. El desgaste equilibrado de los componentes de la transmisión por cadena depende de la selección adecuada de los piñones conductor y conducido, uno debe ser impar para que la aplicación de la fuerza tensora sea alternada entre sus dientes.

BIBLIOGRAFÍA

- Amarilla, J. (2011). Baterías avanzadas para vehículos eléctricos. *Guía del vehículo eléctrico*, 119, 120.
- Autolibre. (2011). *Manual técnico de Conversión de Vehículos Eléctricos*. Montevideo.
- Bargalló, J. (2009). *El vehículo eléctrico y la eficiencia energética global*. Barcelona: Urgell.
- Car Magazine. (2010). *Green Car*. Columbus.
- Ceña, A. S. (2009). El coche eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente. *Revista eólica y del vehículo eléctrico*, 43.
- Departamento de Electronica de la Universidad de Chile. (2012). *El Estado del Arte del freno regenerativo*. Santiago de Chile.
- Durán, M. (2010). *Determinación de los requerimientos de par, velocidad angular y potencia para el motor de un vehículo eléctrico*. Cuernavaca: Palmira.
- Gonzales, A. (2010). *Implantación de vehículos Eléctricos en el ayuntamiento de Vigo*. Vigo.
- Kelly Controls. (2012). *Kelly PM controller's manual*. Shichuan: LLC.
- Kindler, H. y. (1986). *Matemática Aplicada a la Técnica del Automóvil*. Bogotá: Reverté S.A.
- Laboratoire de Genié Electrique. (2009). *Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems*. Paris: LGEP.
- Larminie, J. y. (2003). *Electric Vehicle Technology Explained*. Inglaterra: John Wiley & Sons. Inc.
- MOTENERGY INC. (2010). *Information Product ME1003*. Slinger: Motenergy.

Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: Prentice Hall INC.

Ogata, K. (2003). *Ingeniería de Control Moderna*. Ohio: Prentice Hall.

Porras. (2011). *Selección de cadenas de rodillos*. Toledo.

ULTRACELL. (2012). UCG 12012. *Ultracell Battery's data sheet*, 1, 2.

NETGRAFÍA

Agencia Nacional de Transito. (15 de Octubre del 2013). Reglamentos de transito en las ciudades del Ecuador. [Recuperado el 03 de Junio del 2014] <http://www.cgg.gob.ec/cgg/archivoscgg/reglamentos/transito.pdf>.

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

El coche eléctrico. (15 de Agosto del 2013). Baterías usadas en vehículos eléctricos. [Recuperado el 03 de Junio del 2014] de <http://www.evwind.es/>

Direct Industry. (20 de Septiembre del 2013). Herramienta usada para prensar ejes. [Recuperado el 03 de Junio del 2014], de www.directindustry.es

Direct Industry. (20 de Septiembre del 2013). Herramienta usada para torneear ejes. [Recuperado el 03 de Junio del 2014] de www.directindustry.es

Kelly Controllers. (05 de Octubre del 2013). Controlador eléctrico. [Recuperado el 03 de Junio del 2014] de <http://kellycontroller.com/pm72401b400a72vwith-regen-p-348.html>.

Bfgoodrich. (06 de Noviembre del 2013). Explicación del subviraje en vehículos. [Recuperado el 03 de Junio del 2014] de <http://www.bfgoodrich.es/es/consejos/Guia-de-conduccion/Definiciones>.

Productos Autolibre, (3 de junio del 2013), Motores eléctricos disponibles para autos eléctricos. [Recuperado el 24 de julio del 2013] de <http://www.autolibreelectrico.com/archives/category/productos>.

Funcionamiento del controlador en sus cuatro fases, (18 de marzo del 2014), [Recuperado el 5 de junio del 2014] de <http://www.roboteq.com/index.php/applications/how-to/160-understanding-regeneration>.

Esquema básico de funcionamiento del controlador del motor eléctrico, (18 de marzo del 2014), [Recuperado el 5 de junio del 2014] de <http://auto.howstuffworks.com/electric-car.htm/printable>.

ANEXOS

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Álvaro Sebastián Camacho Cañizares y Eduardo Xavier Guevara Barros bajo mi supervisión.

ING. FABIÁN SALAZAR
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. JUAN ROCHA
CODIRECTOR DEL PROYECTO

ING. JUAN CASTRO
DIRECTOR DE LA CARRERA

DR. FREDDY JARAMILLO CHECA
SECRETARIO ACADÉMICO